



PROSIDING

KONFERENSI NASIONAL PASCASARJANA
TEKNIK SIPIL (KNPTS) X 2019



**“Adaptasi dan Mitigasi
Bencana dalam Mewujudkan
Infrastruktur yang
Berkelanjutan”**

Bandung, 5 November 2019

**Program Studi Magister dan Doktor Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung**

ISSN 2477-00-86

**PROSIDING KONFERENSI NASIONAL
PASCASARJANA TEKNIK SIPIL (KNPTS) X 2019**

“Adaptasi dan Mitigasi Bencana dalam Mewujudkan Infrastruktur yang Berkelanjutan”
Bandung, 5 November 2019



**Program Studi Magister dan Doktor Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung**

KNPTS KE 10 TAHUN 2019
Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil

PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PASCASARJANA TEKNIK SIPIL (KNPTS) X 2019
“Adaptasi dan Mitigasi Bencana dalam Mewujudkan Infrastruktur yang Berkelanjutan”
Bandung, 5 November 2019

Reviewer :

Prof. (R) Dr. Ing. Andreas Wibowo, MT, Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M.Eng, Prof. Dr. Ir. Budi Hartanto Susilo, M.Sc, Prof. Dr. Ir. Munirwansyah, M.Sc, Prof. Dr. Ir. Ofyar Z. Tamin, M.Sc, Prof. Dr. Ir. Rudy Hermawan Karsaman, M.Sc, Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS, Prof. Dr. Manlian Ronald A. Simanjuntak, ST, MT, D.Min, IAI, Prof. Ir. I Wayan Sengara, MSEM, Ph.D., Prof. Ir. Iwan Kridasantausa, M.Sc., Ph.D, Prof. Leksmono Suryo Putranto, M.T., Ph.D, Prof. Paulus Pramono Raharjo, Ph.D, Prof. Robertus Wahyudi Triweko, Ph.D, Dr. Eng. Febri Zukhruf, S.T., M.T, Dr. Russ Bona Frazila S.T., M.T, Farid, S.T., M.T., Ph.D, Ir. Erza Rismantojo, MSCE, Ph.D, Joko Nugroho, S.T., M.T., Ph.D, Jongga Jihanny, ST., MT

Editor :

Arifan Jaya Syahbana, S.T., M.Eng, Tri Nugraha Adi K, S.T., M.T., Ipak Neneng Mardiah Bukit, S.T., M.Eng.,

Desain dan Tata Letak :

Alfi Ramdani, A.Md

ISSN 2477-00-86

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku dalam bentuk apapun, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Isi makalah di luar tanggung jawab editor dan penerbit

Diterbitkan Oleh



Program Studi Magister dan Doktor Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132
Telp. (022) 250 2272, Fax. (022) 251 0714



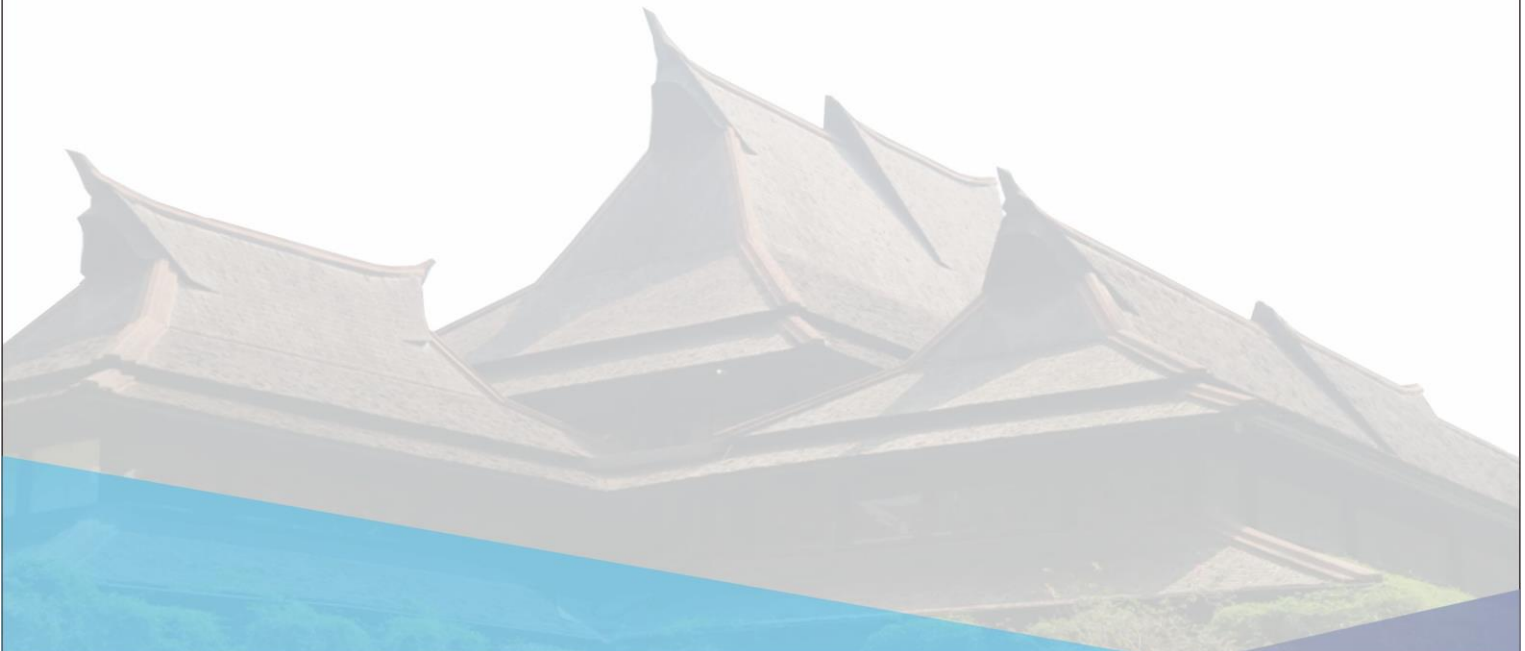
KONFERENSI NASIONAL PASCASARJANA TEKNIK SIPIL (KNPTS) 2019

” Adaptasi dan Mitigasi Bencana dalam Mewujudkan
Infrastruktur yang Berkelanjutan”

Bandung, 05 November 2019



PT WIJAYA KARYA (Persero) Tbk.



SAMBUTAN KETUA PANITIA KNPTS KE 10 TAHUN 2019



Assalamualaikum Wr Wb, Salam sejahtera, Selamat Pagi

Segala puji syukur senantiasa kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan berkah-Nya kepada kita semua sehingga hari ini kita dapat dipertemukan untuk mengikuti acara Konferensi Nasional Pasca Sarjana Teknik Sipil ke X yang diadakan oleh Program Studi Magister dan Doktoral Teknik Sipil dan Lingkungan ITB. Kami mengucapkan selamat datang pada peserta seminar dimana kita memiliki kesempatan untuk berbagi informasi tentang berbagai strategi untuk meningkatkan kemampuan akademisi dalam melakukan penelitian serta penerapan hasil-hasil penelitian dalam tema “Adaptasi dan Mitigasi Bencana dalam Mendukung Pembangunan Infrastruktur yang Berkelanjutan”. Melalui kegiatan ini diharapkan dapat menciptakan inovasi serta memenuhi tuntutan pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi dan manajemen kebencanaan khususnya di bidang teknik sipil.

Berkaitan dengan tema tersebut kami menghadirkan 3 keynote speaker, yaitu dari Kementerian PUPR, IABI dan BNPB yang akan menyampaikan materi yang berkaitan dengan adaptasi dan mitigasi kebencanaan. Dalam acara ini diikuti oleh 39 pemakalah dalam kategori publikasi proposal, kemajuan dan hasil penelitian dimana nantinya peserta terpilih akan mendapatkan Sedyatmo Award dan Penghargaan 3MT serta 3MD. Semua presentasi tersebut dilakukan melalui presentasi oral. Peserta konferensi nasional ini adalah kalangan akademisi dari beberapa provinsi di Indonesia (Sulawesi Selatan, DI Yogyakarta, Papua, Jawa Barat, DKI Jakarta).

Konferensi Nasional Pasca Sarjana Teknik Sipil ke X ini dapat terselenggara berkat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini ijin kami mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknik Sipil ITB, Kaprodi Magister dan Doktoral Teknik Sipil ITB beserta jajarannya, para keynote speaker dan pihak WIKA sebagai sponsor yang berpartisipasi kegiatan seminar ini, para peserta konferensi atas partisipasinya, serta pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Penghargaan yang setinggi-tingginya kami sampaikan kepada segenap panitia yang telah bekerja keras demi suksesnya kegiatan ini.

Kami menyadari bahwa penyelenggaran seminar ini masih banyak kekurangan baik dalam penyajian acara, pelayanan administrasi maupun keterbatasan fasilitas. Untuk itu kami mohon maaf yang sebesar-besarnya.

Akhir kata semoga peserta seminar mendapatkan manfaat yang besar dari kegiatan ini sehingga mampu mewujudkan atmosfer riset yang baik dan budaya riset yang kokoh, berkelanjutan dan berkualitas serta mampu menjadikan solusi adaptasi dan mitigasi bencana yang ada di Indonesia. Kami mengucapkan SELAMAT MENGIKUTI KONFERENSI..... Terima kasih

Bandung, 5 November 2019

Ketua Panitia Konferensi Nasional Pasca Sarjana Teknik Sipil ke X
Arifan Jaya Syahbana, ST, M.Eng

SAMBUTAN KETUA PROGRAM STUDI MAGISTER DAN DOKTOR TEKNIK SIPIL FTSL ITB



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil atau KNPTS adalah konferensi tingkat nasional untuk mahasiswa pascasarjana teknik sipil seluruh Indonesia. Diselenggarakan tiap akhir tahun dan untuk tahun 2019 ini adalah yg ke sepuluh kalinya. Konferensi ini adalah agenda tahunan yang rutin diselenggarakan oleh Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.

Sebagai bagian dari publikasi penelitian pascasarjana (tesis dan disertasi), makalah dalam konferensi ini menampung tahapan penelitian yang dilakukan, yaitu makalah dengan kategori proposal penelitian, makalah dengan kategori *data collection* dan *fact findings*, dan makalah yang merupakan hasil penelitian.

Mulai tahun ini, sepuluh makalah terbaik dalam KNPTS akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Sipil ITB yang merupakan jurnal terakreditasi nasional. Selain itu, mulai tahun depan, sebagai konferensi reguler, KNPTS akan memiliki *scientific committee* yang tetap yang beranggotakan pembimbing-pembimbing pascasarjana teknik sipil di Indonesia.

Semoga dengan ada semua itu, tingkat partisipasi peserta KNPTS menjadi lebih banyak dan kualitas makalah yang tersaji menjadi lebih berkualitas.

Selamat berkonferensi semoga mendapat manfaat yang maksimal dari kegiatan ini dan dapat meningkatkan kualitas penelitian dan penulisan makalah ilmiah. Terima kasih.

Bandung, 5 November 2019

Ketua Prodi Magister dan Doktor Teknik Sipil FTSL ITB

Ir. R. Sony Sulaksono Wibowo, M.T., Ph.D

SUSUNAN PANITIA PENYELENGGARA KNPTS KE 10 TAHUN 2019

PANITIA PENYELENGGARA

Panitia Penyelenggara Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil adalah sebagai berikut:

PENANGGUNGJAWAB

1. Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB
2. Ketua Program Studi Magister dan Doktor Teknik Sipil ITB

PANITIA PENYELEKSI/ REVIEWER INTERNAL

1. Prof. Dr. Ir. I Wayan Sengara (ITB – Rekayasa Geoteknik)
2. Prof. Dr. Ir. Ofyar Z. Tamin, M.Sc (ITB – Rekayasa Transportasi)
3. Prof. Dr. Ir. Rudy Hermawan Karsaman, M.Sc. (ITB – Rekayasa Transportasi)
4. Prof. Ir. Iswandi Imran, M.Sc., Ph.D. (ITB – Rekayasa Struktur)
5. Prof. Ir. Iwan Kridasantausa, M.Sc., Ph.D. (ITB – Teknik Sumber Daya Air)
6. Prof. Ir. N.R. Reini Djuhraeni W. M.Sc., Ph.D. (ITB- Manajemen dan Rekayasa Konstruksi)
7. Dr. Eng. Febri Zukhruf, S.T., M.T. (ITB – Rekayasa Transportasi)
8. Dr. Ing. Ediansjah, S.T., M.T. (ITB – Rekayasa Struktur)
9. Dr. Russ Bona Frazila S.T., M.T (ITB -Rekayasa dan Manajemen Transportasi)
10. Eliza Rosmaya Puri, S.T., M.T., Ph.D (ITB- Manajemen dan Rekayasa Konstruksi)
11. Farid, S.T., M.T., Ph.D (ITB – Teknik Sumber Daya Air)
12. Ir. Bigman Marihat Hutapea, M.Sc., Ph.D. (ITB – Rekayasa Geoteknik)
13. Ir. Erza Rismantoyo, MSCE, Ph.D (ITB – Rekayasa Geoteknik)
14. Ir. Harun Al Rasyid, M.Sc., Ph.D. (ITB – Rekayasa Transportasi)
15. Ir. Muhamad Abduh, M.T., Ph.D. (ITB- Manajemen dan Rekayasa Konstruksi)
16. Ir. R. Sony Sulaksono, M.T., Ph.D. (Koordinator) (ITB – Rekayasa Transportasi)
17. Joko Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. (ITB – Teknik Sumber Daya Air)
18. Jongga Jihanny, ST., MT (ITB – Rekayasa Transportasi)

PANITIA PENGARAH

1. Prof. Ir. Ade Sjafruddin, M.Sc, Ph.D (Koordinator) (Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB)
2. Prof. Ir. Indra Djati, M.Sc., Ph.D (Kelompok Keahlian Struktur)
3. Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE, Ph.D (Kelompok Keahlian Geoteknik)
4. Prof. Ir. N.R.D. Wirahadikusumah, MSCE., Ph.D (Kelompok Keahlian Manajemen dan Rekayasa Konstruksi)
5. Prof. Ir. Rudy Hermawan Karsaman, M.Sc., Ph.D (Kelompok Keahlian Transportasi)
6. Ir. Cahyono, M.Sc., Ph.D. (Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air)
7. Ir. R. Sony Sulaksono, M.T., Ph.D. (Ketua Program Studi Magister dan Doktor Teknik Sipil)

REVIEWER EKSTERNAL

1. Prof. (R) Dr. Ing. Andreas Wibowo, MT (Litbang Puskim PUPR/ Universitas Katolik Parahiyangan) - Manajemen dan Rekayasa Konstruksi/ Rekayasa dan Manajemen Infrastruktur
2. Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS (Universitas Brawijaya) – Rekayasa Struktur
3. Prof.Dr.Ir. Munirwansyah, M.Sc (Universitas Syiah Kuala) – Rekayasa Geoteknik
4. Prof. Paulus Pramono Raharjo, Ph.D. (Universitas Katolik Parayangan) – Rekayasa Geoteknik

5. Prof. Robertus Wahyudi Triweko, Ph.D. (Universitas Katolik Parahiyangan) – Rekayasa Sumber Daya Air
6. Prof. Dr.Ir. Budi Hartanto Susilo, M.Sc. (Universitas Kristen Maranata) – Rekayasa dan Manajemen Transport
7. Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M.Eng (Universitas Hasanudin) - Rekayasa dan Manajemen Transportasi
8. Prof. Dr. Ir. Budi Hartanto Susilo, M.Sc (Universitas Kristen Maranatha) - Rekayasa dan Manajemen Transportasi
9. Prof. Leksmono Suryo Putranto, M.T., Ph.D (Universitas Tarumanegara) - Rekayasa dan Manajemen Transportasi
10. Prof. Dr. Manlian Ronald A. Simanjuntak, ST, MT, D.Min, IAI (Universitas Pelita Harapan) - Rekayasa dan Manajemen Transportasi

PANITIA PELAKSANA

- Ketua : Arifan Jaya Syahbana, S.T., M.Eng. (NIM. 35016301)
Wakil Ketua : Bernadhita Catur Marina, S.T., M.T. (NIM. 35017002)
Sekretaris :
1. Eti Sulandari, S.T., M.T. (Koordinator),(NIM. 35018001)
 2. Ligar Fitrianiingsih, S.T., (NIM. 26918303)
 3. Ratna Ayu Kirana Djuhana, S.T., (NIM. 26918301)
- Bendahara : Tas'an Junaidi, S.T., M.T. (NIM. 35017004)
- Seksi Sponsorship :
1. F. Tata Yunita, S.T., M.T. (NIM. 35017301)
 2. Mahdi Ibrahim Tanjung, S.T., M.T. (NIM 35018302)
 3. Cecep Muhtaj Munajat, S.T., M.T. (NIM. 35018006)
 4. Angga Prawirakusuma, S.T., M.T. (NIM 35018304)
- Seksi Perlengkapan dan Transportasi : Irfan, S.T., M.T. (Koordinator) (NIM. 35017001)
- Seksi Konsumsi : Fauziah Shanti Cahyani, S.T., M.T. (Koordinator) (NIM. 35018004)
- Seksi Acara : Ernawati, S.T., M.T. (Koordinator) (NIM. 35018003)
- Seksi Prosiding:
1. Tri Nugraha Adi K, S.T., M.T. (Koord. Prosiding), (NIM. 35018005)
 2. Ipak Neneng Mardiah Bukit, S.T., M.Eng., (NIM. 35018002)
- Seksi Publikasi/ Dokumentasi :
1. Suryadi, S.T., M.T. (Koordinator), (NIM. 35017003)
 2. Vivi Arianty T, S.T. (NIM. 25018020)
 3. Putri Nurul KW, S.T (NIM. 25018001)
 4. Harry Rudiyanto Manukoa, S.T (NIM. 25017051)
 5. Shandy Trisakti Paiding Lewa, S.T., (NIM. 25018091)
- Seksi Desain :
1. Ika Sari Damayanti Sebayang, S.T., M.T. (NIM. 35018005)
 2. Bryan AWS, S.T. (NIM. 25017091)
 3. Khoirunnisa NA, S.T. (NIM. 25018009)
 4. Sonya Tiara A, S.T. (NIM. 25018024)
- Seksi Web :
1. Lidya Novitriana Nur Hidayati, S.T., M.T. (NIM. 35018303)
 2. Risky Christofel Wuwungan, S.T. (NIM. 25016016)
- Seksi Protokol dan Humas (LO) : Dewi Yustiarini, S.T., M.T. (NIM. 35018007)

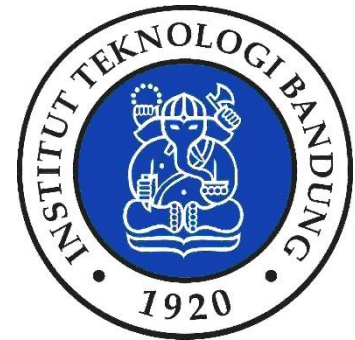
DAFTAR ISI

SAMBUTAN KETUA PANITIA KNPTS KE 10 TAHUN 2019	I
SAMBUTAN KETUA PROGRAM STUDI MAGISTER DAN DOKTOR TEKNIK SIPIL FTSL ITB	II
SUSUNAN PANITIA PENYELENGGARA KNPTS KE 10 TAHUN 2019	III
DAFTAR ISI	V
MANAJEMEN DAN REKAYASA KONSTRUKSI	1
ANALISIS KEBUTUHAN MATERIAL BETON PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL CIBITUNG-CILINCING Manlian Ronald A , Anang Noer Tachlish	3
STRUKTUR DAN PERILAKU RANTAI PASOK KOMODITAS STRATEGIS PADA PROYEK BANGUNAN GEDUNG DI BANDUNG RAYA I Made Bhisma Pranandya, Fauziah Shanti Cahyani Siti Maisarah, Muhamad Abduh.....	13
IDENTIFIKASI KONSEP MODEL MANAJEMEN PENGENDALIAN INEFISIENSI BIAYA AKIBAT SISA MATERIAL KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DITINJAU DARI PIHAK KONTRAKTOR BUMN James Thoengsal, Rusdi Usman Latief, Suharman Hamzah dan Irwan Ridwan Rahim	25
ANALISIS TINGKAT PENGARUH KOMPONEN INPUT PRODUKTIVITAS KONSTRUKSI PADA PEKERJAAN KONSTRUKSI JALAN DI INDONESIA Novisca M. Anditiaman, Rusdi Usman Latief, Irwan Ridwan Rahim dan Rosmariyani Arifuddin.....	35
METODE KAJIAN STRUKTUR DAN PERILAKU RANTAI PASOK KOMODITAS STRATEGIS UNTUK PROYEK INFRASTRUKTUR JALAN PADA KONTRAKTOR KECIL DI BANDUNG RAYA Serenita Martha, Fauziah Shanti Cahyani Siti Maisarah, Muhamad Abduh.....	45
REKAYASA DAN MANAJEMEN INFRASTRUKTUR	55
SISTEM PENGELOLAAN SAMPAH SECARA BERKELANJUTAN DI KOTA JAYAPURA Sapari, Mary Selintung, Irwan Ridwan Rahim dan Asiyanti T. Lando.....	57
TINJAUAN STUDI ANALISIS KOMPARATIF BANGUNAN HIJAU (GREEN BUILDING) DENGAN METODE ASESMEN SEBAGAI UPAYA MITIGASI UNTUK PEMBANGUNAN KONSTRUKSI YANG BERKELANJUTAN Iis Roin Widiati	69
REKAYASA DAN MANAJEMEN SUMBER DAYA AIR	77
KAJIAN SISTEM PENGENDALI BANJIR KAWASAN ORGANDA KOTA JAYAPURA Asep Huddiankuwera, Irianto.....	79

ANALISIS HUBUNGAN DATA HUJAN SATELIT DENGAN HUJAN TERUKUR ARR KALIBAWANG Jody Martin Ginting, Joko Sujono ² , dan Rachmad Jayadi.....	89
KAJIAN PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP KONDISI HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) DODOKAN, PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT Muhammad Khalis Ilmi	103
STUDI MODEL PENGARUH KEDALAMAN AIR TERHADAP DEFORMASI GELOMBANG PADA PEMECAH GELOMBANG SISI MIRING BERONGGA Asep Huddiankuwera, Taufiqur Rachman, Muhammad Arsyad Thaha dan Syarifuddin Dewa.....	115
REKAYASA DAN MANAJEMEN TRANSPORTASI.....	125
PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL BATU LATERIT DAN PASIR MAHAKAM DALAM CAMPURAN ASPAL KARET TERHADAP JUMLAH SIKLUS PEMBEBANAN Karminto, Sakti Adji Adisasmata, Sumarni Hamid Aly dan Muralia Hustim.....	127
PENGARUH LIMBAH PLASTIK PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) TERHADAP NILAI KADAR ASPAL OPTIMUM CAMPURAN AC-WC Franky E. P. Lopian, M. Isran Ramli, Mubassirang Pasra dan Ardy Arsyad.....	139
STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-BC MENGUNAKAN ASBUTON MODIFIKASI TIPE RETONA BLEND 55 SEBAGAI BAHAN PENGIKAT D. S. Mabui, Irianto	151
DESAIN BECAK MOTOR YOGYAKARTA Armino Dos Santos Soares, Imam Basuki	165
ALTERNATIF METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN LAPIS FONDASI SEMEN TANAH PADA PROYEK PEMELIHARAAN BERKALA JALAN BATAS KABUPATEN SORONG SELATAN – KAMBUAYA Lucky Caroles, Y. T. Todingrara, dan M. Tumpu.....	173
ANALISIS PENGARUH APLIKASI TEKNOLOGI TERHADAP PREFERENSI KURIR BERBASIS ONLINE DAN KONVENSIONAL DI KOTA BANDUNG RAYA Raisa Fadhila	185
STUDI EKSPERIMENTAL PENENTUAN KADAR OPTIMUM PENAMBAHAN KAPUR PADA KONSTRUKSI JALAN SOIL SEMEN Irianto, Reny Rochmawati , Didik S.S.Mabui	199
ANALISIS BIAYA PROYEK PEMBANGUNAN HELIPOINT "XYZ" DI KARAWANG DENGAN METODE EARNED VALUE ANALYSIS Intan Virgina Suryaningrum, Manlian Ronald A. Simanjuntak	207

STABILITAS DAN FLOW CAMPURAN ASPAL EMULSI YANG MENGGUNAKAN BITUMEN HASIL EKSTRAKSI ASPAL ALAM BUTON (BHEAAB) SEBAGAI BAHAN BAKU PHASA PADAT M. Tumpu, M. W. Tjaronge, Abdul Rachman Djamaluddin, Rita Irmawaty ⁴ dan D. S. Mabui ⁵	217
KAJIAN TARIF KERETA API PRAMBANAN EKSPRESS TRAYEK YOGYAKARTA-SOLO DITINJAU DENGAN BOKA Edo Loreno Sambara	227
KOMBINASI LIMBAH PLASTIK PET (POLYETHYLENE THEREPHTHALATE) DAN PP (POLYPROPHYLENE) SEBAGAI BAHAN TAMBAH UNTUK MENINGKATKAN KINERJA CAMPURAN AC-WC Irianto, Abd. Rachman Djamaluddin, Mubassirang Pasra dan Ardy Arsyad	233
PENGARUH LIMBAH PLASTIK PET (POLYETHYLENE TEREPTHALATE) TERHADAP KEMAMPUAN CAMPURAN AC-WC UNTUK MENYERAP ENERGI SELAMA DEFORMASI PLASTIS Albert Meraudje, M. Isran Ramli, Mubassirang Pasra dan A. Arwin Amiruddin	245
KONSEP PENGEMBANGAN TRANSPORTASI BERKELANJUTAN SEBAGAI UPAYA PENYEDIAAN INFRASTRUKTUR KOTA MANDIRI (STUDI KASUS KOTA BARU MEDAN HILLS) Ryan Michael Rerung, Marco Wakim	257
REKAYASA GEOTEKNIK.....	265
PUNCAK PERCEPATAN BATUAN DI PULAU JAWA KALA ULANG 2500 TAHUN MENGGUNAKAN USGS PSHA MODIFIKASI Arifan Jaya Syahbana, Masyhur Irsyam, M. Asrurifak dan Hendriyawan	267
PENGARUH INFILTRASI TERHADAP ANALISIS STABILITAS LERENG Reny Rochmawati, Mursalim Tonggiroh.....	277
PENGGUNAAN METODE DUA TAHAP UNTUK MENENTUKAN KADAR OPTIMUM PENAMBAHAN KAPUR LAPIS PONDASI JALAN (STUDI KASUS: RUAS JALAN BUPUL – ERAMBU SOTA KABUPATEN MERAUKE) Franky E. P. Lopian	283
BENTUK DAN DIMENSI MODEL BLOK TIPE X PENOPANG RIPRAP UNTUK PERKUATAN LERENG Enos Karapa, Tri Harianto, Achmad Bakri Muhiddin dan Rita Irmawaty	293
UJI MODEL KAPASITAS TARIK ANGKUR TANAH TYPE LIPAT (FOLDING TYPE) PADA TANAH KOHESIF Muhammad Idhil Maming, A.Rachman Djamaluddin, Tri Harianto, dan Achmad Bakri Muhiddin	303
KARAKTERISTIK TANAH TERKONTAMINASI BATUBARA TERSTABILISASI BAKTERI SEBAGAI LAPIS PONDASI JALAN Andi Marini, Tri Harianto dan A.Rachman Djamaluddin, Ardy Arsyad	313

KORELASI NILAI MODULUS ELASTISITAS ANTARA ALAT LIGHT WEIGHT DEFLECTOMETER (LWD) DAN MARSHALL TEST CAMPURAN AC-WC Lucky Caroles, Abdul Rachman Djameluddin, A. Arwin Amiruddin dan Ardy Arsyad.....	321
REKAYASA STRUKTUR	331
KAJIAN EKSPERIMENTAL BETON DENGAN AGREGAT KASAR DARI LIMBAH BATU KERAJINAN Ira Puspitasari ¹ , Harianto Zaidulfar.....	333
KINERJA MEKANIK CAMPURAN AC-BC YANG MENGANDUNG ASBUTON MODIFIKASI TRANSFORMASI LIMBAH PLASTIK PP (POLYPROPYLENE) Sukrislistarto, M. Isran Ramli, Mubassirang Pasra dan A. Arwin Amiruddin ⁴	341
SELF COMPACTING CONCRETE (SCC) BERBAHAN MATERIAL LAUT DAN SERAT BAJA Adri Raidyarto, Herman Parung, M. W. Tjaronge dan Rudy Djameluddin.....	353
ANALISIS PERBANDINGAN STRUKTUR BAJA DAN STRUKTUR BETON AKIBAT GEMPA KUAT (STUDI KASUS GEDUNG HOTEL FAME JAYAPURA) Ardi Azis Sila, Adri Raidyarto.....	363
ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN FIBRE ARAMID-POLYOLEFIN TERHADAP PERFORMA CAMPURAN ASPAL HANGAT Christian Gerald Daniel	373
STUDI PEMANFAATAN ABU JERAMI, ABU TERBANG DAN TANAH LATERIT SEBAGAI MATERIAL GEOPOLYMER Parea Rusan Rangan, Rita Irmawaty, A. Arwin Amiruddin dan Bambang Bakri	385
MATERIAL KONSTRUKSI DINDING YANG TERBUAT DARI PENGEMBANGAN KOMPOSIT PLASTIK DAN SERAT KENAF SERTA SERAT GLASS Mardiana Amir, Rita Irmawaty, Muralia Hustim dan Irwan Ridwan Rahim.....	393
KEGAGALAN KONSTRUKSI DAN KEGAGALAN BANGUNAN DALAM PERSPEKTIF KEBERLANJUTAN KONSTRUKSI Muhammad Amry, Sarwono Hardjomuljadi dan Chaidir Anwar Makarim	407



1

MANAJEMEN DAN REKAYASA KONSTRUKSI

Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) X 2019

Bandung, 5 November 2019

ANALISIS KEBUTUHAN MATERIAL BETON PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL CIBITUNG-CILINCING

Manlian Ronald A¹, Anang Noer Tachlish²

^{1,2}Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Pelita Harapan
Tangerang, Banten

ABSTRAK

Salah satu material yang penting dalam suatu pekerjaan konstruksi adalah beton. Target waktu dan mutu dalam pekerjaan konstruksi tidak akan tercapai jika tidak diiringi dengan pasokan beton yang memadai. Sehingga tersedianya pasokan beton sangatlah krusial. Terdapat beberapa tipe pekerjaan jalan tol seperti, struktur jembatan bentang 40m, pile slab, timbunan dengan penanganan tanah menggunakan rigid, dan timbunan tanah finishing rigid. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan beton pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah perhitungan volume berdasarkan jenis material dan dimensi sesuai gambar desain. Dari hasil penelitian dihasilkan kajian bahwa kebutuhan beton untuk membangun Proyek Jalan Tol Cibitung-Cilincing adalah 315.645,12 m³. Sedangkan pada material agregat halus untuk pasir ex. Jambi sebesar 36.614,83 m³ dan pasir ex. Cimalaka 57.447,41 m³. Dan untuk agregat kasar split ex. Rumpin sebesar 146.143,69 m³. Kemudian pada material semen dan air untuk semen tipe I 132.570,95 ton dan air 50.503.219,2 liter.

Kata kunci : material, beton, volume, jalan tol

PENDAHULUAN

Latar Belakang Permasalahan

Pekerjaan konstruksi yang bernilai ekonomis tinggi memerlukan pengelolaan sumber daya yang optimal. Sumber daya yang dimaksud biasa dijabarkan dengan 5M+1T; material, money, method, manpower, machine, dan time. Material adalah bahan baku yang digunakan dalam proses produksi suatu pekerjaan konstruksi. Salah satu bahan baku yang penting adalah beton. Persediaan beton merupakan aset berharga yang berpengaruh langsung terhadap keberjalanan produksi. Maka dari itu, pengelolaan terhadap persediaan beton haruslah menjadi hal yang sangat diperhatikan dari awal hingga akhir masa produksi.

Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing merupakan bagian dari pembangunan Jakarta Outer Ring Road 2 dan juga bagian dari pembangunan Jalan Tol DKI Jakarta – Bandung. Proyek ini diperkirakan akan menghabiskan biaya sebesar 4,220 Triliun Rupiah untuk membangun 34 KM jalan tol. Waktu perencanaan mulainya konstruksi proyek ini adalah tahun 2017 dan waktu perencanaan mulainya operasi pada tahun 2019.

Sebagian besar total biaya produksi pada Proyek Pembangunan Tol Cibitung – Cilincing terserap oleh pengadaan beton. Apabila perencanaan persediaan material, khususnya beton, tidak dikelola dengan baik akan berdampak langsung pada proses produksi bahkan hingga mampu menghentikan mobilitas produksi dikarenakan habisnya bahan baku produksi. Dari masalah ini dibutuhkan analisis untuk mengetahui berapa kebutuhan material beton pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung-Cilincing.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode penelitian sebagai berikut:

1. Studi literatur yang berkaitan dengan topik penelitian dari buku teks, jurnal ilmiah, presentasi ilmiah, dan situs-situs yang relevan.
2. Pengumpulan data mengenai desain konstruksi proyek dan material yang dibutuhkan.
3. Pengolahan data berupa perhitungan volume beton dan material lain berdasarkan gambar desain konstruksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pembuatan badan jalan pembangunan proyek jalan tol cibitung-cilincing metode yang digunakan para proyek ini adalah Rigid Pavement, Full Slab dan Full Slab Precast. Metode yang digunakan ini bertujuan untuk dapat menganalisis seberapa material beton yang digunakan dalam pembangunan jalan tol Cibitung-Cilincing.

Analisa Perhitungan Volume Beton Rigid Pavement

a. Luas penampang rigid pavement :

Lebar total penampang rigid (l) = 2 x (Lebar Lajur + Lebar Bahu Luar).

Dikarenakan tiap Jalur memiliki 3 Lajur dan tiap Lajur lebarnya 4,3 m sehingga dapat dihitung bahwa lebar jalur total seluruh badan jalan tol adalah :

- Lebar lajur penampang rigid = 3 x 4,3
= 12,9 meter
- Lebar total penampang rigid (l) = 2x (12,9 m + 3,2 m)
= 32,2 meter
- Tebal penampang rigid (t) = 0,3 meter
- Luas penampang rigid pavement (A) = $l \times t$
= 32,2 m x 0,3 m
= 9,66 m²

b. Volume rigid pavement :

Diketahui panjang perencanaan menggunakan struktur rigid pavement pada proyek jalan tol cibitung cilincing dari STA 4+000 – STA 8+000

Volume pekerjaan rigid pavement = Luas Penampang x Panjang Jalan Tol

- Panjang total jalan Rigid Pavement = 4,0 Km
= 4.000 m
- Volume pekerjaan rigid pavement = 9,66 m² x 4.000 m
= 38.640 m³

Jadi kebutuhan material beton rigid pavement pada proyek jalan tol cibitung cilincing = 38.640 m³.



Gambar 1. Ketebalan rigid




Gambar2. Grofing

Analisa Perhitungan Volume Material

Berdasarkan data yang didapatkan dari PT Waskita Beton Precast Tbk. Adapun data jobmix beton mutu FS 45 yang digunakan untuk pengecoran rigid pavement dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jobmix Beton FS 45

 PT. WASKITA BETON PRECAST BATCHING PLANT TAMBUN		FPWP-DP-03-05 Rev :													
BATCH CARD PRODUKSI															
SEMEN	: TYPE I	SPLIT 1	: RUMPIN 10-25mm	PASIR 1 :	JAMBI	ADM 1	: CONSOL 600D								
FLY ASH	: -	SPLIT 2	: -	PASIR 2 :	CIMALAKA	ADM 2	: CONSOL type F, P200 R15								
							ADM 3	: CONSOL type NS expander							
PROYEK TOL CIBITUNG - CILINCING															
TANGGAL TERBIT : 25 Februari 2019															
NO	MUTU	SLUMP	KOMPOSISI							ADMIXTURE			DENSITY	S/A	KETERANGAN
			SEMEN KG	FLY ASH KG	SPLIT I KG	SPLIT II KG	PASIR I KG	PASIR II KG	AIR LT	NEXTARD S KG	POLYNEX S KG	NEXPLAST EA KG			
1	KLAS P	5 ± 2	420	0	1120	0	280	440	160	1,47	0	0	2420	0,39	

a. Perhitungan kebutuhan volume agregat halus

Dari data tabel jobmix beton mutu FS 45 bahwa menggunakan 2 material agregat halus yaitu:

1. Pasir ex. Jambi (Karakteristik Material Terlampir)
2. Pasir ex. Cimalaka (Karakteristik Material Terlampir)

Dikarenakan ada perbedaan satuan antara data jobmix (kg) dan data volume kebutuhan beton (m³) maka dilakukan konversi satuan dimana berat jenis beton dari data jobmix adalah 2420 kg/m³. Sehingga angka kebutuhan material agregat halus harus di konversi sebagai berikut :

- Pasir ex. Jambi = $\frac{280 \text{ kg}}{2420 \text{ kg/m}^3}$
= 0,116 m³
- Pasir ex. Cimalaka = $\frac{440 \text{ kg}}{2420 \text{ kg/m}^3}$
= 0,182 m³
- Volume pasir ex. Jambi = 0,116 x 38.640
= 4.482,24 m³
- Volume pasir ex. Cimalaka = 0,182 x 38.640
= 7.032,48 m³

Jadi kebutuhan meterial agregat halus pada proyek jalan tol cibitung cilincing untuk pasir ex. Jambi 4.482,24 m³ dan pasir ex cimalaka 7.032,48 m³.

b. Perhitungan kebutuhan volume agregat kasar

Dari data tabel jobmix beton mutu FS 45 bahwa menggunakan agregat kasar ex rumpin (karateristik material terlampir).Dikarenakan ada perbedaan satuan antara data jobmix (kg) dan data volume kebutuhan beton (m³) maka dilakukan konversi satuan dimana berat jenis beton dari data jobmix adalah 2420 kg/m³. Sehingga angka kebutuhan material agregat halus kasar di konversi sebagai berikut :

- Split ex. rumpin = $\frac{1120 \text{ kg}}{2420 \text{ kg/m}^3}$
= 0,463 m³
- Volume split ex. rumpin = 0,463 x 38.640
= 17.890,32 m³

Jadi kebutuhan material agregat kasar pada proyek jalan tol cibitung cilincing untuk split ex. Rumpin 17.890,32 m³.

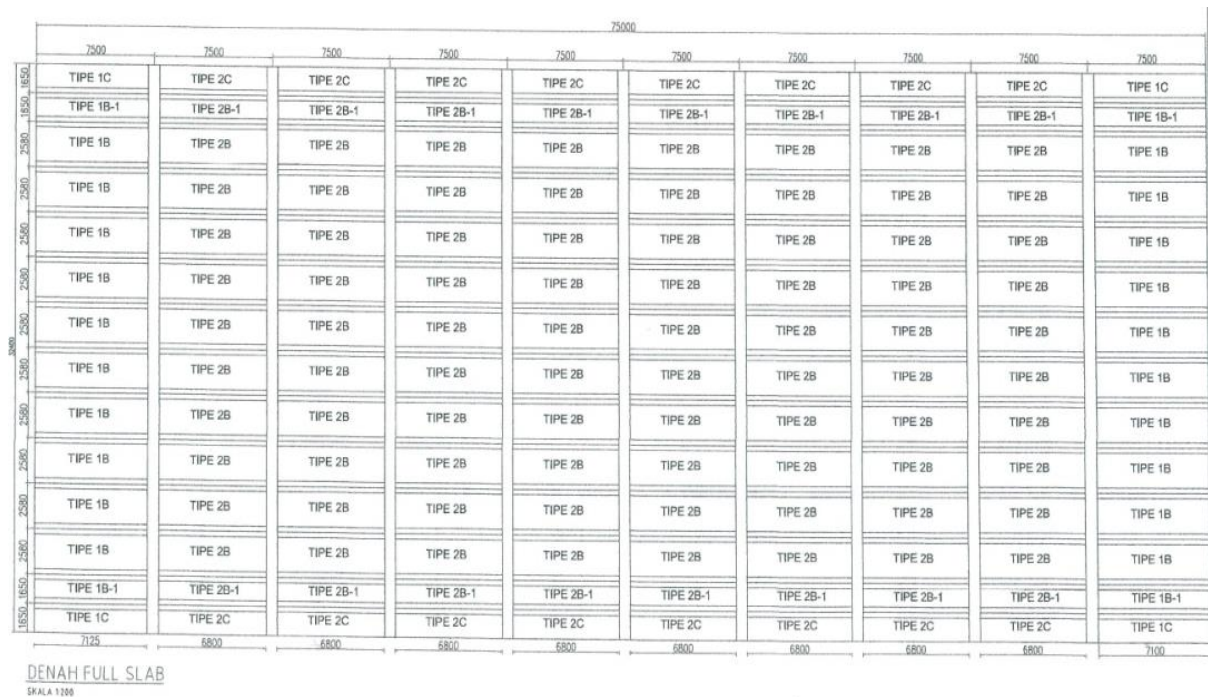
c. Perhitungan kebutuhan Semen dan Air

- Kebutuhan semen type I = 420 x 38.640
= 16.228.800 kg
= 16.229 Ton
- Kebutuhan air = 160 x 38.640
= 6.182.400 kg
= 6.182,4 Liter

Jadi kebutuhan semen dan air pada proyek jalan tol cibitung cilincing untuk semen type I 16.229 Ton dan Air 6.182,4 Liter.

Analisa Perhitungan Volume Beton Full Slab Precast

Struktur fullslab precast digunakan pada STA 0+000 – STA 4+000, STA 8+000 - STA 13+700, STA 13+752 – STA 15+700, STA 15+723 – STA 17+700, STA 17+723 – STA 19+500, STA 19+552 – STA 32+800.



Gambar 3. Susunan Deck Slab Precast

Dari design perencanaan full slab precast diketahui bahwa spesifikasi sebagai berikut

- Mutu Beton : Fc 42 Mpa
- Panjang : 75,0 m
- Lebar : 32,4 m
- Tebal : 0,35 m

a. Perhitungan Kebutuhan Deck Slab Precast

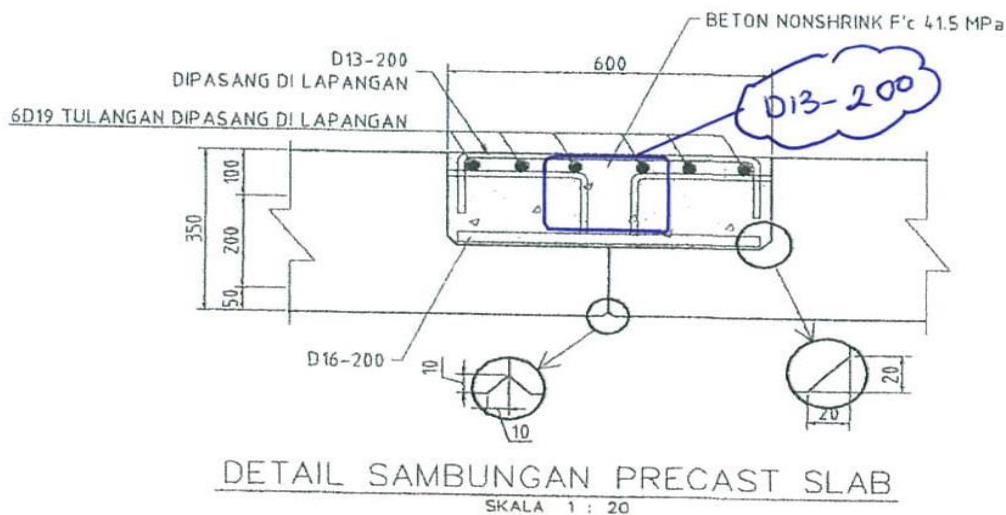
Panjang rencana badan jalan yang menggunakan deck slab precast adalah 28.650 meter. Diketahui type deck slab precast 1B, 1B-1, 2B, 2B-1, 1C dan 2C (Gambar Detail Terlampir) dari gambar 3 dapat dihitung jumlah kebutuhan deck slab precast per 1 set modul slab, maka untuk memenuhi 28.650 meter jalan maka kebutuhan modul slab sebagai berikut :

$$\begin{aligned} &= 28.600 \text{ meter} : 75 \text{ meter} \\ &= 382 \text{ set modul slab} \end{aligned}$$

Kebutuhan total deck slab precast sebagai berikut :

Type 1B	: 20 buah x 382 = 6.560 buah
Type 2B	: 80 buah x 282 = 26.240 buah
Type 1B-1	: 4 buah x 382 = 1.312 buah
Type 2B-1	: 16 buah x 382 = 5.248 buah
Type 1C	: 4 buah x 382 = 1.312 buah
Type 2C	: 16 buah x 382 = 5.248 buah

b. Perhitungan kebutuhan beton non shrinkage fc 42 Mpa



Gambar 4. Detail Sambungan Slab Precast

Diketahui bahwa dimensi sambungan deck slab precast sebagai berikut :

Lebar	: 0,6 m
Tebal	: 0,175 m
Panjang	: Total baris + Total Kolom
	: 291,6 m + 892,125 m
	: 1.183,725 m

Sehingga volume beton sambungan/modul fullslab precast

$$\begin{aligned} &: 0,6 \text{ m} \times 0,175 \text{ m} \times 1.183,725 \text{ m} \\ &: 124,3 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Total Kebutuhan volume beton untuk sambungan fullslab precast adalah :

$$\begin{aligned} &: 124,3 \text{ m}^3 \times 382 \text{ set} \\ &: 47.482,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jadi kebutuhan material beton sambungan Non shrinkage fc 42 Mpa pada proyek jalan tol cibitung cilincing 47.482,6 m³.



Gambar 5. pemasangan Full Slab di lokasi pileslab

Analisa Perhitungan Volume Material

Diketahui bahwa untuk sambungan antar deck slab menggunakan beton non shrinkage dengan mutu fc 42 Mpa. Berdasarkan data yang didapatkan dari PT Waskita Beton Precast Tbk. Adapun data jobmix beton mutu Fc 42 Mpa yang digunakan untuk pengecoran beton non shrinkage dapat di lihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Jobmix Beton Fc 42 Mpa



PT. WASKITA BETON PRECAST Tbk

FPWP-TEK-01-08b

Rev : 02

FORM USULAN JOB MIX FORMULA																
Referensi Desain No. JMF : R ... / JMF / DS /																
MATERIAL :																
SPLIT 1 = Ex. Rumpin 10/25					ADMIX1 = Nextard D				ADMIX4 = Consol Expander							
SPLIT 2 = Ex. Rumpin 5/10					ADMIX2 = Consol P200											
PASIR 1 = Ex. Jambi					ADMIX 3 = Consol Retard 600D											
PASIR 2 = Ex. Cimalaka					SEMEN = Ex. Gresik											
Kondisi SSD																
PROYEK : JALAN TOL CIBITUNG CILINCING																
KODE MIX	FUNGSI	MUTU	SLUMP	FLOW	SEMEN	SPLIT 1	SPLIT 2	PASIR 1	PASIR 2	AIR	ADMIX 1	ADMIX 2	ADMIX 3	ADMIX 4	DENSITY	KETERANGAN
KELAS A NS Flow	STRUKTUR	FC 42	-	55-65	520.0	960.0	-	540.0	240.0	90.0	-	4.80	1.85	2.30	2350.0	

d. Perhitungan kebutuhan volume agregat halus

Dari data tabel jobmix beton mutu Fc 42 Mpa bahwa menggunakan 2 material agregat halus yaitu:

3. Pasir ex. Jambi (Karakteristik Material Terlampir)
4. Pasir ex. Cimalaka (Karakteristik Material Terlampir)

Dikarenakan ada perbedaan satuan antara data jobmix (kg) dan data volume kebutuhan beton (m³) maka dilakukan konversi satuan dimana berat jenis beton dari data jobmix adalah 2350 kg/m³. Sehingga angka kebutuhan material agregat halus harus di konversi sebagai berikut :

- Pasir ex. Jambi = $\frac{540 \text{ kg}}{2350 \text{ kg/m}^3}$
= 0,23 m³
- Pasir ex. Cimalaka = $\frac{240 \text{ kg}}{2350 \text{ kg/m}^3}$
= 0,102 m³
- Volume pasir ex. Jambi = 0,23 x 47.482,6
= 10.921 m³
- Volume pasir ex. Cimalaka = 0,102 x 47.482,6
= 4.843,23 m³

Jadi kebutuhan material agregat halus pada proyek jalan tol cibitung cilincing untuk pasir ex. Jambi 10.921 m³ dan pasir ex cimalaka 4.843,23 m³.

e. Perhitungan kebutuhan volume agregat kasar

Dari data tabel jobmix beton mutu Fc 42 Mpa bahwa menggunakan agregat kasar ex rumpin (karateristik material terlampir).Dikarenakan ada perbedaan satuan antara data jobmix (kg) dan data volume kebutuhan beton (m³) maka dilakukan konversi satuan dimana berat jenis beton dari data jobmix adalah 2350 kg/m³. Sehingga angka kebutuhan material agregat halus kasar di konversi sebagai berikut :

- Split ex. rumpin = $\frac{960 \text{ kg}}{2350 \text{ kg/m}^3}$
= 0,41 m³
- Volume split ex. rumpin = 0,41 x 47.482,6
= 19.467,87 m³

Jadi kebutuhan material agregat kasar pada proyek jalan tol cibitung cilincing untuk split ex. Rumpin 19.467,87 m³.

f. Perhitungan kebutuhan Semen dan Air

- Kebutuhan semen type I = 520 x 47.482,6
= 24.690.952 kg
= 24.691 Ton
- Kebutuhan air = 90 x 47.482,6
= 4.273.434kg
= 4.273,3 Liter

Jadi kebutuhan semen dan air pada proyek jalan tol cibitung cilincing untuk semen type I 24.691 Ton dan Air 4.273,3 Liter.

g. Perhitungan kebutuhan Adiktif

- Kebutuhan Consol P200 = 4,8 x 47.482,6
= 227.916,5 kg
= 211.033,8 Liter
- Kebutuhan Consol D600 = 1,85 x 47.482,6
= 87.842,81 kg
= 74.443,06 Liter
- Kebutuhan Consol Expander = 2,3 x 47.482,6
= 109.210 kg

Jadi kebutuhan adiktif pada proyek jalan tol cibitung cilincing untuk Consol P200 211.033,8 Liter, Consol D600 74.443,06 Liter dan Consol Expander 109.210 Kg.

Analisa Perhitungan Volume Beton Full Slab

a. Luas penampang full slab :

Lebar total penampang full slab (l) = 2 x (Lebar Lajur + Lebar Bahu Luar).

Dikarenakan tiap Jalur memiliki 3 Lajur dan tiap Lajur lebarnya 4,3 m sehingga dapat dihitung bahwa lebar jalur total seluruh badan jalan tol adalah :

- Lebar lajur penampang full slab = 3 x 4,3
= 12,9 meter
- Lebar total penampang full slab (l) = 2x (12,9 m + 3,2 m)
= 32,2 meter
- Tebal penampang full slab (t) = 0,3 meter
- Luas penampang full slab (A) = l x t
= 32,2 m x 0,3 m
= 9,66 m²

b. Volume full slab :

Diketahui struktur yang menggunakan full slab STA 13+700 – STA 13+752 (52 m), STA 15+700 – STA 15+723 (23m), STA 17+700 – STA 17+723 (23m) dan STA 19+500 – STA 19+552 (52m). Sehingga panjang total full slab sebagai berikut :

Panjang Total : 52 + 23 + 23 + 52
: 150 m

Volume pekerjaan full slab = Luas Penampang x Panjang total

- Volume pekerjaan rigid pavement = 9,66 m² x 150 m
= 1.449 m³

Jadi kebutuhan meterial beton full slab pada proyek jalan tol cibitung cilincing 1.449 m³.



Gambar 6. Kondisi Full Slab di lokasi proyek

Analisa Perhitungan Volume Material

Berdasarkan data yang didapatkan dari PT Waskita Beton Precast Tbk. Adapun data jobmix beton mutu Fc 30 yang digunakan untuk pengecoran rigid pavement dapat di lihat pada tabel 3.

Tabel 3. Jobmix Beton Fc 30



PT. WASKITA BETON PRECAST Tbk

FPWP-TEK-01-08b

Rev : 02

FORM USULAN JOB MIX FORMULA																
Referensi Desain No. JMF : R / JMF / DS /																
MATERIAL :																
SPLIT 1 = Ex. Rumpin 10/25				ADMIX1 = Nextard D				ADMIX4 = Consol Expander								
SPLIT 2 = Ex. Rumpin 5/10				ADMIX2 = Consol P200												
PASIR 1 = Ex. Jambi				ADMIX 3 = Consol Retard 600D												
PASIR 2 = Ex. Cimalaka				SEMEN = Ex. Gresik												
Kondisi SSD																
PROYEK : JALAN TOL CIBITUNG CILINCING																
KODE MIX	FUNGSI	MUTU	SLUMP	FLOW	SEMEN	SPLIT 1	SPLIT 2	PASIR 1	PASIR 2	AIR	ADMIX 1	ADMIX 2	ADMIX 3	ADMIX 4	DENSITY	KETERANGAN
KELAS B1	STRUKTUR	FC 30	10 ± 2.0	*	410.0	870.0	*	623.0	267.0	185.0	1.85	*	*	*	2330.0	

a. Perhitungan kebutuhan volume agregat halus

Dari data tabel jobmix beton mutu Fc 30 bahwa menggunakan 2 material agregat halus yaitu:

Pasir ex. Jambi (Karakteristik Material Terlampir)

Pasir ex. Cimalaka (Karakteristik Material Terlampir)

Dikarenakan ada perbedaan satuan antara data jobmix (kg) dan data volume kebutuhan beton (m³) maka dilakukan konversi satuan dimana berat jenis beton dari data jobmix adalah 2330 kg/m³. Sehingga angka kebutuhan material agregat halus harus di konversi sebagai berikut :

- Pasir ex. Jambi = $\frac{623 \text{ kg}}{2330 \text{ kg/m}^3}$
= 0,27 m³
- Pasir ex. Cimalaka = $\frac{257 \text{ kg}}{2330 \text{ kg/m}^3}$
= 0,11 m³
- Volume pasir ex. Jambi = 0,27 x 1.449
= 391,23 m³
- Volume pasir ex. Cimalaka = 0,11 x 1.449
= 159,39 m³

Jadi kebutuhan material agregat halus pada proyek jalan tol cibitung cilincing untuk pasir ex. Jambi 391,23 m³ dan pasir ex cimalaka 159,39 m³.

c. Perhitungan kebutuhan volume agregat kasar

Dari data tabel jobmix beton mutu Fc 30 bahwa menggunakan agregat kasar ex rumpin (karakteristik material terlampir).Dikarenakan ada perbedaan satuan antara data jobmix (kg) dan data volume kebutuhan beton (m³) maka dilakukan konversi satuan dimana berat jenis beton dari data jobmix adalah 2330 kg/m³. Sehingga angka kebutuhan material agregat halus kasar di konversi sebagai berikut :

- Split ex. rumpin = $\frac{870 \text{ kg}}{2330 \text{ kg/m}^3}$
= 0,373 m³
- Volume split ex. rumpin = 0,373 x 1.449
= 541,042 m³

Jadi kebutuhan material agregat kasar pada proyek jalan tol cibitung cilincing untuk split ex. Rumpin 541,042 m³.

- d. Perhitungan kebutuhan Semen dan Air
- Kebutuhan semen type I = 410 x 1.449
 = 594.090 kg
 = 594,1 Ton
 - Kebutuhan air = 185 x 1.449
 = 268.065 kg
 = 268,1 Liter

Jadi kebutuhan semen dan air pada proyek jalan tol cibitung cilincing untuk semen type I 594,1 Ton dan Air 268,1 Liter.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan data yang dilakukan oleh penulis, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kebutuhan beton untuk membangun proyek jalan tol cibitung-cilincing adalah 315.645,12 m³.
2. Kebutuhan material agregat halus untuk membangun proyek jalan tol cinitung-cilincing untuk pasir ex. Jambi adalah 36.614,83 m³ dan pasir ex cimalaka 57.447,41 m³.
3. Kebutuhan material agregat kasar untuk membangun proyek jalan tol cibitung-cilincing untuk split ex. rumpin 146.143,69 m³.
4. Kebutuhan material semen dan air untuk membangun proyek jalan tol cibitung-cilincing untuk semen type I 132.570,95 Ton dan Air 50.503.219,2 Liter.
5. Hasil perhitungan yang di tampilkan hanya untuk membangun badan jalan tol cibitung-cilincing saja tidak termasuk struktur utama dan struktur pendukung lainnya

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Aziz Hartono dan Wisnu Pradoto. 2014. Pengaruh Pembangunan Jalan Tol Terhadap Perubahan Pola dan Struktur Ruang Kawasan Sidomulyo, Ungaran Timur. Semarang: Perencanaan Wialayah dan Kota Universitas Diponegoro
- Arvin Irshad Prabowo dan Cahyono Bintang Nurcahyo. 2017. Analisa Risiko Rantai Pasokan Beton Ready Mix pada Proyek Hotel Batiqa Surabaya. Surabaya: Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.
- Muhammad Harum dan Sutriani. 2017. Pengaruh Pembangunan Jalan Tol Sutami Terhadap Nilai Lahan Disekitarnya. Makassar: Teknik Arsitektur UIN Alauddin Makassar
- Sukirman, S., (1992), Perkerasan Lentur Jalan Raya, Penerbit Nova, Bandung.
- Titis Wahyu, Yusronia Eka Putri dan Retno Indrayani. 2014. Analisa Persediaan Material Pada Proyek Pembangunan Jembatan Sungai Brantas di Ruas Tol Kertosono-Mojokerto. Surabaya: Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.
- Wijayanto, Angger. Analisa Persediaan Material Pada Pembangunan Proyek Apartemen Guna Wangsa Surabaya. Surabaya: Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.
- www.kppip.go.id. Jalan Tol Cibitung-Cilincing. 19 Februari 2019. <https://kppip.go.id/proyek-strategis-nasional/a-proyek-pembangunan-infrastruktur-jalan-tol/jalan-tol-ciawi-sukabumi-54km-3/>.
2005. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2005 Tentang Jalan Tol. Jakarta.

STRUKTUR DAN PERILAKU RANTAI PASOK KOMODITAS STRATEGIS PADA PROYEK BANGUNAN GEDUNG DI BANDUNG RAYA

I Made Bhisma Pranandya¹, Fauziah Shanti Cahyani Siti Maisarah², Muhamad Abduh³

¹Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung. Email: imb.pranandya@gmail.com

²Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung. Email: fauziah.scs.maisarah@gmail.com

³Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung. Email: abduh@si.itb.ac.id

ABSTRAK

Strategi pembelian material konstruksi merupakan salah satu hal yang harus dilakukan oleh kontraktor untuk meningkatkan efisiensi biaya proyek serta menjamin ketersediaan material yang dibutuhkan. Dalam menyusun strategi pembelian material konstruksi perlu mempertimbangkan struktur dan perilaku rantai pasok material tersebut. Studi ini dilakukan untuk mengkaji struktur dan perilaku rantai pasok material konstruksi yang teridentifikasi sebagai komoditas strategis oleh kontraktor kecil bidang bangunan gedung di wilayah Bandung Raya. Komoditas strategis bidang bangunan gedung meliputi: batu bata, semen, pasir, baja tulangan, kaca, kayu, dan beton *readymix*. Metode pengumpulan data dilakukan melalui survei langsung kepada kontraktor kecil yang terlibat pada proyek pembangunan gedung serta pemasok material konstruksi di Bandung Raya. Analisis data dilakukan secara deskriptif eksploratif untuk mendapatkan gambaran struktur dan perilaku rantai pasok material uji. Aspek struktur rantai pasok yang dianalisis meliputi jumlah pemasok dan tingkatan pemasok yang ada, sedangkan perilaku rantai pasok ditentukan berdasarkan jaringan fisik, keuangan, informasi relasional, dan inovasi. Hasil studi diharapkan dapat menggambarkan besaran dari struktur rantai pasok komoditas strategis yang harus dilalui dari hulu hingga ke hilir oleh kontraktor kecil bidang bangunan gedung serta mendapatkan gambaran mengenai perilaku rantai pasok dalam hal hubungan antar sesama pelaku rantai pasok untuk mengetahui pola aliran informasi, produk, dan layanan, serta permasalahan yang terjadi dalam rantai pasok.

Kata Kunci: strategi pembelian material, struktur rantai pasok, perilaku rantai pasok, kontraktor kecil

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Efisiensi dan efektifitas sangat dibutuhkan dalam industri konstruksi saat ini. Efisiensi dan efektifitas menjadi pertimbangan utama bagi para pelaku industri konstruksi terutama kontraktor dalam melaksanakan suatu proyek konstruksi. Salah satu efisiensi yang dibutuhkan adalah efisiensi pada biaya proyek terutama biaya yang dibutuhkan untuk pembelian material konstruksi. Terdapat banyak hal yang dapat dilakukan oleh kontraktor untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas dalam proyek konstruksi. Salah satunya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan perencanaan terhadap strategi pembelian kebutuhan material. Pembelian (*purchasing*) memiliki tujuan yaitu membeli material dengan kualitas yang tepat (*right quality*), jumlah yang tepat (*right quantity*), dikirim ke tempat yang tepat (*right place*), pada waktu yang tepat (*right time*), dan dengan

harga yang tepat (*right price*). Dalam hal untuk mencapai tujuan dari pembelian material, maka dibutuhkan strategi pembelian yang tepat untuk digunakan.

Salah satu strategi pembelian yang dapat digunakan adalah berupa eksploitasi daya beli. Eksploitasi daya beli merupakan strategi dimana pembeli (dalam hal ini adalah kontraktor) memiliki kekuatan untuk memilih pemasok yang memiliki daya saing yang lebih baik. Untuk dapat memilih pemasok, maka dibutuhkan strategi rantai pasok. Strategi pengelolaan rantai pasok konstruksi yang baik dapat menurunkan biaya, meningkatkan efisiensi, dan memperbaiki penghantaran hasil akhir suatu produk atau jasa tepat waktu kepada pelanggan (Wisner, 2005). Dengan memiliki gambaran pola rantai pasok, maka akan membantu kontraktor untuk melakukan menentukan strategi pembelian yang tepat.

Di wilayah Jawa Barat sendiri saat ini ada 8.895 kontraktor kecil, atau merupakan mayoritas (84%) dari populasi kontraktor di Jawa Barat, diikuti dengan kontraktor menengah (15%), dan kontraktor besar (1%) dengan jumlah populasi untuk Bandung Raya sebesar 2.216 kontraktor kecil atau sekitar 25% dari total jumlah kontraktor kecil di Jawa Barat (BPS Nasional, 2016). Kontraktor kecil yang menjadi mayoritas di Jawa Barat dan khususnya Bandung Raya, menjadikan hal ini sebagai prioritas untuk adanya sistem rantai pasok. Gambaran mengenai struktur dan perilaku pelaku rantai pasok dalam hal pembelian material konstruksi akan menjadi penting.

Tujuan penelitian

Tujuan yang diharapkan akan tercapai dengan adanya penelitian ini adalah untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan. Berikut adalah tujuan dari penelitian ini:

1. Mendapatkan gambaran struktur rantai pasok komoditas strategis pada kontraktor kecil bidang bangunan gedung di Bandung Raya.
2. Mengidentifikasi perilaku dari pelaku rantai pasok setiap komoditas strategis pada kontraktor kecil bidang bangunan gedung di Bandung Raya.

Ruang Lingkup Penelitian

Untuk mengakomodasi tujuan dari penelitian ini, maka dilakukan batasan-batasan untuk membentuk ruang lingkup penelitian. Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut :

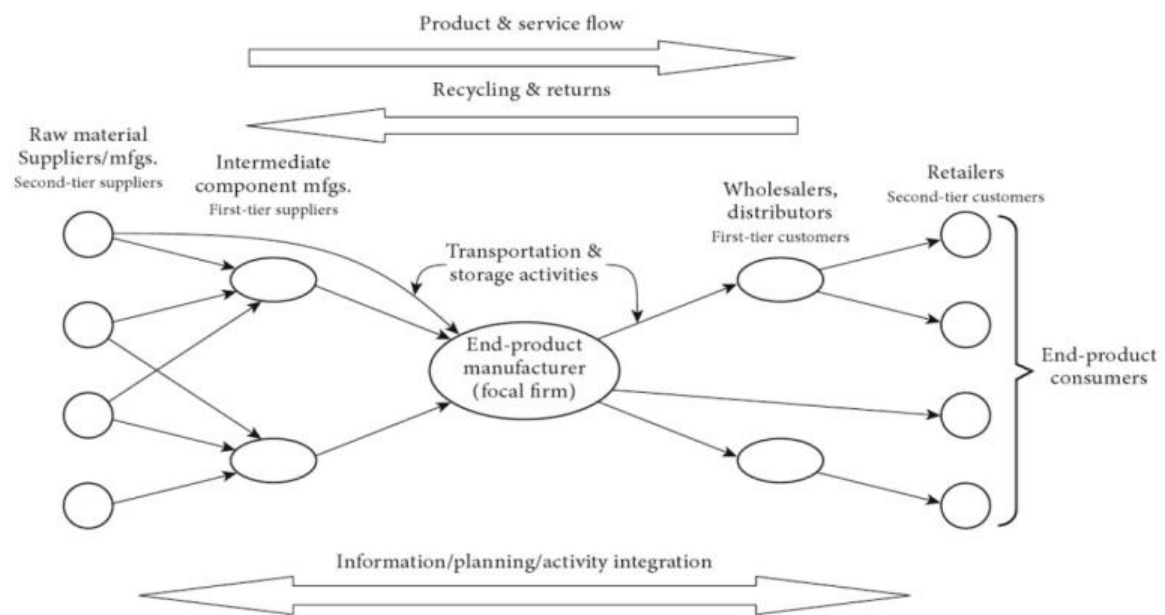
1. Struktur dan perilaku rantai pasok yang akan digambarkan hanya terbatas pada komoditas-komoditas strategis, yaitu: (1) batu bata, (2) semen, (3) beton *ready mix*, (4) baja tulangan, (5) kaca, (6) Kayu, dan (7) pasir.
2. Penelitian ini dibatasi hanya dengan menggambarkan struktur dan perilaku pelaku rantai pasok pada kontraktor kecil bidang bangunan gedung dengan kualifikasi kecil.
3. Penggambaran perilaku pelaku rantai pasok pada penelitian terbatas pada hubungan antar pelaku rantai pasok.
4. Pengambilan data untuk penelitian ini hanya berlokasi di Bandung Raya (Kota Bandung, Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat dan Kota Cimahi).

KAJIAN LITERATUR

Rantai Pasok

Rantai pasok atau *supply chain* merupakan konsep baru dalam industri konstruksi. Konsep rantai pasok pertama kali muncul dalam industri manufaktur. Tuntutan terhadap efisiensi memaksa suatu perusahaan untuk membentuk struktur organisasi yang lebih sederhana, mendorong perusahaan untuk lebih fokus pada bisnis intinya, dan menyerahkan aktivitas pendukungnya pada pihak lain. Perkembangan ini mengakibatkan produk atau jasa yang dihasilkan oleh suatu bisnis, bukan lagi merupakan *output* dari satu organisasi secara individu, namun merupakan *output* dari suatu rangkaian organisasi, yang disebut rantai pasok (Maylor, 2003).

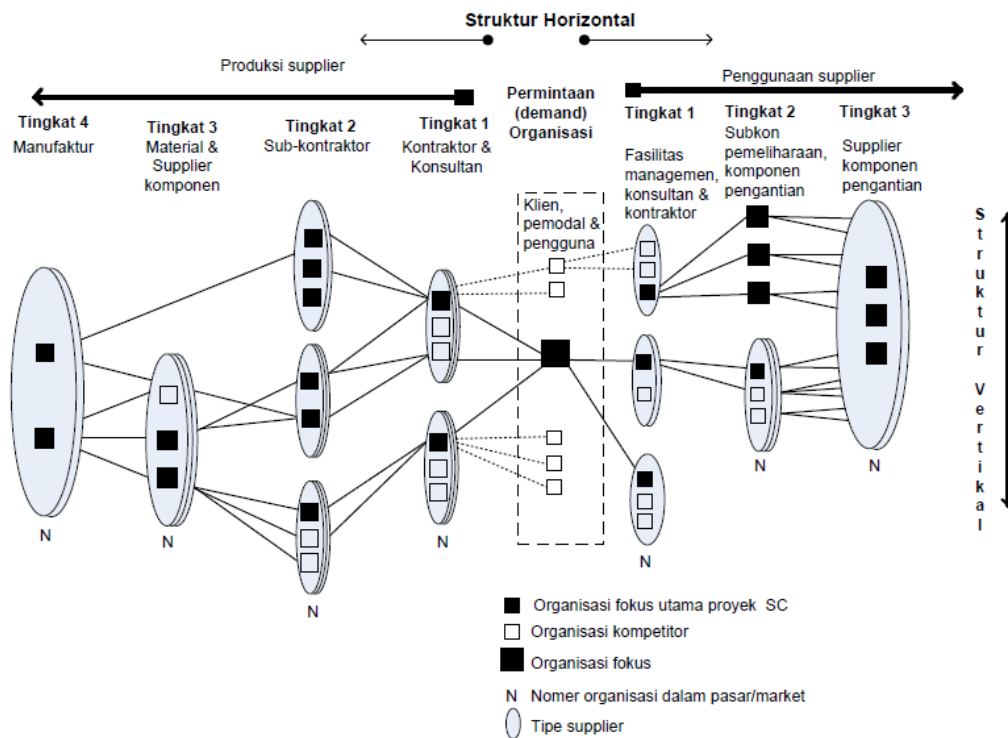
Pada **Gambar 1** dijelaskan bahwa rantai pasok merupakan suatu proses yang dimulai dengan pengumpulan sumber daya yang ada dan kemudian dilanjutkan dengan proses pengolahan untuk menjadi produk siap pakai untuk selanjutnya didistribusikan dan dipasarkan hingga ke pelanggan terakhir dengan memperhatikan biaya, kualitas, ketersediaan, pelayanan, dan faktor reputasi. Rantai pasok itu sendiri meliputi *supplier*, *manufacture*, dan *retailer* yang saling berhubungan satu sama lain dan bekerja sama secara langsung maupun tidak langsung (Wisner, et al., 2012, p.6). Rantai pasok secara umum juga dijelaskan bahwa adanya aliran produk dan pelayanan yang mengarah dari *raw material* hingga *retailers* (**Gambar 1**). Selain itu juga terdapat aliran *recycling* dan *returns* yang mengarah ke arah sebaliknya dari aliran produk dan pelayanan. Namun untuk aliran informasi, perencanaan dan integrasi aktivitas alirannya adalah dua arah (**Gambar 1**).



Gambar 1. Rantai Pasok Secara Umum (Wisner, et.al., 2012)

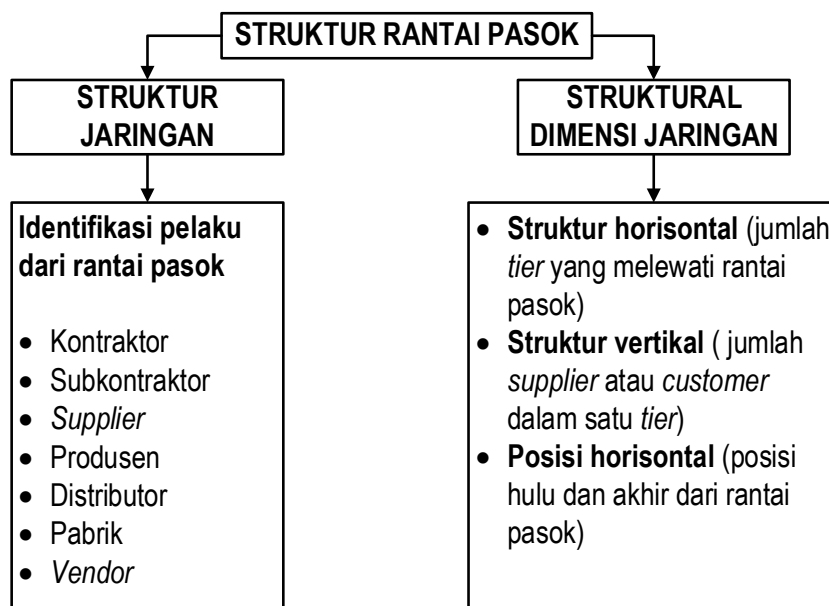
Struktur Rantai Pasok

Struktur rantai pasok memiliki struktur vertikal yang memuat kompetitor dan pada sisi horisontal, sejumlah *tiers* rantai pasok membentuk sejumlah rantai yang panjang dan pendek (McGeorge dan Palmer, 2002). *Supplier* dibagi menjadi dua tipe yakni *production supplier* dan *in-use supplier*. Jika melihat **Gambar 2** dapat dilihat pada sisi *production supplier* menggunakan *supplier* material proyek konstruksi untuk memproduksi bangunan baru sedangkan pada sisi *in-use supplier* menggunakan *supplier* material proyek konstruksi untuk pekerjaan rehabilitasi dan pemeliharaan bangunan. Kedua tipe *supplier* tersebut mengarah pada sisi berlawanan oleh karena perbedaan peran/fungsi dan dapat dikatakan penamaan yang sama untuk proses yang berbeda. Pada sisi vertikal, memuat sejumlah *supplier* pada setiap tingkatan/*tiers* dan berisi pemain utama (*focus*) dan kompetitornya. Sedangkan klien berfungsi sebagai penentu jenis dan bentuk produk/jasa yang disediakan oleh pemain utama dan kompetitornya.



Gambar 2. Peta Tipikal Struktur Rantai Pasok Proyek Konstruksi (McGeorge dan Palmer, 2002)

Dari **Gambar 2** mengenai peta tipikal rantai pasok tersebut, maka dilakukan penyederhanaan untuk mendapatkan indikator-indikator yang akan digunakan untuk menggambarkan struktur rantai pasok material konstruksi. Variabel yang pertama adalah struktur jaringan dengan indikator identifikasi pelaku dari rantai pasok material konstruksi. Kemudian variabel kedua adalah struktur dimensi jaringan dengan indikator-indikatornya berupa **struktur horisontal** (jumlah *tier*), **struktur vertikal** (jumlah *supplier* atau *customer* dalam satu *tier*), dan **posisi horisontal** (posisi hulu dan hilir rantai pasok). Indikator-indikator tersebut digambarkan secara lebih jelas pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Variabel dari Struktur Rantai Pasok

Perilaku Pelaku Rantai Pasok

Menurut Hasibuan (1993) dalam Mahesa (2010), perilaku adalah tanggapan dan penyesuaian suatu industri di dalam pasar dalam mencapai tujuannya. Perilaku industri terdiri dari kebijakan-kebijakan yang diadopsi oleh para pelaku pasar dan mengalahkan pesaingnya. Pada penelitian ini perilaku yang dimaksud adalah perilaku dari setiap pelaku dalam rantai pasok komoditas strategis. Perilaku lebih diutamakan pada perilaku hubungan antar pelaku secara horisontal dalam lingkup pembelian material

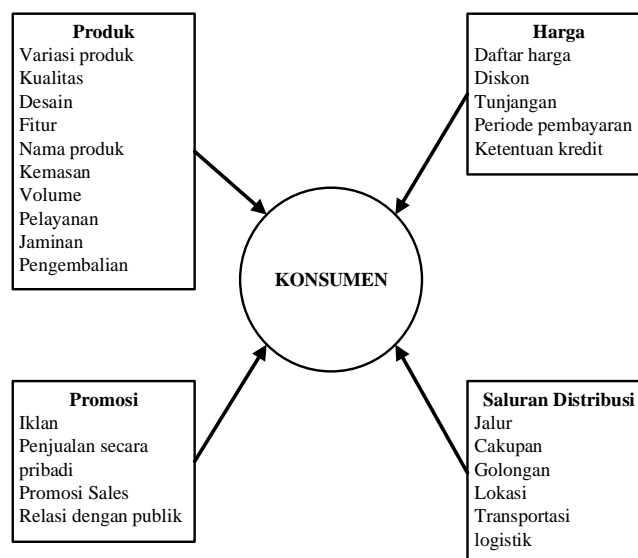
Tabel 1. Kriteria Pemilihan Pemasok (Kannan dan Tan, 2002)

Kannan and Tan, 2002	1. Komitmen terhadap kualitas
	2. Ketepatan waktu dalam pengiriman material
	3. Harga material dan pelayanan yang diberikan
	4. Reputasi perusahaan pemasok
	5. Kapabilitas pemasok

Terdapat lima kriteria utama dalam pemilihan pemasok, seperti yang telah dijelaskan oleh Kannan dan Tan (2002) pada **Tabel 1**. Kriteria utama dalam pemilihan pemasok adalah komitmen terhadap kualitas, kemampuan memenuhi pesanan tepat waktu, biaya material dan layanan, reputasi dari pemasok, dan kemampuan dari pemasok. Kriteria utama tersebut kemudian terdapat beberapa sub-kriteria yang kemudian menjadi indikator-indikator dalam pemilihan pemasok oleh kontraktor kecil.

Perilaku pembelian pelanggan (*Customer Buying Behaviour*) merupakan motif pembelian dari segmen potensial pelanggan yang harus ditentukan untuk mendesain rantai pasok yang efisien dan efektif. Dengan mengetahui perilaku pembelian pelanggan dapat mengidentifikasi pengguna yang berpotensi. Proses pembuatan keputusan para pembeli dalam industri bergantung pada perusahaan pengguna dan atau distributor.

Menurut Kotler (2000), faktor-faktor utama yang mempengaruhi perilaku pembelian konsumen dari stimuli pemasaran berupa bauran pemasaran yang meliputi, produk, harga, promosi, dan saluran distribusi (**Gambar 4**).



Gambar 4. 4-P Bauran Pemasaran (Kotler, 2000)

Komoditas Strategis

Komoditas itu sendiri adalah suatu benda atau barang yang diperdagangkan, dapat disimpan dalam jangka waktu yang tertentu. Barang yang dijadikan komoditas tersebut harus dapat diserahkan secara fisik. Komoditas unggulan adalah komoditi potensial yang dipandang dapat dipersaingan dengan produk sejenis di daerah yang berbeda, karena disamping memiliki keunggulan komparatif juga memiliki efisiensi yang tinggi (Ely, 2014). Komoditas unggulan merupakan hasil usaha yang memiliki pemasaran yang tinggi dan menguntungkan bagi masyarakat. Berikut adalah beberapa kriteria dari komoditas unggulan:

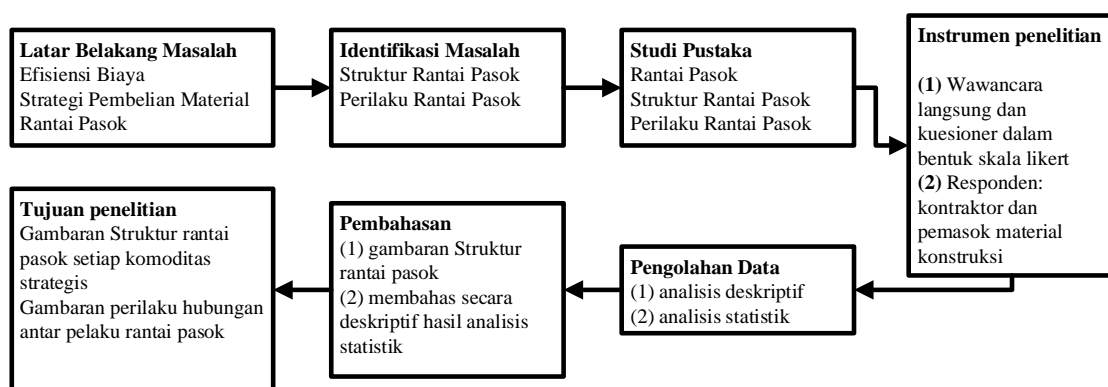
1. Mempunyai daya saing yang tinggi di pasaran (keunikan/ciri spesifik, kualitas baik, dan harga murah).
2. Memanfaatkan potensi sumber daya lokal yang potensial dan dapat dikembangkan.
3. Mempunyai nilai tambah bagi masyarakat atau pihak konsumen.
4. Secara ekonomi menguntungkan dan bermanfaat untuk meningkatkan pendapatan dan kemampuan sumber daya manusia.
5. Layak didukung oleh modal bantuan atau kredit.

METODOLOGI PENELITIAN

Kerangka Acuan

Penelitian ini berkembang dari latar belakang masalah berupa kebutuhan akan efisiensi dalam proyek konstruksi terutama dari segi biaya. Selain itu untuk menunjang efisiensi, maka dibutuhkan strategi pembelian yang tepat sasaran dan salah satu hal dalam strategi pembelian material adalah dengan mengetahui rantai pasok material. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka teridentifikasi dua masalah yaitu, gambaran struktur rantai pasok material konstruksi dan perilaku hubungan antar pelaku rantai pasok material konstruksi.

Dalam penelitian ini dibutuhkan dukungan studi pustaka untuk mencapai tujuan penelitian. Literatur-literatur seperti rantai pasok, struktur rantai pasok, dan perilaku rantai pasok adalah literatur yang dibutuhkan untuk mendapatkan indikator-indikator yang dapat menggambarkan struktur dan perilaku rantai pasok.



Gambar 5. Diagram Kerangka Penelitian

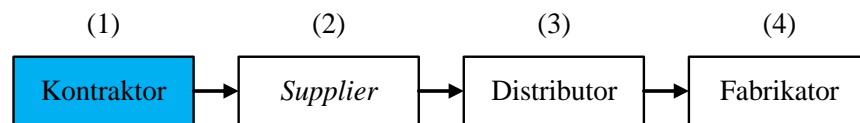
Penelitian ini menggunakan instrumen penelitian berupa kuesioner menggunakan skala *likert* untuk mendapatkan perilaku dari pelaku rantai pasok material konstruksi dan wawancara langsung kepada responden untuk dapat menggambarkan struktur rantai pasok. Pengolahan data akan dilakukan dengan analisis deskriptif dan analisis statistik. Analisis deskriptif untuk menggambarkan struktur rantai pasok dengan melakukan agregasi terhadap data-data yang telah didapatkan. Sedangkan

untuk perilaku rantai pasok akan dilakukan analisis statistik untuk dapat melihat perilaku yang paling dominan diterapkan oleh para pelaku rantai pasok. Hasil dari analisis statistik akan dilakukan pembahasan lebih lanjut untuk mendapatkan gambaran perilaku para pelaku rantai pasok material konstruksi. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan gambaran struktur rantai pasok komoditas strategis dan perilaku para pelaku rantai pasok komoditas strategis. Penjelasan diatas mengenai penelitian ini digambarkan secara diagram sesuai dengan **Gambar 4**.

Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data perlu dilakukan dalam penelitian ini untuk mengumpulkan data yang kemudian akan diolah untuk mendapatkan hasil atau tujuan dari penelitian ini. Dalam pengumpulan data, terdapat data primer dan data sekunder. Data primer merupakan sumber data penelitian yang didapatkan langsung dari sumber aslinya. Teknik pengumpulan data primer dapat dilakukan dengan wawancara, menelusuri pendapat dari satu individu atau beberapa kelompok dan melakukan observasi secara langsung di lapangan. Sedangkan data sekunder merupakan sumber data penelitian yang didapatkan melalui media perantara yang dapat berupa, buku, catatan, arsip yang telah dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan secara umum.

Data primer dalam penelitian ini didapatkan melalui wawancara secara langsung kepada para responden yaitu, kontraktor dengan kualifikasi kecil bidang bangunan gedung dan pemasok material konstruksi di Bandung Raya yang sesuai dengan komoditas strategis bidang bangunan gedung. Pada kontraktor kualifikasi kecil, Project manager dan divisi pengadaan menjadi target utama dalam penyebaran kuesioner, sedangkan pada pemasok ditargetkan dapat langsung berhubungan dengan pemilik dari usaha tersebut.



Gambar 6. Alur Pengumpulan Data

Pada **Gambar 6**, dijelaskan alur untuk pengumpulan data primer dengan permulaan dari kontraktor. Setelah didapatkan data dari kontraktor, maka dilanjutkan proses pengumpulan data dari *supplier*. Hal ini dilakukan hingga kepada produsen.

Data sekunder diperoleh dari internet dan media cetak berupa penelitian-penelitian yang menunjang untuk penelitian ini, seperti tahapan-tahapan dalam penyusunan struktur rantai pasok. Selain itu data sekunder dapat diperoleh dari kontraktor kualifikasi kecil maupun dari *supplier* berupa data-data mengenai daftar pemasok material konstruksi.

Rancangan Survei

Penelitian ini membutuhkan responden sebagai sumber data primer. Responden pada penelitian ini bermula dari kontraktor dengan klasifikasi kecil (K1, K2, dan K3) dengan sub-bidang bangunan gedung. Direktur atau divisi bagian pengadaan menjadi target utama sebagai responden. Responden selain kontraktor juga dibutuhkan responden pemasok yang merupakan pemasok komoditas strategis yang terdiri dari Semen, Batu Bata, Baja Tulangan, Pasir, Kaca, Kayu dan Beton *ready-mix*.

Objek penelitian dilakukan di Bandung Raya yang meliputi, Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung, dan Kabupaten Bandung Barat.

Metode Analisis Data

Pengolahan data adalah suatu proses dalam memperoleh data ringkasan atau angka ringkasan dengan menggunakan cara-cara atau rumus-rumus tertentu (Hassan, 2002). Proses pengolahan data secara singkat menurut Witarto (2008), dapat meliputi sebagai berikut:

- a. Verifikasi
- b. Pengorganisasian data
- c. Pencarian kembali
- d. Transformasi
- e. Penggabungan
- f. Pengurutan
- g. Perhitungan/kalkulasi
- h. Ekstraksi data untuk membentuk suatu informasi
- i. Pembentukan pengetahuan

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif. Analisis deskriptif merupakan prosedur statistik untuk menguji generalisasi hasil penelitian yang didasarkan atas satu variabel. Jenis teknik statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis deskriptif harus sesuai dengan jenis data atau variabel berdasarkan skala pengukurannya. Analisis komparasi atau perbedaan merupakan prosedur statistik untuk menguji perbedaan di antara dua kelompok data (variabel) atau lebih.

HASIL, ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

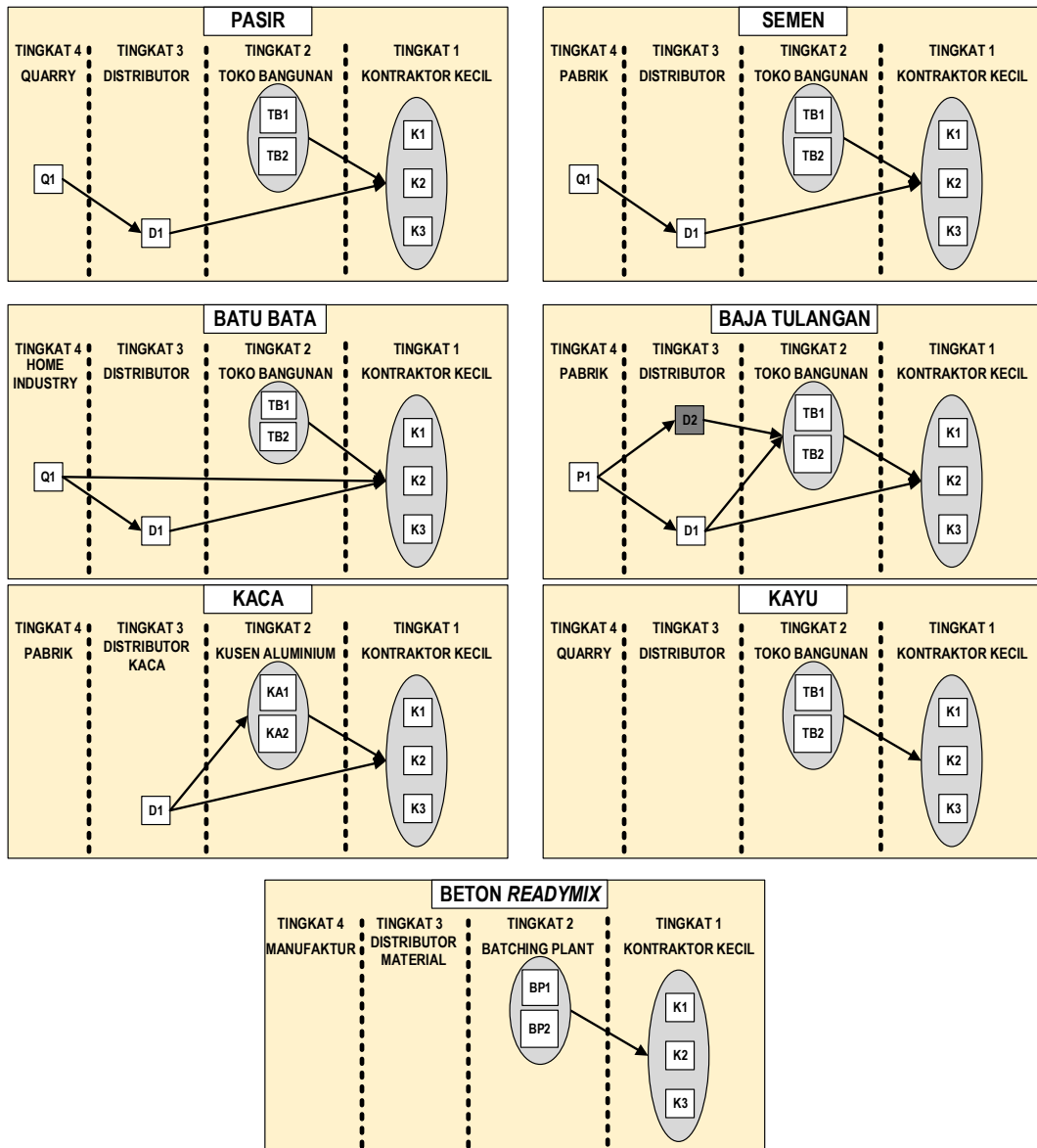
Struktur Rantai Pasok

Penelitian ini masih berjalan dan berproses dalam pencarian data. Pencarian data diawali dengan mencari responden dari konsumen atau dalam hal ini adalah kontraktor kecil di Bandung Raya. Kemudian dilanjutkan dengan mencari responden dari pemasok setiap komoditas strategis bidang bangunan gedung. Responden kontraktor yang didapatkan adalah kontraktor kecil bidang bangunan gedung dengan kualifikasi yang bervariasi (K1, K2, dan K3). Total telah didapatkan 16 responden kontraktor dan 1 responden pemasok di Bandung Raya dengan pembagian daerah seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Jumlah Responden yang didapatkan

Daerah	Kontraktor	Pemasok
Kota Cimahi	4	-
Kota Bandung	5	1
Kab. Bandung	3	-
Kab. Bandung Barat	4	-
Total	16	1

Data yang telah didapatkan berupa data primer dari kontraktor kecil hasil dari wawancara langsung. Wawancara mengenai identitas pelaku rantai pasok dari setiap komoditas strategis (**Gambar 7**). Dengan melakukan agregasi dari data yang didapatkan, maka didapatkan penggambaran struktur rantai pasok dari setiap komoditas strategis. Penggambaran struktur rantai pasok belum dapat digambarkan secara maksimal dikarenakan data yang didapatkan masih terbatas. Berikut adalah penggambaran struktur rantai pasok untuk setiap komoditas strategis berdasarkan data yang telah diterima.



Gambar 7. Gambaran Struktur Rantai Pasok Komoditas Strategis

Penggambaran struktur rantai pasok pada **Gambar 5** didapatkan berdasarkan hasil data sementara yang didapatkan. Penggambaran struktur rantai pasok digambarkan pada setiap komoditas strategis yang berjumlah tujuh komoditas. Jika melihat pada **Gambar 5**, sudah dapat terlihat identitas dari para pelaku rantai pasok dan struktur horisontal dari rantai pasok dengan kontraktor kecil sebagai hilir dari rantai pasok. Setiap komoditas akan memiliki struktur rantai pasok yang berbeda dari satu komoditas dengan komoditas lain.

Perilaku Pelaku Rantai Pasok

Hasil yang didapatkan dari data yang diterima sampai ini, membahas mengenai hubungan perilaku antara kontraktor kecil bidang bangunan gedung dengan pemasok material konstruksi. Hal ini dikarenakan wawancara yang telah dilakukan adalah mendapatkan perilaku dari satu pihak yaitu kontraktor, dalam konteks hubungan dengan pemasok dari setiap komoditas strategis.

Tabel 3. Perilaku Hubungan Kontraktor Terhadap Pemasok

Kriteria Utama	Sub-kriteria	Hasil dari Responden
Komitmen terhadap kualitas	kriteria pemasok dalam aspek kualitas	Kesesuaian dengan spesifikasi yang ditetapkan menjadi sangat penting
Ketepatan waktu dalam pengiriman material	kriteria pemasok dalam aspek lokasi	Penting untuk melihat jarak lokasi pemasok, namun waktu pengiriman lebih penting
	transportasi pengiriman material	Pesanan material selalu dikirimkan oleh pihak pemasok
	tahapan pengiriman material	Pengiriman selalu dilakukan secara bertahap
Harga material dan pelayanan yang diberikan	kriteria pemasok dalam aspek harga	Kepantasan harga dengan kualitas material sangat penting
	kriteria pemasok dalam aspek layanan	Kemampuan pengiriman material tepat waktu dan kemudahan dalam berkomunikasi menjadi hal yang sangat penting
	prosedur permintaan material	Kontraktor melakukan perencanaan terlebih dahulu untuk pemesanan
	prosedur penerimaan material	Material dikirimkan secara bertahap
Reputasi perusahaan pemasok	penyelesaian masalah	Masalah selalu diselesaikan dengan negosiasi
	permasalahan	Pengiriman material yang tidak tepat waktu menjadi masalah yang cukup sering terjadi
	hubungan kerjasama	Hubungan kerja sama pendek yang sering terjadi
Kapabilitas pemasok	kriteria pemasok dalam aspek kuantitas	Sangat penting untuk menyediakan jumlah sesuai pesanan

Berdasarkan hasil pada **Tabel 3** menggambarkan perilaku yang terjadi ketika kontraktor berhubungan langsung dengan pemasok dalam hal pemilihan pemasok dan proses pembelian material. Berdasarkan kriteria utama oleh Kannan dan Tan (2002), kemudian terdapat beberapa sub-kriteria untuk melihat lebih detail hubungan perilaku antara kontraktor dengan pemasok.

Hasil dari perilaku hubungan kontraktor dengan pemasok didapatkan berdasarkan nilai perbandingan persentase dengan bantuan skala *likert*. Satu variabel dengan variabel lain akan dibandingkan berdasarkan nilai bobot yang didapatkan, sehingga didapatkan presentase yang paling dominan.

Penelitian ini telah sampai pada pengumpulan data pada responden kontraktor kecil di Bandung Raya, sehingga data yang disajikan adalah data hubungan antara kontraktor kecil dengan pemasok dari setiap komoditas. Penelitian ini masih akan berjalan dengan pencarian data untuk identifikasi perilaku dari pemasok, distributor, dan produsen.

KESIMPULAN

Hasil sementara penelitian ini adalah telah diperoleh identitas dari para pelaku rantai pasok dan gambaran struktur horisontal dari rantai pasok dengan kontraktor kecil sebagai hilir dari rantai pasok, namun demikian setiap komoditas memiliki struktur rantai pasok yang berbeda dari satu dengan yang lain. Hasil kajian sementara untuk perilaku dari para pelaku rantai pasok diperoleh bahwa terdapat lima kriteria utama yang menentukan hubungan antara kontraktor dan para pemasok, yaitu komitmen terhadap kualitas, ketepatan waktu pengiriman material, harga material dan pelayanan yang diberikan oleh pemasok, reputasi dari pemasok, dan kapabilitas pemasok.

Penelitian ini akan dilanjutkan dengan pengumpulan data kembali dengan target responden adalah *supplier*, distributor, dan produsen. Hal ini dilakukan agar struktur dan perilaku rantai pasok dapat digambarkan dengan lebih lengkap dan komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Jawa Barat. (2018). *Konstruksi Dalam Angka Provinsi Jawa Barat 2017*. Bandung: Badan Pusat Statistik.
- Ely Kartikaningdyah. (2014). *Analisis Location Quotient Dalam Penentuan Produk Unggulan Pada Beberapa Sektor di Kabupaten Lingga Kepulauan Riau*. Jurnal Integrasi. Riau.
- Hasan, M. Iqbal. (2002). *Pokok-Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*. Jakarta: Graha Indonesia.
- Kannan, V. R., and Tan, K. C. (2002). *Supplier selection and assessment: Their impact on business performance*. J. Supply Chain Manage., 38(4), 11–21.
- Kotler, Philip. (2000). *Manajemen Pemasaran*. Jakarta: Prenhallindo.
- Mahesa, B. (2010). *Analisis Struktur, Perilaku, dan Kinerja Industri Minuman di Indonesia Periode 2006-2009*. Media Ekonomi 18(3): 1-18.
- Maylor, H., (2003), "*Project Management*", third edition, Prentice-Hall.
- McGeorge, D. and Palmer, A. (2002). *Construction Management New Directions*. 2nd Edition. Blackwell Publishing Company. United kingdom.
- Wisner, D.W., Tan, K.W., dan Leong,G.K. (2012). *Principles of Supply Chain Management*, 3rd ed. South-Western: Nelson Education.
- Wisner, J.D. (2005). *Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach*. International Student Edition. Thomson.
- Witarto. (2008). *Memahami Pengolahan Data*. Jakarta: Bumi Aksara.

IDENTIFIKASI KONSEP MODEL MANAJEMEN PENGENDALIAN INEFISIENSI BIAYA AKIBAT SISA MATERIAL KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DITINJAU DARI PIHAK KONTRAKTOR BUMN

James Thoengsal¹, Rusdi Usman Latief², Suharman Hamzah³ dan Irwan Ridwan Rahim⁴

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanudin Jl, Poros Malino km.6 Kampus Teknik Gowa, Sulawesi Selatan email: jamesthoeingsal@gmail.com

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanudin Jl, Poros Malino km.6. Kampus Teknik Gowa, Sulawesi Selatan, email rusdiul@gmail.com

³Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanudin Jl, Poros Malino km.6. Kampus Teknik Gowa, Sulawesi Selatan, email suharmanhz@yahoo.com

⁴Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanudin Jl, Poros Malino km.6. Kampus Teknik Gowa, Sulawesi Selatan, email irwanrr@yahoo.com

ABSTRAK

Perkembangan pembangunan gedung bertingkat di Indonesia khususnya pada kota-kota yang sedang berkembang selama sepuluh tahun terakhir telah mengalami perkembangan yang cukup signifikan. Salah satu penyebab pembengkakan biaya konstruksi yaitu akibat timbulnya sisa material yang menjadi masalah yang serius dalam mempertahankan kinerja biaya konstruksi bagi pihak kontraktor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan suatu konsep model manajemen pengendalian biaya yang ideal akibat timbulnya sisa material konstruksi bangunan gedung di Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan dengan penentuan sampel dengan teknik purposive sampel dimana terdiri dari sampel jumlah proyek konstruksi bangunan gedung yang sedang berjalan serta survei jumlah perwakilan kontraktor-kontraktor BUMN yang ada di Indonesia, kemudian melakukan pengumpulan data primer berupa pembagian kuesioner dan wawancara terhadap pihak penyelenggara konstruksi khususnya pada kontraktor BUMN yang telah berpengalaman, kemudian selanjutnya data diolah menggunakan konsep *Structural Equation Modelling Partial Least Square* (SEM-PLS) untuk memperoleh hasil penilaian berupa pengaruh yang signifikan penerapan manajemen sisa material konstruksi, setelah itu dilakukan analisis lanjutan dengan konsep dinamik menggunakan metode *Dynamic Serial Times Analysis* menggunakan *software VENSIM-PLE* untuk memperoleh nilai potensi penerapan manajemen sisa material konstruksi terhadap dalam mereduksi dampak inefisiensi biaya akibat sisa material konstruksi bangunan gedung berdasarkan durasi waktu analisis. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperolehnya pengembangan konsep model manajemen yang dapat memberikan penilaian terhadap potensinya mereduksi inefisiensi biaya akibat sisa material konstruksi bangunan gedung yang kiranya dapat memberikan informasi dan gambaran kepada pihak penyelenggara konstruksi dalam hal ini ditujukan kepada pihak pelaksana/kontraktor maupun konsultan perencana dalam upaya menekan dampak inefisiensi biaya penggunaan material selama proses konstruksi bangunan gedung di Indonesia kedepannya.

Kata Kunci: Manajemen, Sisa, Material, Gedung, Konstruksi, Biaya, BUMN

PENDAHULUAN

Peningkatan pembangunan konstruksi di Indonesia khususnya di Indonesia kian meningkat dari tahun ke tahun tentunya membutuhkan banyak sumber daya baik berupa uang, tenaga kerja, peralatan, metode dan yang tidak kalah penting yaitu sumber daya material.

Negara Indonesia merupakan negara yang sedang berkembang dalam beberapa tahun terakhir ini khususnya di Kota Makassar yang terletak di bagian Indonesia Timur, sehingga dalam menjalankan kegiatan ekonomi, perdagangan, bisnis maupun pemerintahan dibutuhkan penyediaan sarana dan prasarana yang mendukung seperti pembangunan bangunan gedung. Pembangunan gedung saat ini mengarah pada pembangunan ke arah vertikal dan horizontal bentang lebar. Hal tersebut disebabkan kebutuhan aktivitas kegiatan manusia yang terus bertambah sehingga membutuhkan banyak fasilitas bangunan. Peningkatan pembangunan konstruksi bangunan gedung di Indonesia khususnya di kota-kota besar yang kian meningkat dari tahun ke tahun. Realita selama ini yaitu sebagian besar penerapan manajemen sisa material konstruksi pada tahap perencanaan sampai pelaksanaan yang masih rendah dan belum optimal khususnya pada kontraktor –kontraktor swasta dibandingkan dengan kontraktor Badan Usaha Milik Negara (BUMN) (Ervianto, 2015).

Penelitian-penelitian sebelumnya pada umumnya lebih banyak meneliti pada tahap kajian identifikasi timbulnya sisa material konstruksi, namun masih sangat sedikit referensi penelitian di Indonesia yang mengkaji bagaimana potensi penerapan manajemen *waste* material bangunan gedung dalam mereduksi dampak inefisiensi biaya selama konstruksi. Adanya sumber data penelitian-penelitian sebelumnya yang memperlihatkan dampak inefisiensi biaya akibat timbulnya sisa material selama proses konstruksi bangunan gedung akibat minimnya penerapan *waste* manajemen. Proporsi biaya material sekitar 40-60% dari biaya total proyek (Intan et al., 2005) yang dimana proporsi kontribusi *cost overrun* akibat timbulnya sisa material selama konstruksi bangunan gedung berkisar 3-13.5% (Devia et al., 2010). Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi konsep manajemen sisa material yang ideal dalam upaya mereduksi inefisiensi biaya proyek konstruksi bangunan gedung.
2. Mengembangkan konsep model manajemen yang dapat menunjukkan hubungan pengaruh penerapan dan potensialnya dalam mereduksi dampak inefisiensi biaya akibat sisa material pada konstruksi bangunan gedung ke depannya di Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

Manajemen Pengelolaan *Waste Material*

Manajemen pengelolaan *waste material* menjadi tanggung jawab oleh masing-masing pihak penyelenggara konstruksi mulai dari pihak perencana, pelaksana, supplier, pengawas dan pemilik bangunan gedung. Manajemen pengelolaan yang buruk tentu memberikan efek terhadap timbulnya limbah material.

Terjadinya limbah material konstruksi dapat disebabkan oleh satu atau kombinasi dari beberapa sumber dan penyebab. Gavilan dan Bemold (1994), membedakan sumber-sumber sisa material konstruksiatas enam kategori: (1) desain; (2) pengadaan material; (3) penanganan material; (4) pelaksanaan; (5) residual; (6) lain-lain. Hasil penelitian Bossink dan Browers (1996) di Belanda, menyimpulkan sumber dan penyebab terjadinya sisa material konstruksi berdasarkan kategori penyebab *waste material* yang telah dibuat oleh Gavilan dan Bemold (1994).

Menurut Bilitewski et al. (1994) and Gilpin (1996), manajemen limbah konstruksi meliputi pengumpulan, transportasi, penyimpanan, perlakuan, pemulihan dan pembuangan limbah dan didefinisikan sebagai komprehensif, integrasi, dan pendekatan sistem rasional terhadap pencapaian dan perawatan kualitas lingkungan dan mendukung pembangunan berkelanjutan. Selain itu, Minks (1994) menganggap manajemen limbah sebagai alat untuk mengontrol biaya pembuangan limbah konstruksi dan juga memfasilitasi evaluasi alternatif metode pembuangan seperti daur ulang dan guna ulang untuk mengurangi limbah ke TPA.

Dampak Waste Material Konstruksi

Dampak waste material yang ditimbulkan memberikan efek ke beberapa aspek. Dari beberapa studi literatur telah diidentifikasi 3 (tiga) kategori dampak waste material antara lain aspek lingkungan, social dan biaya (Begum *et al.*, 2010; Mokhtar & Mahmood, 2008). Beberapa referensi faktor-faktor yang menyebabkan dampak negatif terhadap aspek biaya dari hasil limbah material konstruksi.

Tabel 1. Faktor-faktor dampak biaya penyebab waste material konstruksi

No	Faktor	Referensi
1	Menimbulkan peningkatan biaya proyek	Olusanjo O. Fadiya et al (201); Mahajan A.P. (2017); Shant A. Dajadian (2014)*, Urjo & Brent (2006); Ndiokubwayo & Haupt (2009); Sasitharan Nagapan (2012); S. A. Mahayuddin (2008)
2	Menimbulkan peningkatan biaya transportasi pembuangan limbah material konstruksi	Thangjam Somchand Singh (2015); Faridah et al., (2004); Ekanayake & Ofori (2000)
3	Meningkatnya harga material alami/bahan baku.	Mahajan A.P. (2017); Gavilan (1994); Wang et al. (2008)
4	Meningkatnya biaya lokasi penimbunan limbah material konstruksi	BIE, (1993); Lingard et al, (2000); Gavilan & Bernold (1994); Wang et al. (2008)

Manajemen Siklus Hidup Pengelolaan Sisa Material Konstruksi

Pendekatan pengelolaan limbah material secara berkelanjutan dapat dinilai berdasarkan siklus hidup proyek (Zubair Abd Hamid et al). Fase desain dan perencanaan memberikan kesempatan terbaik untuk melakukannya pencegahan timbulnya limbah material konstruksi (British Standard Institute, 2013). Peluang itu masih ada selama tahap pengadaan, konstruksi, operasional dan penggunaan akhir namun dampak terbesar umumnya dibuat selama tahap perencanaan awal. Tingkat potensi pengurangan limbah material konstruksi telah diteliti oleh Innes (2004), yang menyarankan bahwa 33% dari semua limbah material di lokasi konstruksi disebabkan karena kegagalan menerapkan langkah-langkah

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan berupa jenis penelitian survei dengan metode yang bersifat inferensial-*development* dengan melakukan suatu penelitian dengan membuat suatu model yang dapat memprediksi pengaruh manajemen pengelolaan *waste material* berpengaruh terhadap dampak biaya proyek, serta dapat memprediksi secara dinamik pengaruh penerapan manajemen *waste material* terhadap potensi mereduksi biaya inefisiensi proyek konstruksi bangunan gedung ini di Kota Makassar. Stakeholder dalam penelitian ini adalah pihak kontraktor BUMN sebagai kontraktor utama dalam menangani proyek konstruksi bangunan gedung dan pihak-pihak yang terlibat di dalamnya seperti konsultan perencana, pengawas, sub kontraktor dan pihak-pihak

supplier material. Dimana Responden dalam penelitian ini adalah terdiri dari para personil yang berpengalaman dan paham akan maksud penelitian ini.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu Penelitian diperkirakan akan dilakukan setelah data penelitian telah diperoleh (Kemungkinan diprediksikan minimal 6 (Enam) bulan setelah penelitian ini disetujui untuk dilakukan) dan kemudian lokasi penelitian direncanakan akan dilakukan pada beberapa proyek bangunan gedung yang sedang berjalan dan bangunan gedung yang telah beroperasi yang sedang berjalan di kota Kota besar di Indonesia.

Jenis dan Sumber Data

Jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder dengan penjelasan sebagai berikut :

a. Data primer

Pada penelitian ini diperoleh di lapangan melalui kuesioner, observasi, dokumentasi maupun wawancara dengan pihak yang paham tentang topik yang diteliti antara lain pihak konsultan perencana, kontraktor pelaksana dan pemilik bangunan gedung serta data observasi diperoleh dari pengamatan mandiri secara berkala pada seluruh lokasi proyek yang telah ditentukan selama survei penelitian berlangsung.

b. Data sekunder

Dalam penelitian ini diperoleh melalui hasil penelitian studi kepustakaan berupa jurnal, referensi buku, jurnal, situs internet serta dokumen-dokumen penunjang lainnya yang akurat dan relevan dengan bahan kajian.

Teknik Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder, dengan teknik pengumpulan data yaitu :

a. Pengumpulan data primer

Teknik pengumpulan data primer dalam penelitian ini meliputi:

1. Observasi yaitu dengan cara pengamatan secara langsung di lapangan, untuk mengamati bagaimana proses manajemen pengolahan waste material secara actual dilapangan pada phase konstruksi.
2. Membagikan kuesioner dengan menggunakan daftar pertanyaan yang diisi oleh responden, dengan jawaban yang telah disediakan berupa pilihan (*rating scale*) baik pihak klien, konsultan dan kontraktor pelaksana bangunan gedung di Kota Makassar.
3. Wawancara secara mendalam dan langsung dengan responden dilokasi penelitian.

b. Pengumpulan data sekunder

Teknik pengumpulan data sekunder dalam penelitian ini berupa data kepustakaan, yaitu pengumpulan data berupa studi literatur berupa jurnal, *text book*, serta data/dokumen penunjang maupun dokumen lainnya yang terkait dengan masalah yang diteliti.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah pihak pemilik bangunan gedung, kosultan perencana dan perusahaan kontraktor pelaksana yang sering menangani proyek bangunan gedung di Kota Makassar. Sampel penelitian adalah arsitek dan engineer dari pihak konsultan perencana, supervisi pelaksana baik proyek manajer, *quantity surveyor* maupun *quality surveyor* pada perusahaan kontraktor yang mengerti masalah yang sedang diteliti pada lokasi studi proyek yang telah ditetapkan dan pemilik bangunan gedung yang secara umum paham akan topik penelitian.

Pemilihan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling* yaitu pemilihan sampel yang disesuaikan dengan kebutuhan.

Metode Analisis Pengolahan Data

Adapun teknik analisis data yang digunakan dengan menggunakan analisis ukuran pemusatan, uji validitas dan reabilitas, diagram pengaruh, probabilitas bersyarat dengan menggunakan program SPSS *Statistic* dan *microsoft excel 2007* dan pembuatan pemodelan menggunakan *software Structural Equation Modeling (SEM) Type Smart-PLS* dan bantuan *Dynamic Analysis VENSIM*.

a. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif yang dimaksudkan adalah dengan menghitung nilai rata-rata /mean, modus (mo), median (me), standar deviasi dan varian dari pendapat para responden terhadap sebaran data kuesioner yang diperoleh.

b. Uji Validitas dan Reabilitas Data

Uji validitas item merupakan uji instrumen data untuk mengetahui seberapa cermat, valid, akurat suatu data dalam mengukur apa yang ingin diukur, sedangkan uji realibilitas digunakan untuk mengetahui keandalan, kestabilan atau konsistensi alat ukur (Priyanto, 2014) Dalam penelitian ini uji validitas dilakukan dengan menggunakan metode *corrected item-total correlation*. Untuk uji realibilitas digunakan metode *Cronbach’s Alpha*, dimana kedua penujian tersebut dilakukan dengan menggunakan program SPSS.

c. Membuat Pemodelan Tahap I

Dalam tahap ini dilakukan kajian identifikasi faktor-faktor manajemen sisa material konstruksi bangunan gedung yang ideal dan signifikan untuk diterapkan dalam proses pengembangan model. Tahapan ini menggunakan analisis statistik deskriptif untuk menyajikan hasil faktor-faktor manajemen yang ideal dalam proses pengembangan model manajemen sisa material konstruksi bangunan gedung.

d. Membuat Pemodelan Tahap II

Dalam tahap ini dilakukan uji pemodelan lanjutan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh potensi positif yang signifikan terhadap dampak lingkungan, social dan biaya jika manajemen *waste* material bangunan gedung pada setiap tahapan siklus hidup proyek telah dilaksanakan dengan baik oleh setiap stakeholder. Pada tahapan ini membuat pengembangan konsep pemodelan structural menggunakan *Structural Equation Modelling (SEM-PLS)* serta menganalisis pengaruh konsep manajemen sisa material yang selama ini telah diterapkan terhadap dampak negatif dari biaya dengan menggunakan persamaan model structural (*Structural Equation Modelling- SEM PLS*) dengan variable-variabel sub kategori dari setiap kategori variabel telah ditentukan sebagai alat ukur dilapangan terhadap responden.

Tabel. 2. Matrix rekapitulasi metode penelitian

Urutan Penelitian	Data Primer	Data Sekunder	Variabel Ukur	Tools Analisis	Tujuan Penelitian
Pengumpulan Data	Kuesioner	Text Book		Draft Kuesioner	
Tahap I	Wawancara	Jurnal		Kamera/dokumentasi	
	Observasi Lapangan				

Penelitian Tahap I: Hasil olah data Mengidentifikasi kuesioner Konsep Model Tahap I Pengaruh Konsep Model Terhadap Dampak Biaya Proyek Konstruksi Bangunan Gedung	Variabel SPSS Kategori Fase Siklus Hidup Proyek dan Sub Kategori MWBG	1. Identifikasi konsep pemodelan yang dapat memprediksi hubungan pengaruh manajemen waste material bangunan gedung yang biasa diterapkan oleh masing-masing stakeholder terhadap dampak negative biaya finansial proyek
Penelitian Tahap II: Konsep Model Hubungan Pengaruh Konsep Model Terhadap Dampak Negatif Biaya	Variabel SPSS & SEM PLS Kategori Fase Siklus Hidup Proyek dan Sub Kategori MWBG	2. Pengembangan pemodelan yang dapat memprediksi hubungan pengaruh manajemen waste material bangunan gedung yang biasa diterapkan oleh masing-masing stakeholder terhadap dampak negative biaya finansial proyek
Penelitian Tahap III: Uji Simulasi Presentase Potensi Penerapan Konsep Model Terhadap Upaya Mereduksi Dampak (Biaya) terhadap perubahan waktu	Variabel <i>Dynamic Analysis Serial Times</i> Kategori Fase Siklus Hidup Proyek dan Sub Kategori MWBG	3. Membuat simulasi -potensi penerapan manajemen waste material bangunan gedung dengan analisis dinamik terhadap perubahan waktu

e. Simulasi *Dynamic Serial Times* Tahap III

Tahap ini merupakan tahap lanjutan dari tahap pemodelan ke II dimana dari hasil uji T-Signifikan dan *Outer Loading Factors* dari model SEM yang nilai variabelnya memenuhi kriteria maka akan dilakukan simulasi prosentase potensi penerapan (*Adoption*) terhadap manajemen waste material bangunan gedung dalam usaha untuk menurunkan dampak negatif terhadap aspek lingkungan, sosial dan biaya. Simulasi ini menggunakan pendekatan dinamik terhadap perubahan waktu menggunakan software VENSIM untuk mengkaji dan memprediksi secara jangka panjang potensi penerapan manajemen sisa material konstruksi bangunan gedung dalam mereduksi disefisien biaya selama durasi waktu analisis.

HASIL KAJIAN LITELATUR

Studi Penelitian-Penelitian Terdahulu

Dari beberapa hasil studi litelatur jurnal diperoleh rekap penelitian terdahulu yang mengkaji konsep manajemen sisa material konstruksi dari beberapa negara dan kebaruan (*novelty*) dari penelitian yang hendak dilakukan berdasarkan konsep, variable penelitian dan output penelitian. Dari hasil rekap dapat dilihat beberapa parameter variable-variabel yang telah diteliti sehingga menjadi dasar konsep penelitian selanjutnya. Hal ini dapat dilihat dari table di bawah ini:

Tabel 3. Matrix rekap penelitian-penelitian sebelumnya mengenai konsep manajemen sisa material konstruksi

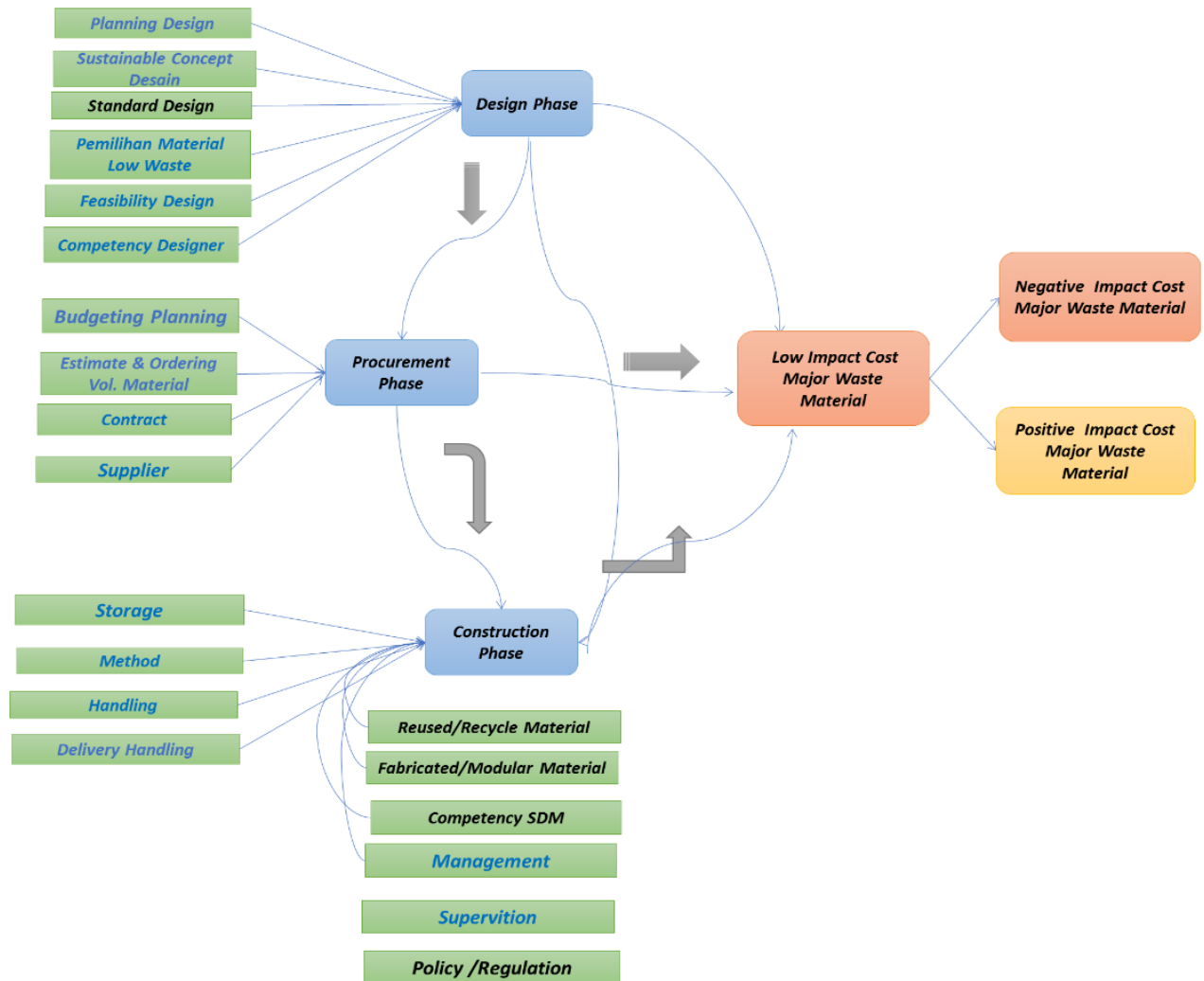
No	Author	Country	Variabel Management Waste Construction			
			Design	Procurement	Construction	Goal Target
1	Thoengsal James (Rencana Konsep Model)	Indonesia	Perencanaan Desain Konsep Desain Berkelanjutan Standar Desain dan Peraturan Pemilihan Material <i>Low Waste</i> Pra Desain/Kelayakan Desain Kompetensi Perencana	Perencanaan Anggaran Estimasi dan Pemesanan Volume Material Pemilihan Supplier / Vendor Perencanaan Kontrak	Material Reuse Prefabrikasi Kompetensi SDM Penyimpanan / <i>Storage Handling</i> Komitmen Manajemen Pengawasan / <i>Monitoring</i> Aturan /Kebijakan Metode Kerja Penanganan Lapangan - <i>On Site Handling</i> Penanganan Pengiriman / <i>Delivery Handling</i>	<i>Efficiency Cost Budgeting During Construction</i>
2	SAHEED O. AJAYI	Inggris, 2016	Proses Desain Desain Konsep Modern	Efisiensi Volume Pekerjaan Pembelian Material	Material Reuse Prefabrikasi	<i>Low Waste Construction</i>

			Standar Desain dan Peraturan	Komitmen Supplier	Kompetensi SDM	
					Aturan /Kebijakan	
					Budaya Pekerja	
					Komitmen Kontraktor	
					Kontrak	
3	Mohd Reza Esa A	Australia, 2017	Desain Konsep Modern	Training	Manajemen Lapangan	
			Desain Modular	Revisi Standar Kontrak	Fasilitas Daur Ulang	<i>Reduce, Reused & Recycle toward Environment Impact</i>
			Seleksi Material	Peraturan	Monitoring Perilaku Pekerja	
4	Mochamad Agung Wibowo	Indonesia, 2017			Kebijakan	
					Asset	
					Teknologi	<i>Analisis Korelasi Variabel</i>
					Kompetensi SDM	
					Pengetahuan	
5	Swarna Swetha Kolaventi	India, 2018			Tenaga Kerja (SDM)	
					Material dan Peralatan	
					Kebijakan Pemerintah	<i>Analisis Korelasi Variabel</i>
					Manajemen Lapangan	
					Dokumen	

Ket: Warna Biru: Variabel yang belum diteliti

Variabel Konsep Model Penelitian

Konsep model penelitian terdiri dari variabel–variabel ukur yang terdiri dari 20 variabel Kkategori dan 105 sub kategori variable ukur. Dimana variable utama terdiri dari Fase Desain terdiri dari : Proses Desain, Konsep Modern Desain, Standar Desain, Pemilihan Material, Kelayakan Desain, Kompetensi Konsultan, Fase Pengadaan terdiri dari: Anggaran, Pembelian Matrial dan Kontrak dan Fase Kosntruksi terdiri dari: Material reused/recycle, Material Fabrikasi, Kompetensi Pekerja, Manajemen, Pengawasan, Kebijakan, Penyimpanan, Metode, Penanganan lapangan dan Penanganan Pengiriman. Sementara variable dampak biaya terdiri dari inefisiensi biaya akibat timbulnya sisa material yang dominan dihasilkan selama proses konstruksi bangunan gedung (*Major waste*).



Gambar 1. Konsep model manajemen sisa material konstruksi terhadap dampak biaya material pada proyek konstruksi

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa konsep model manajemen dalam penelitian ini terdiri dari variabel-variabel ukur yang terdiri dari 20 variabel ukur. Dimana variabel utama terdiri dari Fase Desain terdiri dari : Proses Desain, Konsep Modern Desain, Standar Desain, Pemilihan Material, Kelayakan Desain, Kompetensi Konsultan, Fase Pengadaan terdiri dari: Anggaran, Pembelian Matrial dan Kontrak dan Fase Kosntruksi terdiri dari: Material *reused*, Material Fabrikasi, Kompetensi Pekerja, Manajemen, Pengawasan, Kebijakan, Penyimpanan, Metode, Penanganan lapangan dan Penanganan Pengiriman. Sementara variable dampak biaya terdiri dari inefisiensi biaya akibat timbulnya sisa material yang dominan dihasilkan selama proses konstruksi bangunan gedung (*Major waste*). Perkembangan proses pembangunan konstruksi bangunan gedung tidak dapat dielakkan untuk masa yang akan datang sehingga diperlukan suatu konsep model manajemen pengendalian dampak inefisiensi biaya akibat sisa material yang ideal untuk diterapkan oleh pihak-pihak penyelenggara konstruksi. Output dari proposal ini diharapkan menghasilkan suatu pengembangan konsep model manajemen yang dapat memberikan potensial dalam mereduksi inefisiensi biaya akibat sisa material konstruksi bangunan gedung yang ideal sehingga kiranya dapat diterapkan oleh pihak penyelenggara konstruksi dalam hal ini ditujukan kepada pihak pelaksana/kontraktor maupun konsultan perencana dalam upaya menekan dampak inefisiensi biaya material selama proses konstruksi bangunan gedung di Indonesia ke depannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen Z, Li H and Wong TC (2000) Environmental management of urban construction projects in China. *Journal of Construction Engineering and Management* 126: 320–324.
- Construction Waste Management Plan Guidelines. walga.asn.au.
- Elizar1,*, Suripin2 , and Mochamad Agung Wibowo, 2017, *Model of Construction Waste Management Using AMOS-SEM for Indonesian Infrastructure Projects*. MATEC Web of Conferences EACEF 2017.
- Formoso, C. T., Asatto, E. I. and Hirota. 1999. *Method For Waste Control In The Building Industry*. *Proceedings IGLC-7*, pp. 325-334.
- Formoso, C. T., Soibelman, L. M. ASCE. and Cesare, C. D. 2002. *Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention*. *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 316-340.
- Green Bulding Council Indonesia (GBCI), 2011. *GreenShip Rating Tools For Existing Building*. www.gbcindonesia.org
- Intan, I., Alifen, R. S. dan Arijanto, L. 2005. *Analisa dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi: Sumber Penyebab, Kuantitas, dan Biaya*. *Civil Engineering Dimension*, Vol. 7, No.1, pp. 36-45.
- Irmawati, (2015). Pengendalian Waste Material Pada Gedung Bertingkat, Tesis Pasca Sarjana UNHAS, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Ismael, I. dan Junaidi. 2014. *Identifikasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keterlambatan Pelaksanaan Pekerjaan Pada Proyek Pembangunan Gedung di Kota Bukit tinggi*. *Jurnal Momentum*, Vol. 16, No.1, pp. 25-35.
- Ismail Abdul Rahmana, Sasitharan Nagapan, & Ade Asmic. 2013. *Initial PLS Model of Construction Waste Factors*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 129 (2014) 469 – 474.
- Khor Jie Cheng, Md Azree Othuman Mydin, 2014. *Best Practice of Construction Waste Management and Minimization*. ANUL XXI, NR. 1, 2014, ISSN 1453 – 7397

ANALISIS TINGKAT PENGARUH KOMPONEN *INPUT* PRODUKTIVITAS KONSTRUKSI PADA PEKERJAAN KONSTRUKSI JALAN DI INDONESIA

Novisca M. Anditiaman¹, Rusdi Usman Latief², Irwan Ridwan Rahim³ dan Rosmariyani Arifuddin⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: novisca_anditiaman@yahoo.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: rusdiul@gmail.com

³ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: irwanrr@yahoo.com

⁴ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: rosmariyani_ar@yahoo.com

ABSTRAK

Supply Chain atau rantai pasok dari ketersediaan material dan peralatan kerja akan sangat berpengaruh pada kelancaran proyek konstruksi. Sehingga solusi yang dapat ditempuh dengan memotivasi lahirnya dan melakukan pembinaan sumber daya manusia (SDM), *Supply Chain* material dan peralatan konstruksi unggulan dengan mewujudkan tenaga ahli dan tenaga terampil bersertifikat, material dan peralatan kerja yang berdaya saing akan mendorong teknologi dalam pemilihan metode kerja yang efektif dan efisien untuk memenuhi pangsa pasar yang semakin besar. Untuk mencapai sasaran output infrastruktur tersebut maka sektor Bina Marga yang digunakan sebagai sumber penelitian terhadap penyelenggaraan konstruksi di Kementerian PUPR. Berangkat dari itu pada penelitian ini studi kasus yang diangkat adalah pada proyek pekerjaan Bina Marga yaitu proyek jalan dan dihubungkan dengan Regulasi /Standart Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang telah diatur dalam Peraturan Menteri No.28 Tahun 2017 diperoleh bahwa input Komponen Pembiayaan Proyek Konstruksi Fisik terdiri dari: Komponen Personil/ Tenaga Kerja Konstruksi, Komponen Material Utama Konstruksi dan Komponen Peralatan Utama Konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat pengaruh komponen input produktivitas dilihat dari analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) berupa komponen personil/tenaga, komponen material dan komponen peralatan pada pekerjaan konstruksi jalan di sektor Bina Marga Kementerian PUPR. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah mendapatkan suatu tingkat pengaruh hubungan komponen input produktivitas konstruksi berupa tenaga kerja, material dan peralatan pada konstruksi pekerjaan jalan di Indonesia.

Kata Kunci : Tingkat pengaruh , komponen input produktivitas , pekerjaan jalan.

PENDAHULUAN

Produktivitas merupakan salah satu faktor mendasar yang mempengaruhi kinerja kemampuan bersaing pada industri konstruksi. Peningkatan produktivitas akan mengurangi waktu pekerjaan, dan itu berarti akan mereduksi biaya, khususnya biaya pekerjaan sehingga diperoleh suatu biaya tenaga kerja minimum untuk mendapatkan harga yang kompetitif baik untuk pelelangan maupun pelaksanaan. Oleh karena itu, pengendalian dan peningkatan produktivitas pekerjaan konstruksi pada setiap proyek konstruksi menjadi sangat perlu untuk menghasilkan suatu produk konstruksi yang mencapai sasaran mutu, proses, dan hasil yang diharapkan, baik dari segi kualitas, waktu pelaksanaan, maupun pembiayaan (Ratnayanti, 2003).

Permasalahan dalam produktivitas tenaga kerja salah satunya ada kendala pemenuhan tenaga kerja konstruksi yang kompeten, handal dan berdaya saing tinggi. Salah satu isu strategis yang dihadapi

sektor konstruksi saat ini adalah permasalahan *Supply Chain* komponen konstruksi yang meliputi ketenagakerjaan, harga dan pasokan material serta peralatan kerja. Hal ini pastinya sangat mempengaruhi produktivitas konstruksi.

Berdasarkan Data Olahan BPS Tahun 2017, data pertumbuhan tenaga kerja saat ini diperoleh data bahwa pertumbuhan tenaga kerja saat ini masih sekitar 2% pertahun. Badan Pembinaan Konstruksi dalam penyelenggaraan pembangunan infrastruktur PU dan pemukiman tahun anggaran 2013 menyatakan untuk mendukung penyelenggaraan pembangunan Infrastruktur dengan perkiraan dana APBN mencapai Rp 62 triliun, diperlukan ketersediaan material dan peralatan konstruksi, terutama semen, baja, aspal, dan alat-alat berat. (laporan kemenpu, 2012). Sementara Kapasitas produksi semen (60,6 juta ton) secara nasional masih memadai dengan tingkat utilitas 80% . Meski permasalahan terkait dengan semen seperti alokasi per provinsi yang tidak sesuai *real demand*, kapasitas bongkar di pelabuhan tujuan tidak memadai untuk memenuhi *real demand* (contoh di Kalimantan Timur), serta keterbatasan sarana dan prasarana transportasi darat (contoh di Papua). (laporan kemenpu, 2012). Kapasitas produksi baja standar (18,9 juta ton) secara nasional dengan tingkat utilitas 70%. Permasalahan yang dihadapi adalah baja *high strength* belum diproduksi di dalam negeri adanya produk baja yang tidak sesuai dengan standar. Sedangkan untuk aspal, dengan total pasokan aspal (930 ribu ton) secara nasional tidak memadai untuk memenuhi kebutuhan dengan tingkat utilitas 142%. Kapasitas produksi aspal Buton dapat menggantikan aspal minyak (semi – ekstraksi dan full – ekstraksi) masih harus terus ditingkatkan, serta PT. Pertamina harus memenuhi kesenjangan *supply – demand* aspal yang masih ada. (laporan kemenpu, 2012). Mengenai kebutuhan alat-alat berat, Jumlah alat berat yang ada saat ini secara nasional (150.000 unit) tidak memadai untuk memenuhi kebutuhan alat berat dengan tingkat utilitas 140% . Sementara itu, hampir 50% (74.800 unit) dari alat berat yang ada tercatat di Provinsi DKI Jakarta, meskipun digunakan di berbagai provinsi lain. (laporan kemenpu, 2012).

Komitmen pemerintah dalam pembangunan infrastruktur tergambar pula dari adanya pencanangan dan penetapan akselerasi 225 Proyek Strategis Nasional. Hal itu tertuang melalui Peraturan Presiden No. 3 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Proyek Strategis Nasional yang telah mendorong peningkatan sektor konstruksi seperti pada **Gambar.1**. Proyek strategis yang antara lain dicanangkan meliputi: 52 jalan tol, 19 jalur kereta api, 17 bandar udara, 13 pelabuhan, 3 perumahan, 3 proyek pertanian dan perikanan, 1 sarana kelistrikan, dan 7 infrastruktur energi.



Gambar.1. Percepatan Pelaksanaan 225 Proyek Strategis Nasional (Sumber: Data Olahan Perpres No. 3 Tahun 2016)

Untuk mencapai sasaran output infrastruktur tersebut maka sektor Bina Marga yang digunakan sebagai sumber penelitian terhadap penyelenggaraan konstruksi di Kementerian PUPR. Berangkat dari itu pada penelitian ini studi kasus yang diangkat adalah pada proyek pekerjaan Bina Marga yaitu proyek jalan dan dihubungkan dengan Regulasi /Standart Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang telah diatur dalam Peraturan Menteri No.28 Tahun 2017 diperoleh bahwa Komponen Pembiayaan Proyek Konstruksi Fisik terdiri dari:

- a. Komponen Personil/ Tenaga Kerja Konstruksi
- b. Komponen Material Utama Konstruksi

c. Komponen Peralatan Utama Konstruksi

Penelitian ini bertujuan untuk: menganalisis tingkat pengaruh komponen input produktivitas konstruksi pada pekerjaan jalan di Indonesia.

RUMUSAN MASALAH DAN TUJUAN PENELITIAN

Rumusan Masalah:

- a. Bagaimana komponen sumber daya apa saja yang mempengaruhi input produktivitas pada pekerjaan konstruksi jalan.
- b. Bagaimana tingkat pengaruh komponen input produktivitas meliputi: tenaga kerja, material kerja dan peralatan kerja pada pekerjaan konstruksi jalan.
- c. Bagaimana standar perhitungan produktivitas meliputi komponen sumber daya tenaga kerja, material kerja dan peralatan kerja pada pekerjaan konstruksi jalan.

Tujuan Penelitian:

- a. Mengidentifikasi komponen sumber daya apa saja yang mempengaruhi input produktivitas pada pekerjaan konstruksi jalan.
- b. Menganalisa tingkat pengaruh komponen input produktivitas meliputi: tenaga kerja, material kerja dan peralatan kerja pada pekerjaan konstruksi jalan.
- c. Mengembangkan standar perhitungan produktivitas meliputi komponen sumber daya tenaga kerja, material kerja dan peralatan kerja pada pekerjaan konstruksi jalan.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Produktivitas

Produktivitas erat kaitannya dengan produksi, produksi merupakan salah satu komponen dari usaha produktivitas, selain kualitas dan hasil keluarannya. Produksi adalah suatu kegiatan yang berhubungan dengan hasil keluaran dan umumnya dinyatakan dengan volume produksi, sedangkan produktivitas berhubungan dengan efisiensi penggunaan sumber daya (masukan dalam menghasilkan tingkat perbandingan antara keluaran dan masukan).

Peningkatan produktivitas dan efisiensi merupakan sumber pertumbuhan utama untuk mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan. Sebaliknya, pertumbuhan yang tinggi dan berkelanjutan juga merupakan unsur penting dalam menjaga kesinambungan peningkatan produktivitas jangka panjang. Dengan jumlah tenaga kerja dan modal yang sama, pertumbuhan output akan meningkat lebih cepat apabila kualitas dari kedua sumber daya tersebut meningkat. Walaupun secara teoritis faktor produksi dapat dirinci, pengukuran kontribusinya terhadap output dari suatu proses produksi sering dihadapkan pada berbagai kesulitan. Disamping itu, kedudukan manusia, baik sebagai tenaga kerja kasar maupun sebagai manajer, dari suatu aktivitas produksi tentunya juga tidak sama dengan mesin atau alat produksi lainnya. Seperti diketahui bahwa output dari setiap aktivitas ekonomi tergantung pada manusia yang melaksanakan aktivitas tersebut, maka sumber daya manusia merupakan sumber daya utama dalam pelaksanaan aktivitas perusahaan.

Sejalan dengan fenomena ini, konsep produktivitas yang dimaksud adalah produktivitas tenaga kerja. Tentu saja, produktivitas tenaga kerja ini dipengaruhi, dikondisikan atau bahkan ditentukan oleh ketersediaan faktor produksi komplementernya seperti alat dan mesin. Namun demikian konsep produktivitas adalah mengacu pada konsep produktivitas sumber daya manusia. Secara umum konsep produktivitas adalah suatu perbandingan antara keluaran (*output*) dan masukan (*input*) persatuan waktu. Produktivitas dapat dikatakan meningkat apabila (J.Ravianto, 1985:19):

1. Produktivitas (P) naik apabila *Input* (I) turun, *Output* (O) tetap
2. Produktivitas (P) naik apabila *Input* (I) turun, *Output* (O) naik
3. Produktivitas (P) naik apabila *Input* (I) tetap, *Output* (O) naik
4. Produktivitas (P) naik apabila *Input* (I) naik, *Output* (O) naik tetapi jumlah kenaikan *Output* lebih besar daripada kenaikan *Input*.

5. Produktivitas (P) naik apabila *Input* (I) turun, *Output* (O) turun tetapi jumlah penurunan *Input* lebih kecil daripada turunnya *Output*.

Konsep tersebut tentunya dapat dipakai didalam menghitung produktivitas disemua sektor kegiatan. Menurut Putti (1989:345) peningkatan produktivitas dapat dicapai dengan menekan sekecil-kecilnya segala macam biaya termasuk dalam memanfaatkan sumber daya manusia (*do the right thing*) dan meningkatkan keluaran sebesar-besarnya (*do the thing right*). Dengan kata lain bahwa produktivitas merupakan pencerminan dari tingkat efisiensi dan efektifitas kerja secara total.

Pengertian Produktivitas

Menurut Blocher, Chen, Lin (2000:847) Produktivitas adalah hubungan antara berapa output yang dihasilkan dan berapa *input* yang dibutuhkan untuk memproduksi *output* tersebut. Menurut Husien Umar (1999:9) produktivitas mengandung arti sebagai perbandingan antara hasil yang dicapai (output) dengan keseluruhan sumber daya yang digunakan (input). Rumus produktivitas diperlihatkan pada persamaan 1.

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Efektivitas menghasilkan output}}{\text{Efisiensi menggunakan input}} \dots\dots\dots(1)$$

Produktifitas adalah ukuran keluaran dari proses produksi dari setiap unit yang dihasilkan. Produktifitas diukur dengan perbandingan output dan input. Produktifitas dapat juga didefinisikan sebagai ukuran efisiensi produksi yang dijalankan Pengertian lain adalah perbandingan (rasio) antara output per inputnya. Produktifitas memiliki pengertian, Pilcher (1992) menyatakan bahwa produktifitas adalah rasio/perbandingan antara kegiatan (output) terhadap masukan (input). *Concise Oxford Dictionary* (9th edision) mendefenisikan produktifitas sebagai kemampuan untuk memproduksi, keadaan produktif, keefektifan, Paulus Setyo Nugroho Peningkatan Produktivitas Konstruksi Melalui Pemilihan Metode Konstruksi :25-30 dalam mengusahakan produktifitas khususnya di area industri. Hal-hal terpenting dari defnisi produktifitas adalah konsep-konsep [Olomolaiye, 1998] adalah :

1. *Capacity to produce* (kemampuan untuk memproduksi) Kekuatan atau kemampuan di balik produksi itu sendiri.
2. *Effectiveness of productive effort* (keefektifan dalam mengusahakan produksi) Sebagai ukuran baik atau buruknya penggunaan sumber daya.
3. *Production per unit of effort* (produksi per unit dari tiap usaha)

Dalam buku akuntansi biaya dan akuntansi manajemen untuk teknologi maju dan globalisasi, supriyono (1994:414) mengemukakan produktivitas adalah: Produktivitas berkaitan dengan memproduksi secara efisien dan khususnya ditujukan pada hubungan antara keluaran dan masukan yang digunakan untuk memproduksi keluaran tersebut. Sedangkan menurut Basu Swasta dan Ibnu sukotjo (1998:281) Produktivitas adalah suatu konsep yang menggambarkan hubungan antar hasil (jumlah barang dan jasa yang diproduksi) dengan sumber (tenaga kerja, bahan baku, modal, energy, dan lain-lain) yang dipakai untuk menghasilkn barang tersebut. Menurut Sinungan (1985:8) produktivitas dapat diartikan sebagai perbandingan antara totalitas pengeluaran pada waktu tertentu dibagi totalitas masukan selama periode terbut. Dua aspek penting dalam produktivitas yaitu efisiensi dan efektivitas. Efisiensi berkaitan dengan seberapa baik berbagai masukan itu dikombinasikan atau bagaimana pekerjaan itu dilaksanakan. Ini merupakan suatu kemampuan untuk menghasilkan lebih banyak dari jumlah masukan yang paling minimum. Ini berarti bagaimana mencapai suatu tingkat volume tertentu dengan kualitas yang tinggi, dalam jangka waktu yang lebih pendek, dengan pengeluaran yang seminimal mungkin. Sedangkan efektivitas berkaitan dengan suatu kenyataan apakah hasil-hasil yang diharapkan ini atau tingkat keluaran itu dapat dicapai atau tidak (Putti, 1998:77).

Berdasarkan definisi diatas dapat disimpulkan bahwa perusahaan atau organisasi harus memperhatikan bagaimana mereka mengkonversikan sumber daya (masukan) menjadi keluaran.

Keluaran dapat berupa produk yang dimanufaktur, barang yang terjual atau jasa yang diberikan. Keluaran merupakan alat penting karena tanpa keluaran atau kumpul hasil-hasil berarti bukan produktivitas. Hal ini menunjukkan keefektifan di dalam mencapai suatu hasil, sehingga produk dapat diberi batasan sebagai seberapa efisiensinya masukan dikonversikan ke dalam keluaran karena faktor masukan menyatakan pemakaian sumber daya seminimal mungkin.

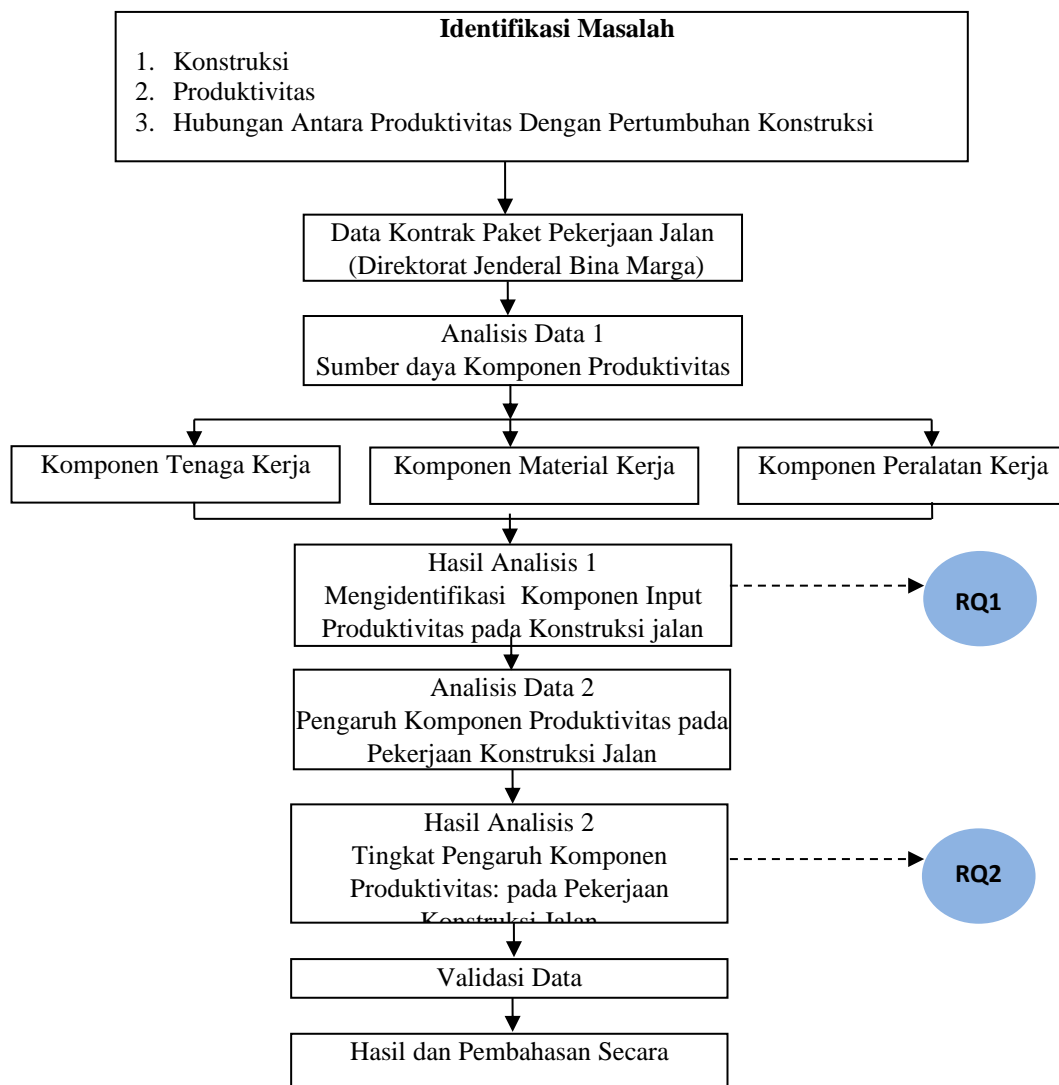
METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Sektor Bina Marga Kementerian PUPR Lokasi. Waktu Pelaksanaan Penelitian adalah Enam Bulan terhitung sejak Bulan September 2019 – Januari 2020.

Rancangan Penelitian

Tujuan rancangan penelitian adalah untuk menganalisis tingkat pengaruh komponen input produktivitas konstruksi meliputi: tenaga kerja, material kerja dan peralatan kerja pada pekerjaan konstruksi jalan di Indonesia, mengumpulkan data secara kuantitatif mengenai nilai proyek konstruksi terhadap komponen produktivitas dilihat dari analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) berupa komponen personil/tenaga, komponen material dan komponen peralatan di sektor Bina Marga Kementerian PUPR. Rancangan penelitian ini merujuk kepada data – data yang diperoleh dari hasil analisa kualitatif dan kuantitatif. Tahapan – tahapan penelitian secara visual disajikan pada **Gambar .2**.



Gambar.2. Diagram Alur Penelitian

Secara keseluruhan, tahapan analisis pengolahan data akan dilakukan meliupti:

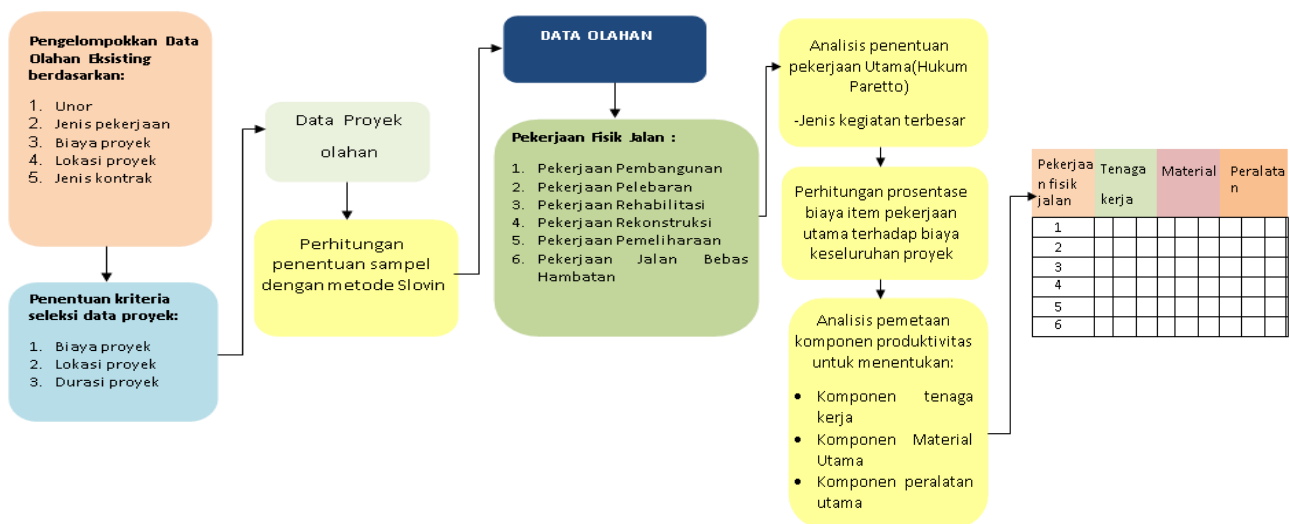
1. Pengumpulan Data Olahan
2. Analisis Data Olahan
 - a. Pertama (I) : Penentuan Kriteria Data dan jumlah sample data olahan
 - b. Analisis Data Olahan Kedua (II) : Penentuan Komponen Produktivitas
 - c. Analisis Data Olahan Ketiga (III) : Penentuan Formulasi dan Indeks Produktivitas Konstruksi

Secara detail teknik analisis pengolahan data di tuangkan sebagai berikut:

Analisis (I) merupakan analisis Penentuan/Seleksi Data yang akan diolah dengan Pengelompokan data olahan eksisting berdasarkan :

- a. Unor
- b. Jenis Pekerjaan
- c. Lokasi Proyek
- d. Jenis Kontrak

Lalu penentuan kriteria seleksi data proyek berdasarkan: biaya proyek, lokasi proyek, dan durasi proyek, sehingga dapat diolah dengan perhitungan penentuan sampel menggunakan analisis statistik (microsoft excel) terlihat pada **gambar.3.** pemetaan data komponen produktivitas.



Gambar.3. Pemetaan Data

Pengambilan data sampel sebesar 40 (empat puluh) dari setiap kualifikasi jenis pekerjaan konstruksi jalan pada **tabel.1.** Setiap sampel konstruksi jalan berdasarkan kualifikasi biaya kecil (0-25 miliar), biaya menengah (25-50 miliar), dan biaya besar (lebih dari 50 miliar). Selanjutnya berdasarkan kualifikasi wilayah, dimana 40 sampel dari wilayah barat Indonesia, 40 sampel wilayah tengah Indonesia, dan 40 sampel wilayah timur Indonesia. Begitupun dengan baris pelebaran, rehabilitasi, rekonstruksi, pemeliharaan, dan rekonstruksi akan diambil 40 sampel berdasarkan kualifikasi biaya kecil, menengah, besar, dan berdasarkan kualifikasi wilayah barat, tengah, timur Indonesia.

Tabel.1. Rencana Sampel Data Olahan

Unor	Kualifikasi Jenis Proyek	Sampling
Bina Marga	Pembangunan	40
	Pelebaran	40
	Rehabilitasi	40
	Rekonstruksi	40
	Pemeliharaan	40
	Bebas Hambatan	40

Analisis (II) penentuan komponen produktivitas diambil dari sampel data olahan pemetaan komponen produktivitas konstruksi dilanjutkan dengan analisis penentuan tingkat pengaruh hubungan komponen input produktivitas tenaga kerja, material dan peralatan. Dengan alat uji Skala likert, uji instrumen dan analisis regresi dengan menggunakan aplikasi smart PLS.

a. Skala Likert

Untuk menghitung tingkat pengaruh X dan Y dari hasil Koesioner menggunakan skala likert dengan menggunakan skal penilaian 5 = sangat berpengaruh , 4 = berpengaruh, 3 = cukup berpengaruh, 2 = kurang berpengaruh dan 1 = tidak berpengaruh. (Dr.Ridwan,M.B.A (2004). Dari data-data komponen input produktivitas konstruksi).

b. Uji Instrument

Setelah hasil dari data skala likert diuji lagi dengan menggunakan data uji sebagai berikut:

1. Uji Validitas adalah suatu ukuran yang menunjukkan tingkat keandalan suatu alat ukur (Arikunto, 1955:63-69).
2. Menurut Arikunto (2002), reabilitas adalah suatu instrument yang dapat dipercaya untuk digunakan sebagai alat pengumpul data karena instrument tersebut sudah baik.
3. Uji normalitas bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi variable terikat dan bebas keduanya terdistribusi normal atau tidak. Model regresi yang baik adalah memiliki distribusi data normal atau mendekati normal

c. Analisis Regresi dan Smart PLS

Dari Data Uji dilanjutkan menggunakan Analisis regresi. Analisis regresi adalah hubungan secara linear antara dua atau lebih variabel bebas (X_1, X_2, \dots, X_n) dengan variabel terikat (Y), untuk mengetahui arah hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat, apakah variabel bebas berhubungan positif atau negatif dan memprediksi nilai dari variabel terikat dan variabel bebas mengalami kenaikan atau penurunan pada **tabel.2**. Analisis ini menggunakan software SmartPLS 2.0.

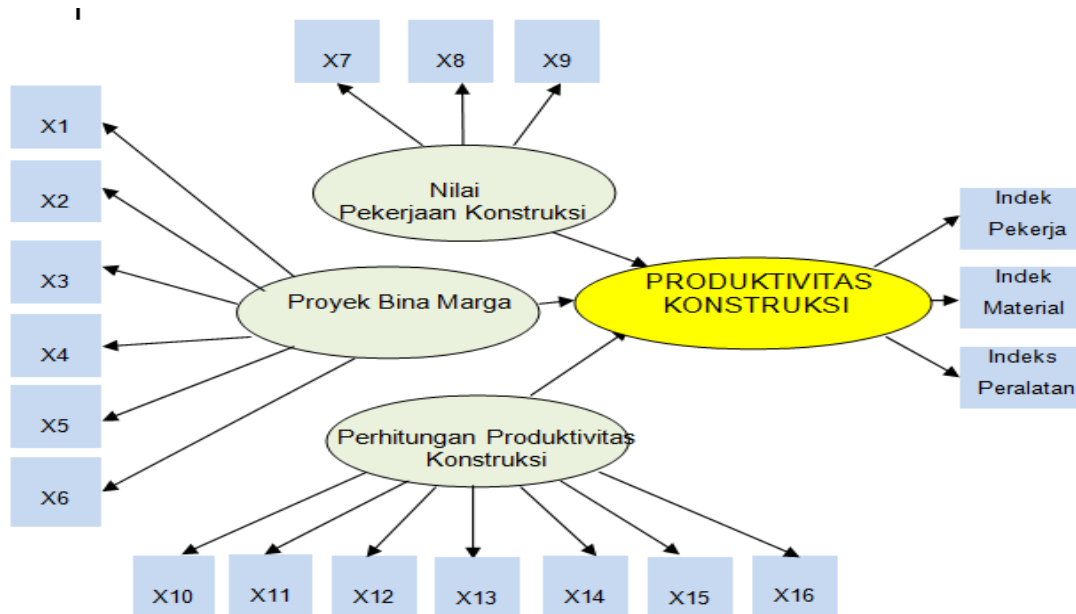
Analisis I: Dilakukan dengan kualitatif terhadap variabel-variabel yang didapat dari hasil validasi. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui jenis dan paket pekerjaan komponen produktivitas konstruksi pekerjaan fisik jalan.

Analisis II: Dilakukan secara kualitatif terhadap hasil pengumpulan data terkait identifikasi produktivitas konstruksi pada komponen tenaga kerja, komponen material kerja dan komponen peralatan kerja pekerjaan.

Tabel.2. Variabel Komponen

Jenis	Konstruk	Indikator Konstruk	
Eksogen (Variabel Bebas)	Kegiatan fisik pekerjaan Bina Marga	Pekerjaan Pembangunan	X1
		Pekerjaan Pelebaran	X2
		Pekerjaan Rehabilitasi	X3
		Pekerjaan Rekonstruksi	X4
		Pekerjaan Pemeliharaan	X5
		Pekerjaan Jalan Bebas Hambatan	X6
	Nilai Pekerjaan Konstruksi	Besar	X7
		Menengah	X8
		Kecil	X9
	Perhitungan Produktivitas konstruksi	Rekap Harga	X10
		Rencana Anggaran Biaya	X11
		Analisis Harga Satuan Pekerjaan	X12
		Daftar Kuantitas Tenaga Kerja	X13
		Daftar Kuantitas Material	X14
		Daftar Kuantitas Peralatan	X15
		Jadwal Pelaksanaan Proyek	X16
Endogen (Variabel Terikat)		Komponen tenaga kerja konstruksi inti	Tenaga kerja ahli
	Tenaga kerja terampil		Y2
	Tenaga kerja pendukung		Y3
	Komponen material konstruksi utama	Semen Portland	Y4
		Besi beton	Y5
		Baja	Y6
		Aspal	Y7
		Batu kali	Y8
		Batu pecah	Y9
		Pasir	Y10
	Komponen peralatan kerja konstruksi utama	Bulldozer	Y11
		Excavator	Y12
		Concrete mixer/ truck mixer	Y13
		Dump truck	Y14
		Portland cemen concrete batching plant	Y15
		Vibro roller	Y16
		Asphalt finisher	Y17
		Asphalt Sprayer	Y18
		Asphalt mixing plant	Y19
		Grader	Y20

Dari data variabel komponen akan dianalisis secara struktural dan pembobotan seperti contoh dibawah ini **gambar.4.**:



Gambar.4. Model Struktural dan Pembobotan Komponen Produktivitas Konstruksi

HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

- Mengidentifikasi Komponen Input Produktivitas Pada Konstruksi Jalan
- Tingkat Pengaruh Komponen Produktivitas Pada Pekerjaan Konstruksi jalan
- Rumusan Standar Perhitungan Pada Produktivitas Konstruksi Jalan

DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, S. and Meindl, P., 2007, *Supply Chain Management: Strategy, Planning and. Operation*, 2nd or 3rd Edition, New Jersey: Pearson Prentice Hall. Collins. Diakses April 2019 digilib.itb.ac.id/files/disk1/687/jbptitbpp-gdl-dewiyustia-34304-3-2007ts-2.pdf.
- Ervianto, Wulfram 2005. *Manajemen Proyek Konstruksi*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Fence, dkk.. *Pengaruh Pola Kebijakan Produktivitas Konstruksi Indonesia terhadap Daya Saing Infrastruktur (2017)*. Semarang: Jurnal Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Diakses April 2019 di: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- Hidayat, Arif. 2014. Analisis Koefisien Produktivitas Tenaga Kerja pada Pekerjaan Pembesian. Pontianak: Jurnal Teknik Sipil Universitas Tanjungpura.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2015, *Buku Informasi Statistik Infrastruktur Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2015*. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2015, *Rencana Strategis Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2015–2019*. Jakarta.
- Prawiro, Sandi. 2015. *Optimalisasi Produktivitas Tenaga Kerja dalam Proyek Konstruksi*. Manado: Jurnal Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi.
- Wahyudi, dkk. 2017. Analisis Produktivitas dan Mutu Hasil Tenaga Kerja Konstruksi (Studi Kasus: Rumah sakit Budhi Mulia Pekanbaru). Pekanbaru: Jurnal Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning.

METODE KAJIAN STRUKTUR DAN PERILAKU RANTAI PASOK KOMODITAS STRATEGIS UNTUK PROYEK INFRASTRUKTUR JALAN PADA KONTRAKTOR KECIL DI BANDUNG RAYA

Serenita Martha¹, Fauziah Shanti Cahyani Siti Maisarah², Muhamad Abduh³

¹Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung. Email: serenita_sitorus@yahoo.com

²Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung. Email: fauziah.scs.maisarah@gmail.com

³Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung. Email: abduh@si.itb.ac.id

ABSTRAK

Proses pengadaan material konstruksi untuk kebutuhan pelaksanaan operasi konstruksi di lapangan cukup kompleks. Kontraktor perlu mengetahui gambaran dari rantai pasok material yang akan digunakan mulai dari hulu hingga hilir. Dengan mengetahui gambaran rantai pasok material konstruksi, yaitu berupa struktur rantai pasok dan perilaku organisasi di dalam rantai pasok tersebut, maka kontraktor dapat menyusun strategi pengadaan material. Namun demikian, kemampuan kontraktor dalam mengelola pengadaan material konstruksi sangat beragam, hal ini dapat dipengaruhi oleh kapasitas yang dimiliki oleh masing-masing kontraktor, khususnya kontraktor kualifikasi kecil. Kemampuan finansial dan kemampuan teknis dalam merencanakan kebutuhan di lapangan secara akurat pada kontraktor kualifikasi kecil sangat terbatas. Makalah ini akan membahas mengenai struktur rantai pasok dan perilaku organisasi dalam rantai pasok material konstruksi yang digunakan oleh kontraktor kecil pada proyek infrastruktur jalan di Wilayah Bandung Raya. Material konstruksi yang akan dikaji adalah pasir, agregat, semen, beton *readymix*, *hotmix asphalt*, besi tulangan dan kayu bekisting. Gambaran struktur rantai pasok didapatkan dengan pendekatan survei organisasi yang terlibat dari hilir ke hulu yaitu mulai dari kontraktor kualifikasi kecil selaku *end customer* sampai produsen atau penambang. Untuk mendapatkan gambaran perilaku rantai pasok dilakukan dengan cara mengkaji perilaku organisasi yang terlibat dalam aspek strategi penentuan harga, produk, promosi dan lain-lain.

Kata kunci: struktur pasar, perilaku organisasi, rantai pasok material konstruksi, kontraktor kualifikasi kecil.

PENDAHULUAN

Latar belakang

Menurut Dubois dan Gadde (2002) kompleksitas dalam konstruksi dibagi menjadi dua yaitu adanya hubungan yang saling ketergantungan dan ketidakpastian. Hubungan yang saling ketergantungan dan ketidakpastian ini yang menjadikan rantai pasok konstruksi bersifat kompleks. Maylor (2003) menyatakan bahwa kompleksitas suatu proyek dapat dilihat dari tiga dimensi, yaitu kompleksitas sumber daya yang dibutuhkan, kompleksitas keteknikan, serta kompleksitas organisasi yang terlibat. Ketiga hal tersebut mencerminkan kompleksitas dari rantai pasok pada proyek konstruksi. Kontraktor sebagai *end customer* atau bagian hilir dari rantai pasok material konstruksi memiliki kemampuan mengelola rantai pasok yang sangat beragam. Beragamnya kemampuan yang dimiliki oleh kontraktor dipengaruhi oleh kapasitas yang dimiliki oleh masing-masing kontraktor, khususnya kontraktor kualifikasi kecil. Asnudin (2005) menyatakan bahwa kontraktor kualifikasi kecil memiliki keterbatasan kemampuan finansial dan kemampuan teknis sehingga sulit baginya untuk bersaing secara luas. Terbatasnya kemampuan teknis sumber daya yang dimiliki oleh kontraktor

kecil membuatnya tidak bisa menjaga keberlangsungan bisnis yang dimilikinya (Perdian dkk, 2017).

Menurut Huda (2015), kondisi kontraktor kecil di Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Struktur organisasi pada kontraktor kecil pada umumnya cukup sederhana;
2. Jumlah sumber daya manusia dan kemampuan kompetensi yang dimiliki sangat minim karena karyawan pada umumnya berasal dari latar belakang pendidikan beragam (non teknik);
3. Kemampuan manajerial terbatas;
4. Modal yang dimiliki oleh kontraktor kecil sangat minim dan terbatas.

Dengan adanya keterbatasan tersebut, kontraktor kualifikasi kecil perlu melakukan strategi untuk membuatnya dapat bersaing secara luas dan menjaga keberlangsungan bisnis yang dimilikinya. Untuk itu, penting bagi kontraktor kualifikasi kecil untuk mempertimbangkan pengembangan kemampuan yang dimilikinya. Salah satu cara yang dapat dilakukan oleh kontraktor kecil adalah penerapan strategi pengadaan. Proses pengadaan material bersifat kompleks karena melibatkan banyak organisasi yang terlibat (pemasok, produsen atau penambang dan lain-lain) dan membutuhkan banyak jenis material. Salah satu usaha proses pengadaan material adalah perencanaan proses pembelian yang dilakukan dengan penggambaran akan hal-hal yang akan dihadapi dimasa mendatang dan kemungkinan peluang serta tantangan yang akan mempengaruhi perencanaan pembelian (Shidqi, 2018). Perencanaan kebutuhan material sebagai bagian dalam proses pengadaan dalam suatu proyek dimaksudkan agar dalam pelaksanaan pekerjaan dan penggunaan material menjadi efisien dan efektif sehingga tidak terjadi masalah yang dapat mempengaruhi waktu penyelesaian proyek. Proses pengadaan merupakan salah satu komponen utama dari manajemen rantai pasok dan dapat memberikan kontribusi bagi peningkatan keuntungan pada perusahaan (Widiastuti, 2012). Proses yang terjadi dalam usaha penerapan strategi pengadaan dapat membantu kontraktor kualifikasi kecil bersaing secara luas dan menjaga keberlangsungan bisnis yang dimilikinya.

Kontraktor kualifikasi kecil perlu mengetahui gambaran dari rantai pasok material yang akan digunakan mulai dari hulu hingga hilir. Gambaran rantai pasok material dapat diuraikan dengan gambaran struktur rantai pasok dan gambaran perilaku organisasi dalam rantai pasok yang jelas. Dengan mengetahui gambaran rantai pasok material konstruksi, yaitu berupa struktur rantai pasok dan perilaku organisasi dalam rantai pasok tersebut, maka kontraktor dapat menyusun strategi pengadaan material. Penyusunan strategi pengadaan material yang dapat dilakukan oleh kontraktor kualifikasi kecil perlu memperhatikan karakteristik rantai pasok material. Karakteristik rantai pasok material dapat ditinjau dari bagaimana struktur rantai pasok yaitu elemen jumlah pembeli dan penjual, pemilihan produk, keadaan pengetahuan penjual dan pembeli serta rintangan yang ada didalam pasar. Indikator utama dari struktur rantai pasok meliputi jumlah dan kapasitas pembeli, jumlah dan kapasitas penjual, kerja sama yang terjalin didalam rantai pasok. Struktur rantai pasok akan mempengaruhi perilaku organisasi di dalam rantai pasok akibat kondisi yang terjadi di dalam rantai pasok.

Penggambaran mengenai struktur rantai pasok dan perilaku organisasi dalam rantai pasok merupakan salah satu upaya dalam pengelolaan rantai pasok material konstruksi. Rantai pasok konstruksi terbentuk dari banyak pelaku atau organisasi yang saling memiliki ketergantungan dalam pengadaan material untuk pelaksanaan konstruksi yaitu melibatkan berbagai pihak seperti kontraktor, subkontraktor, pemasok, produsen atau penambang dan lain-lain. Pihak-pihak yang terlibat dalam proses konstruksi secara tidak langsung membentuk suatu rantai pasok yang kompleks, sehingga perlunya adanya usaha pengelolaan rantai pasok yang baik.

Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan, maka masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana gambaran struktur pasar dari material konstruksi dan perilaku organisasi sebagai pihak-pihak yang terlibat pada jaringan rantai pasok untuk material konstruksi

yang digunakan oleh kontraktor kecil pada proyek pemeliharaan infrastruktur jalan di Wilayah Bandung Raya.

Tujuan dan manfaat penelitian

Tujuan penelitian yang akan dicapai adalah untuk memperoleh gambaran struktur rantai pasok material konstruksi pada proyek pemeliharaan infrastruktur jalan yang dilakukan oleh kontraktor kualifikasi kecil di Wilayah Bandung Raya. Dengan mengetahui gambaran struktur rantai pasok dari material konstruksi tersebut, maka akan dapat tergambar gambaran perilaku organisasi yang membentuk struktur rantai pasok sehingga dapat digunakan oleh kontraktor kualifikasi kecil dalam menentukan strategi bisnis terkait proses pengadaan material konstruksi.

Ruang lingkup dan batasan penelitian

Ruang lingkup penelitian ini akan mencakup dan dibatasi pada pembahasan sebagai berikut:

penelitian adapun ruang lingkup serta batasan penelitian adalah :

1. Penelitian ini dibatasi hanya pada proyek infrastruktur jalan di Bandung Raya;
2. Jenis kontraktor yang dikaji hanya dengan kontraktor kualifikasi kecil;
3. Pekerjaan infrastruktur jalan meliputi pekerjaan pemeliharaan jalan dan peningkatan jalan;
4. Pengambilan data dan informasi dilakukan dengan wawancara dan diskusi. Narasumber dari penelitian ini adalah kontraktor kualifikasi kecil wilayah Bandung Raya dan pemasoknya;
5. Komoditas strategis yang dikaji dalam penelitian ini ini mengacu kepada penelitian sebelumnya yaitu Metode identifikasi komoditas strategis untuk kontraktor kualifikasi kecil di Bandung raya oleh Ryobi Irfanto dkk (2019) dengan batasan komoditas strategis yang digunakan untuk infrastruktur jalan yaitu pasir, agregat, semen, *hotmix asphalt*, besi tulangan, beton *readymix*, dan kayu bekisting;
6. Kajian yang akan dibuat bersifat kualitatif dan disusun berdasarkan seluruh aspek yang ditinjau sebagai variabel-variabel yang perlu dilaksanakan untuk memperoleh gambaran struktur rantai pasok komoditas strategis infrastruktur jalan pada kontraktor kualifikasi kecil.

TINJAUAN PUSTAKA

Rantai pasok material konstruksi

Lambert dan Cooper (1998), menyatakan rantai pasok merupakan integrasi bisnis antara pihak yang saling terlibat untuk menyediakan produk, layanan dan informasi yang menambah nilai bagi pelanggan dan pemangku kepentingan lainnya. Rantai pasok merupakan jaringan dari berbagai organisasi yang terlibat, melalui dari hulu sampai hilir, dalam berbagai proses yang memiliki tujuan yang sama untuk menghasilkan nilai dalam bentuk barang dan jasa.

Pengelolaan rantai pasok mencakup aliran material konstruksi melibatkan berbagai pihak yaitu kontraktor, subkontraktor, pemasok, produsen dan lain-lain. Hal inilah yang mengakibatkan rantai pasok material konstruksi dapat menjadi sangat kompleks terutama dalam proyek-proyek besar. Salah satu permasalahan yang kompleks adalah banyaknya variasi (jenis-jenis) material yang dibutuhkan di proyek dan pihak-pihak yang terlibat (pemasok, produsen atau penambang dan lain-lain). Rantai pasok material konstruksi dapat menjadi lebih kompleks akibat semakin banyaknya pihak-pihak yang terlibat maka akan melibatkan banyak tingkatan (*tier*) misalkan pemasok tingkat pertama, pemasok tingkat kedua dan tingkat (*tier*) lain. Al-Wherikat (2017) menyatakan adanya hubungan antara kompleksitas rantai pasok dengan hubungan ruang lingkup proyek seperti banyaknya pihak yang terlibat dan banyaknya jenis material yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek, sehingga dibutuhkannya perencanaan yang matang dan adanya kolaborasi yang terjalin antar organisasi yang terlibat dalam rantai pasok.

Struktur rantai pasok material konstruksi

Harland (1996) menyatakan struktur rantai pasok merupakan pengelolaan suatu jaringan bisnis yang saling berhubungan dalam penyediaan akhir produk dan layanan yang diperlukan oleh konsumen akhir. Di dalam rantai pasok material konstruksi, kontraktor berperan sebagai konsumen akhir (*customer end*). Struktur rantai pasok material konstruksi adalah suatu susunan kegiatan atau jaringan kerjasama antar berbagai pihak yang terlibat di dalam kegiatan pengadaan material pada proyek konstruksi yang saling terkait satu sama lain untuk berkerja sama menyalurkan material dan menghasilkan suatu produk pada proyek konstruksi.

Proses pengadaan material konstruksi untuk kebutuhan pelaksanaan operasi konstruksi di lapangan cukup kompleks. Strategi pengadaan berhubungan dengan proses perencanaan strategis yang lebih luas, salah satunya adalah mencakup karakteristik di dalam rantai pasok. Karakteristik di dalam rantai pasok dapat ditinjau dari bagaimana elemen struktur rantai pasok seperti jumlah pembeli dan penjual, pemilihan produk, pengetahuan penjual dan pembeli serta rintangan yang ada di dalam rantai pasok. Indikator utama dari struktur rantai pasok meliputi jumlah dan kapasitas pembeli, jumlah dan kapasitas penjual, serta hubungan kerjasama yang terjalin. Struktur rantai pasok akan mempengaruhi perilaku organisasi yang terlibat dalam rantai pasok akibat kondisi yang dialami di dalam rantai pasok.

Gambaran struktur rantai pasok didapatkan dengan pendekatan survei organisasi yang terlibat dari hilir ke hulu yaitu mulai dari kontraktor selaku *end customer* sampai produsen atau penambang. Penggambaran struktur rantai pasok material konstruksi akan membantu kontraktor dalam menerapkan strategi pengadaan.

Menurut Maulani dkk, 2014 tahap perancangan struktur rantai pasok terdiri dari :

1. Mengidentifikasi anggota rantai pasok
Anggota yang terlibat di dalam rantai pasok konstruksi terdiri dari kontraktor utama, subkontraktor, pemasok, produsen dan lain-lain yang berkontribusi didalam pengadaan barang dan jasa;
2. Struktur dimensi jaringan
 - a. Struktur horizontal yaitu jumlah tingkatan (*tier*) yang melewati rantai pasok
 - b. Struktur vertikal yaitu jumlah pemasok atau pelanggan yang digambarkan pada masing-masing deretan
 - c. Perusahaan yang berada di hulu dan hilir rantai pasok

Perilaku rantai pasok material konstruksi

Untuk mengetahui perilaku rantai pasok material konstruksi, perlu adanya penggambaran keseluruhan struktur rantai pasok dengan mengidentifikasi anggota dan pola hubungan antar pihak-pihak yang terlibat didalam rantai pasok konstruksi. Dengan penggambaran anggota rantai pasok dan pola hubungan antar pihak yang membentuk pasar rantai pasok konstruksi dapat memberikan indikasi bagaimana interaksi yang terjadi didalam rantai pasok. Perilaku organisasi di dalam rantai pasok konstruksi digambarkan dari bagaimana strategi perusahaan mengontrol harga, langkah strategis yang dilakukan untuk mendapatkan pelanggan dan lain-lain.

Penggambaran perilaku organisasi di dalam rantai pasok konstruksi akan membantu perusahaan untuk melakukan langkah-langkah strategis sebagai akibat dari kondisi rantai pasok yang membentuk struktur rantai pasok itu sendiri. Dengan memperhatikan perilaku organisasi di dalam rantai pasok akan membantu organisasi yang terlibat di dalam rantai pasok material konstruksi (kontraktor, pemasok, produsen atau penambang dan lain-lain) untuk mengetahui kebutuhan atau tuntutan di dalam rantai pasok kemudian dapat mengembangkan kebutuhan dan penyediaan produk atau jasa yang sudah ada (London, 2004). Untuk mendapatkan gambaran perilaku rantai pasok dilakukan dengan cara mengkaji perilaku organisasi yang terlibat dalam aspek strategi penentuan harga, produk, promosi dan lain-lain untuk membuatnya bertahan di dalam rantai pasok konstruksi.

Dari gabungan beberapa hasil literatur, diketahui bahwa perilaku rantai pasok konstruksi terdiri dari:

1. Mekanisme perusahaan di dalam melakukan pembelian material
Melakukan survei harga material, pemilihan dengan penawaran, pengadaan langsung, berdasarkan hubungan kekerabatan, rekomendasi pemilik proyek.
2. Kriteria pemilihan pemasok
Aspek harga, aspek kualitas dan kuantitas, aspek pelayanan dan aspek lokasi.
3. Permasalahan yang sering terjadi di dalam pasar.
Spesifikasi tidak sesuai, banyaknya persyaratan, pembayaran terlambat, harga kurang bersaing.
4. Bentuk perjanjian kerja antara pihak-pihak yang terlibat
Perjanjian formal, perjanjian non formal, verbal dengan sistem kepercayaan.
5. Hubungan bentuk kerjasama
Perjanjian formal, perjanjian non formal, verbal dengan sistem kepercayaan.
6. Prosedur permintaan material
Pembayaran dengan uang muka, lunas diawal pembelian, pembayaran bertahap.
7. Prosedur pembayaran material
Pembayaran dengan uang muka, lunas diawal pembelian, pembayaran bertahap.
8. Prosedur pengiriman material
9. Analisis pasar dan struktur produk pasar
Identifikasi jenis material yang paling banyak diminati, calon pembeli, peluang dan potensi pasar, permintaan pasar, sifat-sifat material
10. Mekanisme penentuan harga jual
11. Komponen dalam menetapkan harga
Spesifikasi produk, kuantitas produk, jarak pengiriman produk.
12. Promosi produk
Spesifikasi tidak sesuai, banyaknya persyaratan, pembayaran terlambat, harga kurang bersaing.
13. Prioritas perusahaan dalam melayani pelanggan

Perilaku perusahaan di dalam rantai pasok konstruksi dipengaruhi oleh struktur rantai pasok akibat kondisi yang dialaminya. Struktur rantai pasok dan perilaku organisasi yang terlibat dalam rantai pasok akan mempengaruhi dan menentukan bagaimana kinerja perusahaan di dalam pasar konstruksi. Penilaian terhadap kinerja perusahaan akan membantu perusahaan mengetahui bagaimana perusahaan bekerja di dalam rantai pasok dan mengevaluasi bagaimana menciptakan struktur pasar yang baik dan kemudian akan mempengaruhi pula perilaku perusahaan di dalam rantai pasok konstruksi.

Manajemen rantai pasok material konstruksi

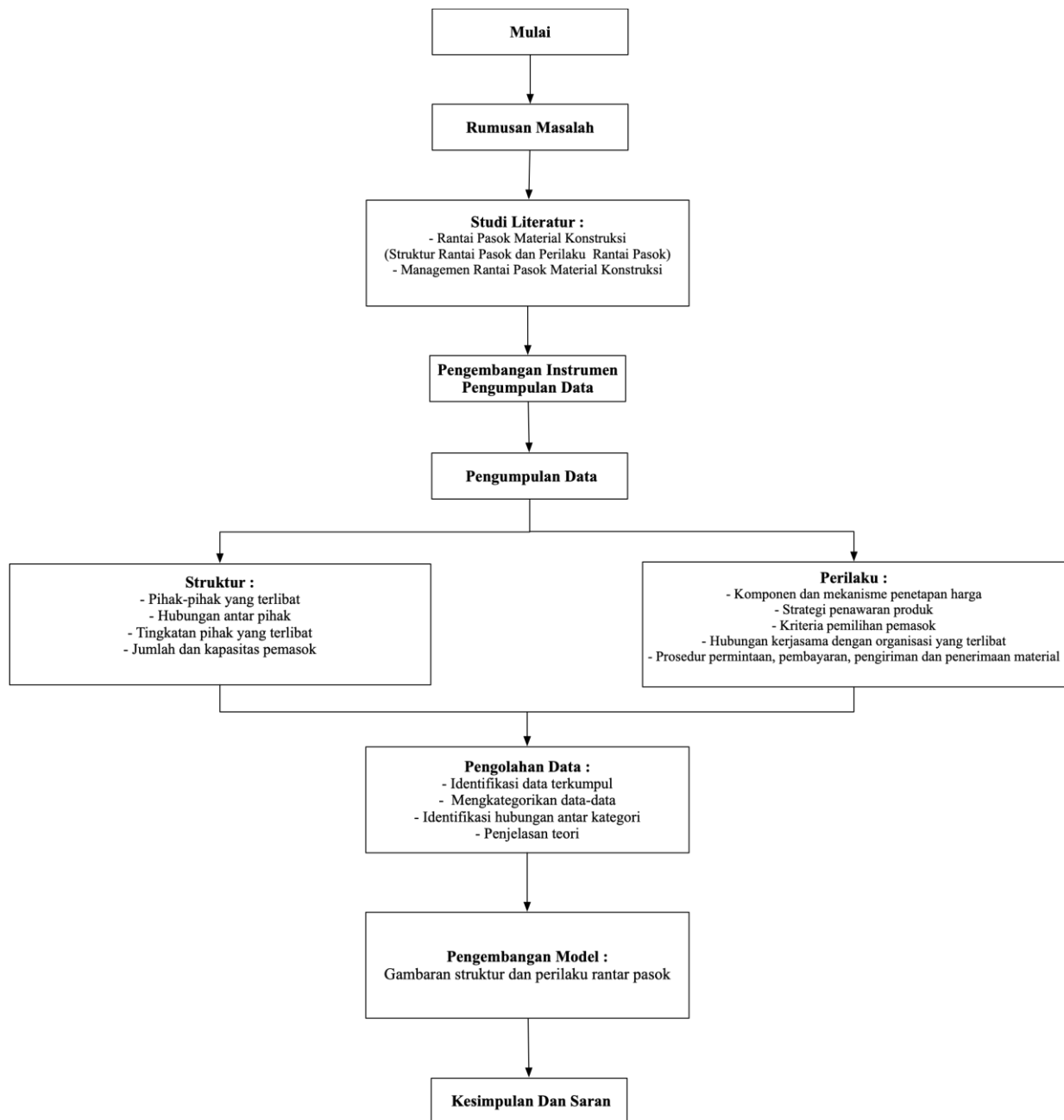
Tujuan manajemen rantai pasok komoditas strategis (material konstruksi) adalah memperoleh material dari pemasok dengan jumlah, harga serta kualitas mutu sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan dan mengidentifikasi pemasok yang mampu menyediakan material terbaik. Dalam pengelolaan manajemen material, hal yang harus dipertimbangkan oleh kontraktor adalah aspek harga, aspek kualitas dan kuantitas, aspek pelayanan dan aspek lokasi yang dapat diberikan oleh pemasok. Dengan mengidentifikasi aspek-aspek tersebut dapat mempermudah kontraktor dalam melakukan pemilihan pemasok yang sesuai dengan kriteria dan kebutuhan kontraktor. Jenis material konstruksi yang digunakan pada proyek pemeliharaan infrastruktur jalan sangat bervariasi, namun Irfanto dkk (2018) telah mengklasifikasikan material-material tersebut dalam kategori komoditas strategis dengan menggunakan pendekatan Kraljic Portfolio Matrix, yaitu pasir, agregat, semen, beton *readymix*, *hotmix asphalt*, besi tulangan dan kayu bekisting. Hasil penelitian tersebut dapat digunakan sebagai dasar pada penelitian ini yaitu sebagai material yang akan ditinjau struktur rantai pasok dan perilaku organisasi di dalam rantai pasok.

METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kualitatif yang bersifat deskriptif karena penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan suatu keadaan, fakta, variabel yang terjadi pada rantai pasok komoditas strategis pada proyek infrastruktur jalan di Bandung Raya. Pengambilan data akan dilakukan dengan melakukan survei, wawancara dan diskusi dengan responden. Pihak-pihak yang menjadi responden di dalam penelitian ini adalah kontraktor kualifikasi kecil yang terlibat didalam proyek infrastruktur jalan di Bandung Raya dan pemasok yang menyediakan komoditas untuk kontraktor kualifikasi kecil tersebut, pemasok hingga produsen atau penambang.

Rancangan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:



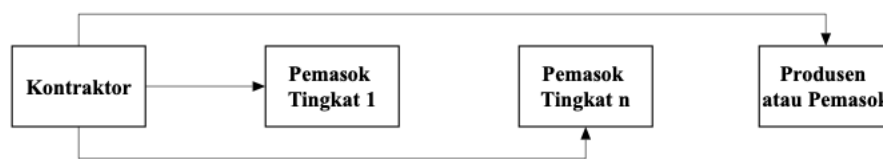
Gambar 1. Tahapan pengerjaan penelitian

Metode pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara survei, wawancara dan diskusi. Target responden pengumpulan data adalah kontraktor kualifikasi kecil yang sedang melaksanakan proyek infrastruktur jalan di Bandung Raya dan pemasok komoditas kontraktor kualifikasi sampai kepada produsen atau penambang. .

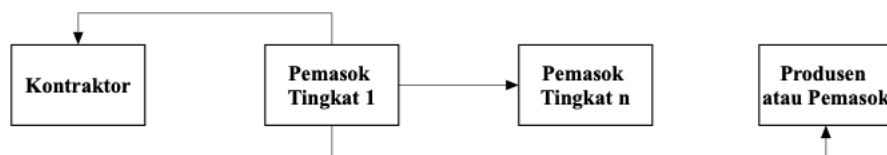
Pada penelitian ini, penelitian akan dilakukan pada proyek infrastruktur jalan di Bandung Raya. Pelaksanaan pengambilan data pola rantai pasok dilakukan sebagai berikut:

1. Dari kontraktor kepada pemasok komoditas (pasir, agregat, semen, beton *readymix*, *hotmix asphalt*, besi tulangan dan kayu bekisting) tingkat pertama, pemasok tingkat kedua dan seterusnya. Tujuannya pola pengambilan data ini untuk mengetahui sejauh mana pemahaman yang dimiliki kontraktor mengenai hubungan rantai pasok yang dimilikinya.



Gambar 2. Model teknik pengumpulan data primer oleh kontraktor

2. Dari pemasok tingkat pertama kepada kontraktor dan pemasok tingkat pertama kepada pemasok tingkat kedua, pemasok tingkat ketiga dan seterusnya. Tujuannya pola pengambilan data ini untuk mengetahui sejauh mana pemahaman hubungan keterlibatan pemasok tingkat pertama dengan rantai pasok yang dimilikinya.



Gambar 3. Model teknik pengumpulan data primer oleh pemasok tingkat pertama

Identifikasi data

Penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data primer dan data sekunder. Data primer pada penelitian didapat dengan melakukan survei dan wawancara terhadap pihak-pihak yang terlibat didalam rantai pasok enam komoditas strategis yaitu pasir, agregat, semen, beton *readymix*, *hotmix asphalt*, besi tulangan dan kayu bekisting. Untuk mendapatkan informasi yang lebih mendalam, dilakukan diskusi dengan responden untuk mengetahui persepsi atau tanggapan yang tidak dapat dikuantifikasikan.

Data primer yang akan dikumpulkan antara lain:

1. Struktur rantai pasok
 - a. Pihak-pihak yang terlibat didalam rantai pasok komoditas strategis
 - b. Pola hubungan antar pihak-pihak yang terlibat
 - c. Tipe dan spesifikasi masing-masing komoditas strategis
 - d. Kapasitas pemasok (kapasitas produksi, kapasitas gudang atau kapasitas penjualan)
2. Perilaku organisasi dalam pasar pada rantai pasok
 - a. Komponen dan mekanisme penetapan harga oleh perusahaan
 - b. Strategi perusahaan dalam menawarkan produk ke dalam rantai pasok

- c. Analisis pasar dan struktur produk pasar
- d. Kriteria pemilihan pemasok
- e. Hubungan kerjasama yang dilakukan dengan perusahaan lain
- f. Prosedur permintaan, pembayaran, pengiriman dan penerimaan material
- g. Permasalahan didalam yang sering terjadi didalam pasar

Metode pengolahan data

Data yang dikumpulkan, mula-mula dilakukan identifikasi terlebih dahulu untuk mengetahui proses eksisting rantai pasok komoditas strategis pada proyek infrastruktur jalan. Kemudian mengkategorikan data-data, dimulai dengan menyederhanakan data dari hasil survei, wawancara dan diskusi yang dilakukan. Data dapat dikelompokkan berdasarkan masalah, proses dan lain-lain sehingga data dapat dilakukan penyederhanaan seperti berupa model atau gambaran agar dapat lebih mudah dipahami. Data dikategorikan agar data yang tidak dibutuhkan dapat dihilangkan. Kemudian dilakukan identifikasi hubungan antar kategori didalam rantai pasok untuk mengetahui peran, tugas, tanggung jawab, kontribusi pihak-pihak yang terlibat serta mengetahui bagaimana pihak yang terlibat dalam berperilaku. Data akan dianalisis dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Data yang diperoleh akan digunakan untuk memodelkan hasil. Dari hasil permodelan akan tergambaran struktur rantai pasok perilaku organisasi dalam komoditas strategis. Struktur rantai pasok akan mempengaruhi perilaku rantai pasok yang berdampak terhadap perilaku perusahaan atau pihak-pihak yang terlibat didalam rantai pasok. Sehingga setelah penggambaran struktur rantai pasok, dilakukan analisis perilaku rantai pasok.

KESIMPULAN

Kajian mengenai struktur rantai pasok dan perilaku organisasi dalam rantai pasok komoditas strategis dilakukan dengan pendekatan rantai pasok dari hilir ke hulu. Pendekatan rantai pasok dari hilir ke hulu di lakukan dengan melakukan survei kepada kontraktor kualifikasi kecil, pemasok kontraktor kualifikasi kecil, distributor sampai kepada produsen atau penambang.

Untuk memperoleh gambaran struktur rantai pasok suatu komoditas, maka instrumen survei yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi pihak yang terlibat didalam rantai pasok komoditas strategis;
2. Identifikasi pola hubungan antar pihak-pihak yang terlibat didalam rantai pasok;
3. Identifikasi tipe dan spesifikasi masing-masing komoditas strategis;
4. Identifikasi kapasitas pemasok (kapasitas gudang dan kapasitas penjualan).

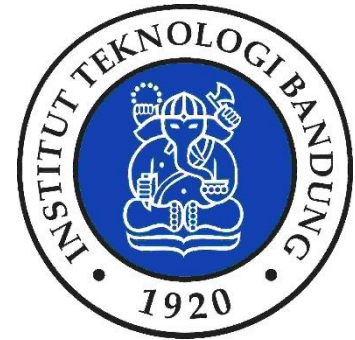
Untuk memperoleh gambaran perilaku organisasi yang terlibat di dalam rantai pasok suatu komoditas, maka instrumen survei yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

1. Komponen dan mekanisme penetapan harga oleh perusahaan;
2. Analisis pasar dan struktur produk pasar pada rantai pasok;
3. Strategi perusahaan menawarkan produk ke dalam rantai pasok;
4. Kriteria pemilihan pemasok;
5. Hubungan kerjasama yang dilakukan dengan perusahaan lain;
6. Prosedur permintaan, pembayaran, pengiriman dan penerimaan material;
7. Permasalahan yang sering terjadi didalam pasar.

Gambaran struktur pasar pada rantai pasok akan membantu kontraktor kualifikasi kecil dalam memahami anggota rantai pasoknya dan gambaran perilaku organisasi di dalam rantai pasok dalam memahami kebutuhan dan tuntutan didalam rantai pasok. Dengan penggambaran struktur rantai pasok dan perilaku organisasi yang terlibat didalam rantai pasok secara jelas, akan membantu pula kontraktor kualifikasi kecil melaksanakan strategi pengadaan material konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asnudin, A. (2005). "Konsep Pengembangan Kontraktor Skala kecil", Jurnal SMARTek, Vol 3, No.4.
- Al-Werikat, Ghaith (2017). "Supply Chain In Construction; Revealed", International Journal Of Scientific & Technology Research, Vol 6 , Issue 03. ISSN 2277-8616.
- Bertelsen, S. (2002). "Complexity-Construction in A New Perspective", Revised paper of a report originally prepared as a contribution for an IGLC championship.
- Dubois, Anna dan Gadde, L (2002). "Abductive reasoning in logistics research". <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1463143&show=html>
- Harland, C. M (1996). "Supply Chain Management: Relationships, Chains and Network", British Journal of Management, Vol 7, Special Issue, S63-S80.
- Hatmoko, Jati., Scott, Stephen (2010). "Simulating the impact of supply chain management practice on the performance of medium-sized building projects", Construction Management & Economics. 28. 35-49.
- Irfanto, R., Maisarah, F.S.C.S., Abduh, M. (2018). "Metode Identifikasi Komoditas Strategis Untuk Kontraktor Kecil Di Bandung Raya", Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2018. ISSN 2477-00-86.
- Lambert D.M., Pugh, M. and Cooper, J. (1999). "Supply Chain Management", The International Journal of Logistics Management, 9(2): 1-19.
- London, Kerry (2004). Construction Supply Chain Procurement Modelling. Dissertation Doctor of Philosophy, The University of Melbourne.
- Maddeppungeng, A., Suryani, I., Amarilis, O. K. (2018). "Pengaruh Rantai Pasok Terhadap Kinerja Kontraktor Di Provinsi Banten Dan DKI Jakarta", Jurnal Konstruksia, Vol 9, No.2.
- Maulani, F., Suraji, A., Istijono, B. (2014). "Analisis Struktur Rantai Pasok Konstruksi Pada Pekerjaan Jembatan", Jurnal Rekayasa Sipil, Vol 10, No. 2. ISSN:1858-2133.
- Maylor, H. (2003) : Project Management, Third edition. Prentice-Hall.
- Perdian, A., Suryo, E.A., Wijatmiko, I. (2017). "Model Partisipasi Kontraktor Skala Kecil Dalam Pelelangan. Media Teknik Sipil". ISSN 1693-3095. Volume 15, Nomor 1.
- Shidqi, M. (2018). "Penerapan Purchasing Planning Dalam Pengadaan Bahan Baku Di Perusahaan Industri", Jurnal Administrasi Bisnis (JAB) Vol. 57 No.1
- Soepiady, S., Wiguna, I.P.A., Wulandari, S.P. (2011). "Pengaruh Rantai Pasok Terhadap Kinerja Kontraktor Bangunan Gedung di Jember", Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasaran Wilayah.
- Widiastuti (2012). Analisis Dan Perancangan Sistem Pengadaan Pada PT. Indo Mitra Pratama IMP. Universitas Gunadarma



2

REKAYASA DAN MANAJEMEN INFRASTRUKTUR

Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) X 2019

Bandung, 5 November 2019

SISTEM PENGELOLAAN SAMPAH SECARA BERKELANJUTAN DI KOTA JAYAPURA

Sapari¹, Mary Selintung², Irwan Ridwan Rahim³ dan Asiyanti T. Lando⁴

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 08121248527101, email: saparismule@gmail.com

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 082346592525, email: mary.selintung@yahoo.com

³Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 08152522004, email: irwanrr@yahoo.com

⁴Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 081243633179, email: asiyanti_sipil@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kota Jayapura yang merupakan ibukota provinsi adalah salah satu kota yang berkembang sangat pesat di Provinsi Papua. Sebagaimana umumnya kota yang sedang berkembang, salah satu dampak perkembangan pembangunan yang paling menonjol dan memerlukan perhatian yang sangat besar adalah masalah persampahan. Hal ini memerlukan pola pengelolaan sampah yang tepat dengan tetap memperhatikan kaidah-kaidah non ekonomi seperti halnya aspek sosial, budaya ataupun pemeliharaan lingkungan hidup. Secara kelembagaan, pengelolaan sampah di Kota Jayapura merupakan tugas pokok dan fungsi dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis manajemen pengelolaan sampah yang terdiri dari aspek teknik operasional, aspek kelembagaan, aspek pembiayaan, aspek pengaturan serta aspek peran serta masyarakat. Dari hasil analisis selanjutnya akan dibuat model yang berkaitan dengan upaya pengelolaan sampah berkelanjutan di Kota Jayapura. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini diambil dengan cara pengamatan langsung di lapangan dan wawancara. Data sekunder diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Jayapura. Hasil yang diharapkan adalah pengelolaan sampah secara terpadu dan berkelanjutan, sehingga dampak negatif terhadap aspek ekologi, ekonomi dan sosial dapat diminimumkan.

Kata Kunci: pengelolaan terpadu, sampah perkotaan, Kota Jayapura.

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah menurut UU RI Nomor 18 Tahun 2008 adalah kegiatan yang sistematis, menyeluruh dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah. Kegiatan pengurangan meliputi pembatasan timbulan sampah, daur ulang sampah, dan/atau pemanfaatan kembali sampah. Kegiatan penanganan sampah meliputi pemilahan sampah sesuai dengan jenis, jumlah, dan/ atau sifat sampah, pengumpulan sampah, pengangkutan sampah, pengolahan dalam bentuk mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah; dan/atau pemrosesan akhir sampah dalam bentuk pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman.

Kota Jayapura yang merupakan ibukota provinsi adalah salah satu kota yang berkembang sangat pesat di Provinsi Papua. Sebagaimana umumnya kota yang sedang berkembang, salah satu dampak perkembangan pembangunan yang paling menonjol dan memerlukan perhatian yang sangat besar adalah masalah persampahan. Jumlah timbulan sampah yang dihasilkan oleh masyarakat di Kota Jayapura berbanding lurus dengan peningkatan laju pertumbuhan penduduk yang tinggi (diatas 5 % pertahun), di mana tahun 2018 telah mencapai lebih dari 418.518 jiwa. Dengan semakin meningkatnya masalah dalam pengelolaan sampah

maka pengelolaan sampah tidak dapat diselesaikan dengan hanya satu pilihan pengolahan sampah (Mahyudin,2014).

Menurut data DLHK Kota Jayapura, statistik pengelolaan sampah Kota Jayapura tahun 2018 untuk cakupan pelayanan adalah 70,62%, dengan potensi timbunan sampah yang dihasilkan sebanyak 302 ton/hari sedangkan di Kota Jayapura jumlah timbunan sampah yang dikelola hanya sebesar 211.4 ton/hari. Meskipun upaya pengelolaan sampah telah dilakukan, namun masih banyak permasalahan yang timbul. Menindaklanjuti hal tersebut di atas, perlu diciptakan suatu model pengelolaan sampah berkelanjutan di Kota Jayapura. Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis kondisi eksisting pengelolaan sampah di Kota Jayapura dari aspek teknis operasional, aspek ekonomi, aspek kelembagaan, aspek peraturan/ hukum, dan aspek peran serta masyarakat.
2. Menemukan rancangan strategi penanganan persampahan dalam kaitannya dengan perencanaan, penyiapan program, pelaksanaan serta operasi dan pemeliharaan dalam kaitannya dengan upaya pengelolaan sampah di Kota Jayapura.
3. Menemukan rancangan model pengelolaan sampah secara berkelanjutan di Kota Jayapura.

TINJAUAN PUSTAKA

Penggolongan Sampah

Sampah adalah istilah umum yang sering digunakan untuk menyatakan limbah padat. Menurut Soekidjo (2011) sampah ialah suatu bahan atau benda pada yang sudah tidak dipakai lagi oleh manusia atau benda-benda padat yang sudah tidak digunakan lagi dalam suatu kegiatan manusia dan dibuang. Menurut Suprihatin (1999) sampah adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari sumber hasil aktivitas manusia maupun proses alam yang belum memiliki nilai ekonomis (Suprihatin, 1999: hal. 28). Dewi (2008) mengemukakan sampah adalah material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses.

Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah berhubungan dengan pengumpulan, transportasi, proses dan pembuangan sampah (Kaluli, Mwangi, Sira, 2011). Proses pengelolaan sampah dapat mencakup 5(Lima) aspek/komponen yang saling mendukung di mana antara satu dengan yang lainnya saling berinteraksi untuk mencapai tujuan. Kelima aspek tersebut meliputi: aspek teknis operasional, aspek organisasi dan manajemen, aspek hukum dan peraturan, aspek pembiayaan, dan aspek peran serta masyarakat. Dalam hubungannya dengan pengelolaan sampah, Hartoyo, (1998:6), menyatakan bahwa perencanaan sistem persampahan memerlukan suatu pola standar spesifikasi sebagai landasan yang jelas.

Teknik operasional pengelolaan sampah bersifat integral dan terpadu secara berantai dengan urutan yang berkesinambungan yaitu: penampungan/pewadahan, pengumpulan, pemindahan, pengangkutan, pembuangan/pengolahan. Keterkaitan teknis, ketersediaan sarana dan prasarana diharapkan berpengaruh terhadap peningkatan partisipasi masyarakat. Hal ini sejalan dengan penelitian Tchobanoglous, (1997:363), untuk menyatukan, sarana dan partisipasi merupakan salah satu upaya dalam mengontrol pertumbuhan sampah.

Kelembagaan Pengelola Sampah

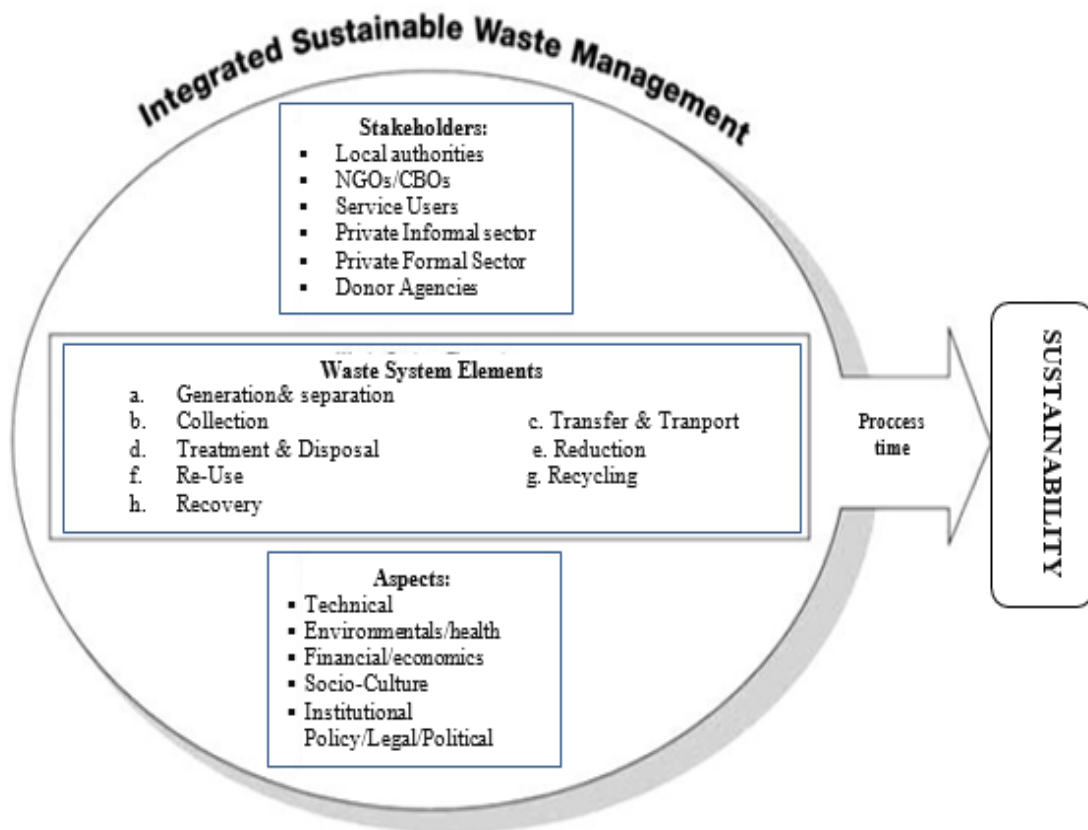
Organisasi dan manajemen mempunyai peran pokok dalam menggerakkan, mengaktifkan dan mengarahkan sistem pengelolaan sampah dengan ruang lingkup bentuk institusi, pola organisasi personalia serta manajemen. Institusi dalam sistem pengelolaan sampah memegang peranan yang sangat penting meliputi: struktur organisasi, fungsi, tanggung jawab dan wewenang serta koordinasi baik vertikal maupun horizontal dari badan pengelola (Widyatmoko dan Moerdjoko, 2002: hal. 29).

Pengelolaan Sampah yang Berkelanjutan

Istilah keberlanjutan banyak dipakai dalam berbagai bidang termasuk keberlanjutan dalam pengelolaan sampah. *Chung dan Lo* (2003: 123) menggunakan empat kriteria dalam menilai keberlanjutan pengelolaan sampah di Hongkong, yaitu kriteria daya dukung lingkungan (*enviromental desirability*), optimisasi ekonomi, penerimaan masyarakat, keadilan dan ketentuan administratif.

Pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan terintegrasi atau ISWM/ *Integrated Sustainable Waste Management* fokus pada pengelolaan sampah sebagai multi aktor, kesepakatan multi lapisan sistem sosial teknik (*Ijgosse, Anshütz and Scheinberg* 2004; *Spaargaren and van Vliet* 2000 dalam *Scheinberg* 2010: 9). ISWM meletakkan sektor formal dan bisnis informal pada keseluruhan sistem sosial teknis pada pengelolaan sampah.

Kerangka ISWM seperti pada gambar 1 di bawah mengenali tiga dimensi utama pada pengelolaan sampah yaitu stakeholder, elemen sistem sampah dan aspek keberlanjutan (*Scheinberg*, 2010: 9).

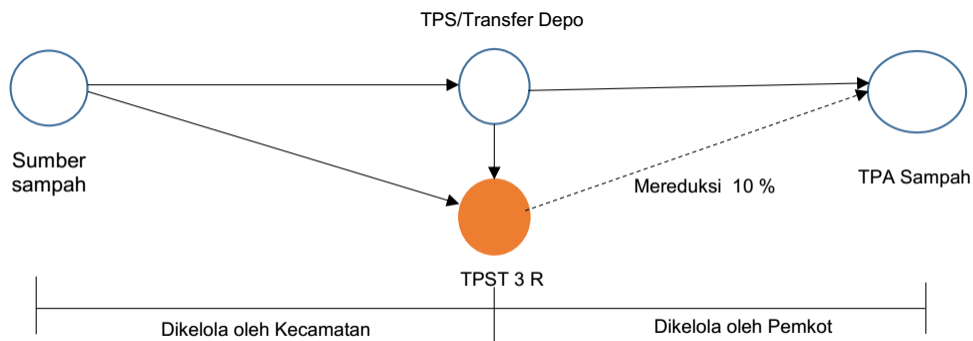


Gambar 1. Kerangka Pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan terintegrasi atau ISWM (*Integrated Sustainable Waste Management*) Sumber: Ijgosse, Anshutz dan Scheinberg, 2004 dalam Scheinberg (2010: 9).

Di Indonesia pengelolaan sampah di kawasan perkotaan mengacu kepada (SNI) 19-2454-2002 pengelolaan dilakukan oleh pemda atau instansi yang bertugas mengurus sampah mulai dari tahapan proses pewadahan sampah, pengumpulan sampah, pemindahan sampah, penyediaan alat transportasi atau pengangkutan sampah dan sampai dengan proses pembuangan akhir sampah ke TPA Sampah dimana terjadi pengelolaan akhir sampah dilakukan. Berikut beberapa contoh pola pengelolaan sampah di kawasan perkotaan di berbagai kota.

1. Kota Malang (*Sriliyani Surbakti, 2010*)

Pola pengelolaan sampah di Kota Malang tepatnya di Kecamatan Kedung Kandang, yang dilaksanakan oleh pemerintah kota bersama pemerintah kecamatan kurang lebih 70 persen sampah dapat tertangani dengan baik dan terangkut ke TPA dan sebagian lagi dikelola dengan konsep TPST 3 R yang dapat mereduksi sampah sebesar 10 % dari total sampah yang dikelola seperti gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Alur pengelolaan sampah di Kota Malang

2. Kota Metro Maminasata

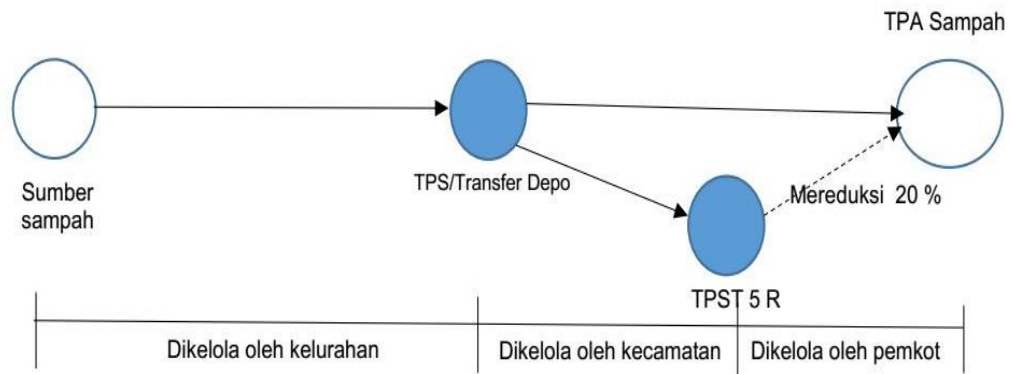
Kota Metro Makassar, Maros, Sungguminasa, Takalar (*Maminasata*) dalam pengelolaan sampah dengan konsep implementasi pengelolaan persampahan terpadu berbasis kelembagaan masyarakat di Kawasan Mamminasata diyakini dapat mengurangi populasi timbulan sampah kurang lebih 20 persen, dimana peran pemerintah kecamatan bersama kelurahan secara bersama-sama mengelola sampah dengan model 3 R yang disempurnakan menjadi 5 R seperti gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Alur pengelolaan sampah di Kota Metro Maminasata (Syarif Burhanuddin, 2010)

3. Kota Torino dan Cunea, Italia.

Menurut *Gian Andrea Blengini, dkk, 2012*, pengelolaan sampah di kawasan perkotaan adalah merupakan kemitraan antara segenap stakeholders untuk bersama-sama menangani masalah sampah perkotaan memadukan teknologi pengolahan sampah dengan membagi zona dengan konsep pendekatan partisipatif serta penerimaan dan transparansi dalam pengelolaan sampah. Adapun pola penanganannya seperti gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Alur pengelolaan sampah di Kota Torino dan Cunea, Italia oleh Gian Andrea Blengini, Moris Fantoni, Mirko Busto, Giuseppe Genon, Maria Chiara Zanneti (2012).

Aspek Pembiayaan

Aspek pembiayaan berfungsi untuk membiayai operasional pengelolaan sampah yang dimulai dari sumber sampah/penyapuan, pengumpulan, transfer dan pengangkutan, pengolahan dan pembuangan akhir. Menurut SNI tentang Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, biaya pengelolaan sampah dihitung berdasarkan biaya operasional dan pemeliharaan serta pergantian peralatan.

Aspek Peraturan/Hukum

Prinsip aspek peraturan pengelolaan persampahan berupa peraturanperaturan daerah yang merupakan dasar hukum pengelolaan persampahan yang meliputi (Hartoyo, 1998: hal. 8), Perda yang dikaitkan dengan ketentuan umum pengelolaan kebersihan, Perda mengenai bentuk institusi formal pengelolaan kebersihan., perda yang khusus menentukan struktur tarif dasar pengelolaan kebersihan.

Aspek Peran Serta Masyarakat

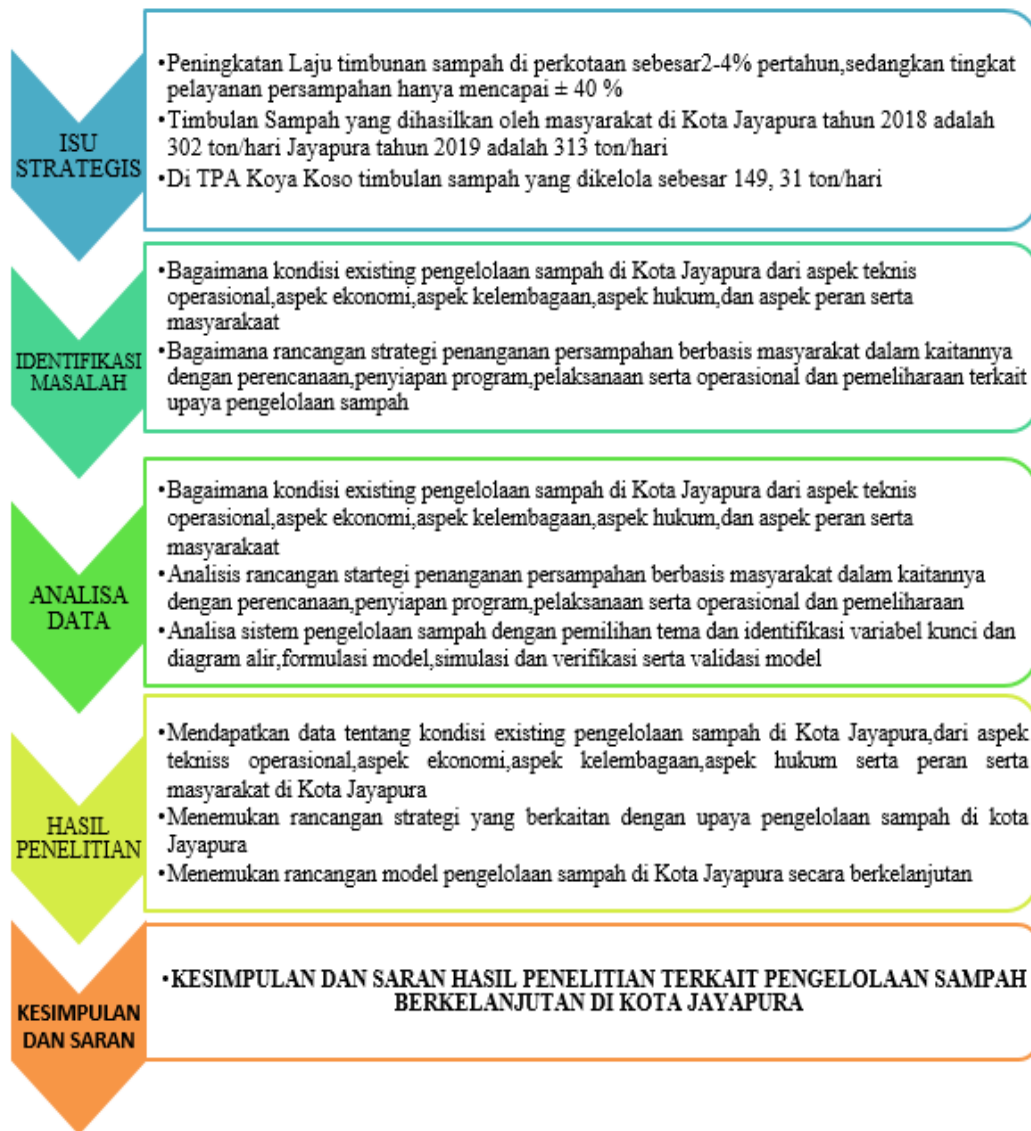
Peran serta masyarakat sangat mendukung program pengelolaan sampah suatu wilayah. Peran serta masyarakat penting karena peran serta merupakan alat guna memperoleh informasi mengenai kondisi, kebutuhan dan sikap masyarakat setempat. Dalam aspek peran serta masyarakat dapat dilihat dari rutinitas pembayaran retribusi sampah, keikutsertaan masyarakat dalam kegiatan kerja bakti, penyediaan tempat sampah pribadi.

Kerangka Pikir Penelitian

Pemerintah Kota Jayapura melalui Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Jayapura (DLHK) telah menerapkan sistem pengelolaan sampah secara terpadu, namun pada kenyataannya masih ada timbulan sampah yang tidak tertangani. Timbulnya permasalahan tersebut karena masih banyak masyarakat Kota Jayapura yang belum peduli dan menyadari akan permasalahan yang timbul sebagai akibat dari timbulan sampah yang dihasilkan.

Pengelolaan sampah tidak hanya menjadi tanggung jawab pemerintah tetapi oleh seluruh komponen yang terlibat didalamnya termasuk masyarakat. Partisipasi masyarakat sangat dibutuhkan untuk menanggulangi permasalahan sampah perkotaan yang semakin kompleks. Perlunya suatu model untuk pengelolaan sampah yang berkelanjutan dengan melibatkan masyarakat mengingat kontribusi penyumbang sampah yang paling besar adalah sektor permukiman/perumahan. Sampah yang paling dominan dihasilkan dari kegiatan rumah tangga

adalah jenis sampah organik. Pengelolaan sampah organik seharusnya dapat ditangani lebih mudah dari tingkat rumah tangga. Dengan mereduksi sampah dari sumbernya, diharapkan volume sampah yang dihasilkan dapat berkurang sedikit demi sedikit sehingga tidak membenani TPA Sampah. Faktor lain adalah keterbatasan tenaga kerja dan biaya operasional dan pemeliharaan sarana dan prasarana persampahan yang tinggi. Adapun kerangka piker penelitian seperti tampak pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Kerangka Teoritis penelitian

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan berupa penelitian survei dengan wawancara yang mendalam dengan melakukan suatu penelitian dengan membuat suatu model yang dapat untuk melihat pengelolaan sampah sehingga dapat berkelanjutan di Kota Jayapura. Responden dalam penelitian ini adalah para stakeholder pelaku pengelolaan sampah (Kepala DLHK Kota Jayapura dan jajarannya di bidang persampahan, Kepala UPTD TPA Koya Koso, tokoh adat/masyarakat, akademisi, kelompok pengolah sampah/bank sampah dan buruh kebersihan yang ada di Kota Jayapura.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu Penelitian diperkirakan akan dilakukan setelah data penelitian telah diperoleh (Kemungkinan diprediksikan minimal 5 (lima) bulan setelah penelitian ini disetujui untuk dilakukan) dan kemudian lokasi penelitian di kota Jayapura.

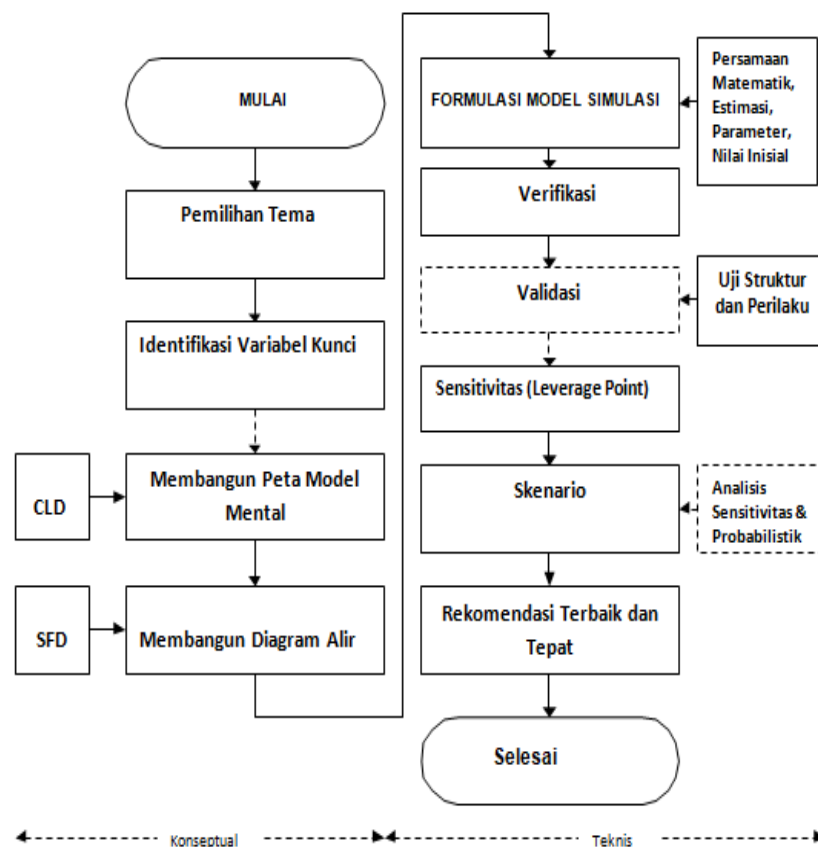
Jenis, Sumber dan Metode Analisis Data

Jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder dengan penjelasan sebagai berikut:

- a. Data primer
Data primer diperoleh di lapangan melalui pengamatan langsung di lapangan kuesioner, observasi, dokumentasi maupun wawancara mendalam dengan pihak yang paham tentang topik yang diteliti seperti Kepala DLHK Kota Jayapura dan staf yang terkait persampahan, tokoh adat/masyarakat, akademisi, kelompok pengolah sampah/bank sampah serta data observasi diperoleh dari pengamatan mandiri selama survey penelitian berlangsung.
- b. Data sekunder
Dalam penelitian ini diperoleh melalui hasil kajian yang sudah pernah dibuat dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Jayapura serta dari Bappeda Kota Jayapura yang relevan dengan bahan kajian.

Rancangan Penelitian

Untuk memudahkan penelitian yang akan dilakukan, maka perlu direncanakan tahapan-tahapan yang akan menjadi pedoman dan arahan bagi penelitian ini. Tahapan-tahapan proses tersebut ditunjukkan pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. Rancangan penelitian

Pengambilan Data Penelitian

Pada penelitian ini digunakan dua jenis data, yaitu data primer dan sekunder:

1. Data primer diambil dengan cara pengamatan langsung di lapangan, penyebaran kusioner dan wawancara untuk melihat secara langsung kondisi dan keadaan sebenarnya di lapangan. Wawancara dilakukan dengan unsur-unsur yang memiliki pengetahuan yang mendalam tentang system pengelolaan sampah 3R, diantaranya adalah Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Kota Jayapura, kelompok bank sampah dan tokoh masyarakat serta stakeholder lainnya terkait persampahan. Data primer kebijakan diperoleh dari kusioner terhadap para pemangku kepentingan yang terlibat langsung terhadap pengelolaan sampah di Kota Jayapura.
2. Pengumpulan data sekunder dilakukan melalui penelusuran data BPS Kota Jayapura, Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Jayapura, dokumen hasil penelitian dari berbagai instansi yang berhubungan dengan penelitian.
3. Data penelitian yang diambil antara lain dari segi teknis, yaitu tingkat pelayanan, timbulan sampah, komposisi timbulan sampah, sistem pengelolaan sampah, peran serta masyarakat dalam usaha 3R dan rencana pengelolaan sampah, dari segi kelembagaan mencakup peraturan terkait pengelolaan persampahan, dari segi pembiayaan seperti biaya operasional pengelolaan sampah, pemeliharaan, retribusi, sedangkan dari aspek lingkungan terdiri dari permasalahan lingkungan pada pengelolaan sampah, prakiraan resiko lingkungan pada pengumpulan dan pengangkutan sampah, evaluasi lingkungan di sekitar TPS, dan dari aspek sosial untuk mengetahui tingkat keberhasilan dan sustainability program pengelolaan persampahan berbasis masyarakat di kota Jayapura.

Tahapan Penelitian

Penelitian model pengelolaan sampah secara berkelanjutan di Kota Jayapura, terdiri atas:

1. Penelitian 1 mengenai kondisi eksisting pengelolaan persampahan Kota Jayapura, Penelitian ini meliputi:
 - a. kondisi eksisting ditinjau dari aspek teknis operasional;
 - b. kondisi eksisting ditinjau dari aspek pembiayaan;
 - c. kondisi eksisting ditinjau dari aspek kelembagaan;
 - d. kondisi eksisting ditinjau dari aspek peraturan;
 - e. Kondisi eksisting ditinjau dari aspek sosial (peran serta masyarakat);
 - f. Kondisi eksisting ditinjau dari aspek lingkungan.
2. Penelitian 2 mengenai evaluasi sistem pengelolaan sampah di Kota Jayapura, meliputi:
 - a. evaluasi sistem pengelolaan sampah yang terdiri dari pewadahan, Tempat Pembuangan Sementara (TPS), pengumpulan sampah, pengangkutan sampah, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dan;
 - b. peran serta masyarakat dalam usaha 3R;
3. Penelitian 3 mengenai model pengelolaan sampah secara berkelanjutan, meliputi:
 - a. pengelolaan sampah dengan memanfaatkan teknologi;
 - b. konsep penanganan sampah berbasis masyarakat; dan
 - c. Rekomendasi pengelolaan dan pengolahan sampah di Kota Jayapura.

c. Metode Pengumpulan dan Analisis Data

Guna memudahkan pengambilan dan pengelolaan data maka langkah kerja dibagi dalam tiga tahap yaitu:

1. Tahap persiapan yang meliputi orientasi awal, pengumpulan data-data primer dan sekunder,
2. Tahap analisa terhadap kondisi pengelolaan sampah di Kota Jayapura, dan
3. Tahap penyusunan Model Pengelolaan Sampah serta rencana tindak dan programnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian survei awal dan wawancara yang dilakukan didapatkan hasil identifikasi sebagai berikut:

- A. Isu utama, Permasalahan dan Peluang Pengelolaan Sampah dikota Jayapura adalah:
1. Makin bertambahnya jumlah timbulan sampah seiring makin bertambahnya jumlah penduduk Kota Jayapura (302 ton/hari);
 2. Meningkatnya laju pertumbuhan Industri yang mengakibatkan jumlah produkyang tersebar dimasyarakat meningkat sehingga komposisi dan karakteristik sampah dimasyarakat lebih didominasi kertas,plastic,produk kemasan maupun sampah B3;
 3. Kualitas dan tingkat pengelolaan persampahan masih rendah (sampah yang dikelola sebesar 211,4 ton/hari);
 4. Belum optimalnya pengimplementasian sistem perundang – undangan baik UU N0.18 tahun 2008 dan Perda Kota Jayapura tentang Penyelenggaraan Kebersihan;
 5. Terbatasnya dana subsidi dari pemerintah untuk operasional dan pemeliharaan peralatan persampahan.

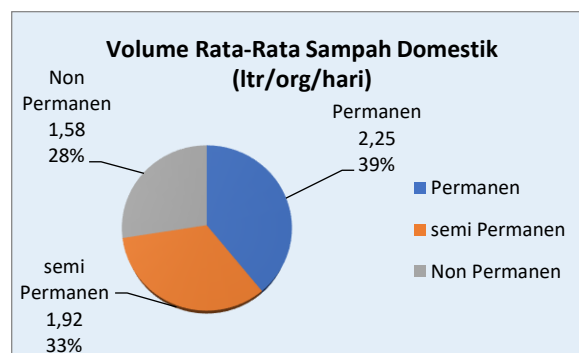
Disamping kendala tersebut diatas, terdapat beberapa peluang yang mendukung sistem pengelolaan sampah secara berkelanjutan diantaranya:

1. Adanya peran serta dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah (kelompok bank sampah, pengrajin dari bahan bekas/sampah),
2. Adanya Peraturan Daerah No.15 tahun 2011 tentang Penyelenggaran Kebersihan.
3. Adanya kegiatan rutin perlombaan kebersihan tingkat kelurahan/kampung, serta lomba membuat pohon natal dari bahan bekas/sampah sehingga akan menstimulasi masyarakat untuk mengelola sampah dan menciptakan ide untuk melakukan 3R pada sampah rumah tangga.

B. Tingkat Pelayanan dan Timbulan Sampah

Areal pelayanan sampah untuk wilayah Kota Jayapura meliputi 5 Distrik yaitu Abepura,Jayapura Utara,Jayapura Selatan,Heram dan Muara Tami. Dan pada saat ini tingkat pelayanan mencapai 70,62% dihitung dari jumlah timbulan sampah yang terangkut ke TPA, sedangkan 29,38% sampah belum dikelola dengan baik yaitu dengan cara dibakar, ditimbun ataupun tertinggal di wadah komunal dan TPS.

Untuk timbulan sampah sampel sampah domestik diambil dari rumah permanen, semi permanen dan non permanen, sedangkan sampel sampah non domestik terdiri dari sampah kantor, toko, sekolah, rumah makan, penyapuan jalan, sampah pasar serta sampah di kawasan pariwisata yaitu di sepanjang pantai Hamadi, Base G dan Dok II.Dan hasil analisa dapat dilihat dalam Gambar 7 Berikut ini:

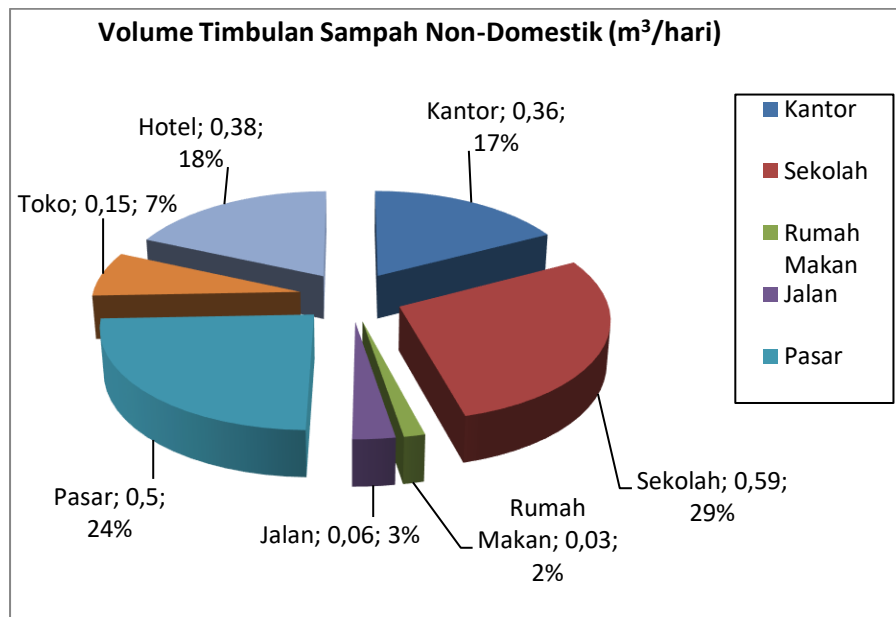


Hasil Analisa, 2019

Gambar 7. Volume rata rata Sampah domestic di Kota Jayapura

Dari hasil analisa di atas diperoleh bahwa timbulan sampah di Kota Jayapura adalah 80,49 % merupakan sampah domestik dan 19,51 % merupakan sampah non domestik. Berdasarkan Gambar 3 dan 4 serta perbandingan volume sampah domestik dan non domestik maka diketahui bahwa besarnya timbulan sampah di Kota Jayapura adalah 3,88 liter/orang/hari. Ternyata besaran timbulan sampah di Kota Jayapura berada jauh di atas standar, jika merujuk pada besaran timbulan sampah berdasarkan klasifikasi kota (SNI 19-3964-1994).

Penduduk Kota Jayapura tahun 2018 ±418.518 jiwa, maka termasuk dalam klasifikasi kota sedang di mana besaran timbulan sampah berkisar antara 2,75-3,25 liter/org/hari. Sedangkan sampel hasil pengukuran timbulan sampah non domestik dapat terlihat dalam Gambar 8 dibawah ini.



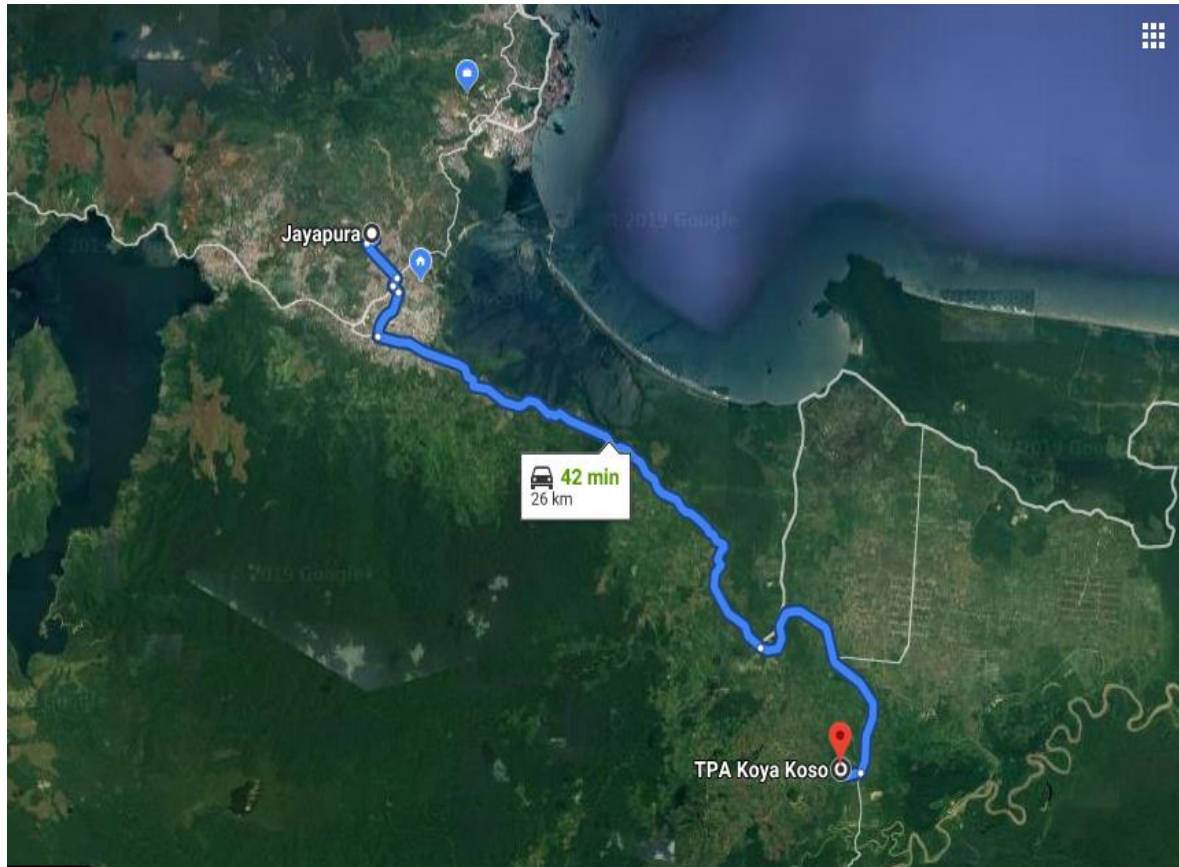
Gambar 8. Volume Sampah harian non - domestik di Kota Jayapura

C. Sarana dan Prasarana Persampahan

Pola pengumpulan sampah pada umumnya dengan pola komunal dan individual. Pengangkutan dan pembuangan sampah Kota Jayapura ditangani dan di kelola oleh DLHK Kota Jayapura di lokasi pelayanan. Sistem Pengangkutan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Door to Door Service**
Petugas langsung ke rumah-rumah untuk mengambil sampah yang telah dikumpulkan oleh Masyarakat dengan menggunakan *Dump truck* kapasitas 4- 6m³ selanjutnya dibuang ke TPA Koya Koso.
- Tempat Pembuangan Sementara (TPS)**
Tempat pembuangan sementara di Kota Jayapura sebagian disediakan oleh pemerintah Kota Jayapura dan berupa pasangan batu maupun bak container. Sebagian lagi disediakan oleh masyarakat secara swadaya yang ditempatkan pada tempat yang mudah dijangkau, kemudian petugas kebersihan mengambil sampah yang telah terkumpul untuk dibuang ke TPA. Lokasi TPA berada di kampung Koya Koso.
- Armada Operasional dan Tenaga Kebersihan**
Armada operasional yang digunakan untuk membersihkan Kota berjumlah 27 (dua puluh tujuh) unit, dan kendaraan operasional lainnya sebanyak 40 (empat puluh) unit.
- Sedangkan DLHK Kota Jayapura memperkerjakan 323 (tiga ratus dua puluh tiga) orang buruh sesuai bidang tugas masing-masing.
- Rata-rata pemakaian armada pengangkutan *Dump truck* dan *Arm roll trucktruck* tersebut di atas per hari 2 rit, yaitu mulai pukul 04:00-08:00 pagi.

- f. Jumlah armada pengangkutan yang dimiliki oleh DKP Kota Jayapura adalah, *Dump truck* sebanyak 17 unit dan *Arm roll truck* sebanyak 10 unit.
- g. Waktu pengangkutan dimulai jam 04:00–08:00 WIT selanjutnya diangkut ke TPA Koya Koso dengan luas TPA ± 20 Ha, jarak TPA dari pusat kota kira-kira 26 Km dengan rute seperti Tampak pada gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Jarak dari Pusat Kota Jayapura ke TPA Koya Koso

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, S.Z. 2000. Kebijakan Publik. Penerbit Yayasan Pancur Siwah. Jakarta. Achmad, R. 2004. Kimia Lingkungan. Universitas Negeri Jakarta. Andi.Yogyakarta.
- Aminullah, E. 2004. Berpikir Sistemik Untuk Pembuatan Kebijakan Publik, Bisnis, dan Ekonomi. Penerbit PPM. Jakarta.
- Ancok, D. 2008. Mengembangkan Perilaku Positif dalam Pengelolaan Sampah dan Air Limbah.UGM Press. Yogyakarta.
- Anonymous. 2004. Panduan Umum Subsidi Kompos (Edisi Revisi Januari 2004).
- Bappeda Kota Jayapura, 2018.Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Jayapura 2013-2033. Bappeda Kota Jayapura. Jayapura.
- Badan Pusat Statistik Kotamadya Kota Jayapura [BPS]. 2018. Kota Jayapura Dalam Angka 2018. Bappeda Kota Jayapura. Jayapura.
- Bunador, S. 2003. Keterkaitan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Pembangunan Ekonomi dan Manajemen Lingkungan. Program Studi Ekonomi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Darmono. 2001. Lingkungan hidup dan Pencemaran: Hubungan denganTosikologi Senyawa Logam. UI-Press. Jakarta.

- Davis, G.J., W.J. Warhurst, P. Weller. 1993. *Public Policy in Australia*, Ed ke-2. St Leonard: Allen and Unwin.
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan. 2018. Studi ANDAL TPA Koya Koso, (Ringkasan Eksekutif). Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Jayapura. Jayapura.
- Dewi, T.Q. 2008. *Penanganan dan Pengolahan Sampah*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Eriyatno. 1998. *Ilmu Sistem Meningkatkan Mutu dan Efektivitas Manajemen*. IPB Press. Bogor.
- Eriyatno dan F. Sofyar. 2007. *Riset Kebijakan Metode Penelitian Untuk Pascasarjana*. IPB Press. Bogor.
- Ford, A. 1999. *Modeling of Environmental: An Introduction to System Dynamics Modeling of Environmental Systems*. Island Press. Washington DC.
- GTZ dan Meneg LH. 1997. *Pedoman Pendekatan Partisipatif Perencanaan Program Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah*. Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Hadiwiyoto, S. 1993. *Penanganan dan Pemanfaatan Sampah*. Yayasan Idaya. Jakarta.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2007. *Buku Panduan Implementasi 3R. Asisten Deputi Urusan Pengendalian Pencemaran Limbah Domestik dan Usaha Kecil* Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Keputusan Menteri Kesehatan No: 16/MENKES/PERT/IX/1990 Tentang Syarat-syarat Pengawasan Kualitas Air Bersih. Departemen Kesehatan RI. Jakarta.
- Keraf, A. S. 2004. *Etika Lingkungan*. Penerbit Buku Kompas. Jakarta.
- Khitolia, R.K. 2004. *Environmental Pollution: Management & Control for Sustainable Development*. S. Chand & Company LTD. Ram Nagar. New Delhi.
- Makridakis, S., S.C Wheelwright, V.E McGee. 1992. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- MENLH dan JICA. 2003. *Draft Naskah Akademis Peraturan Perundang-Undangan Pengelolaan Sampah*. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- MENLH. 2007. *Buku Panduan Implementasi 3R*. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Muhammadi, E. Aminullah, dan B. Soesilo. 2001. *Analisis Sistem Dinamik Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen*. UMJ Press. Jakarta.
- Royadi. 2006. *Analisis Pemanfaatan TPA Sampah Pasca Operasi Berbasis Masyarakat (Studi Kasus TPA Bantar Gebang, Bekasi)*. Disertasi. Program Pasca Sarjana. IPB. Bogor.
- Sarbi. 2005. *Pengembangan Sistem Pengelolaan Sampah di Kota Parepare*. Disertasi. Program Pasca Sarjana. Bogor.
- Saribanon, N. 2007. *Perencanaan Sosial Partisipatif dalam Pengelolaan Sampah Permukiman Berbasis Masyarakat (Kasus di Kotamadya Jakarta Timur)*. Disertasi. Sekolah Pasca Sarjana. IPB. Bogor.
- Sawyer, C.N. P.L. McCarty and G.F. Parkin. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science*. Ed ke-5. New York: McGraw-Hill.
- Soemarwoto, O. 2006. *Pembangunan Berkelanjutan: Antara Konsep dan Realitas*. Departemen Pendidikan Nasional Universitas Padjajaran Bandung.
- Sterman, J.D. 2000. *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin McGraw-Hill. Boston.
- Sudrajat, H.R. 2006. *Mengelola Sampah Kota*. Penerbit Penebar Swadaya. Jakarta.

TINJAUAN STUDI ANALISIS KOMPARATIF BANGUNAN HIJAU (*GREEN BUILDING*) DENGAN METODE ASESMEN SEBAGAI UPAYA MITIGASI UNTUK PEMBANGUNAN KONSTRUKSI YANG BERKELANJUTAN

Iis Roim Widiati¹

¹ Staf Pengajar, Fakultas Teknik Sipil dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua,
Email: iis.widiati@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan konstruksi berkelanjutan pada saat ini telah mengambil beberapa langkah baru untuk merangsang praktik pembangunan hijau. Bangunan hijau (*green building*) merupakan salah satu langkah yang telah diajukan untuk mengurangi dampak signifikan dari bencana terutama pada lingkungan. Basis kriteria bangunan hijau adalah efisiensi energi dan sumber daya hingga desain bangunan yang berkelanjutan. Efisiensi energi masih memiliki jalan panjang, karena beberapa hambatan yang berlaku dalam praktik efisiensi energi. Di Indonesia, tingkat kesadaran dan pemahaman masih minimum tentang bangunan hijau sehingga menyebabkan kurangnya pengetahuan tentang material bangunan hijau dan desain berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode asesmen (sistem rating) yang sudah ada, lalu mengembangkan metode asesmen bangunan hijau dengan melakukan studi komprehensif yang secara eksplisit mengeksplorasi informasi dengan menggunakan analisis komparatif. Untuk tujuan ini, dilakukan tinjauan sistematis literatur tentang metode penilaian bangunan hijau melalui analisis komparatif. Aturan perbandingan, termasuk jumlah metode penilaian komparatif dan metode penilaian frekuensi tinggi, serta status terkini dari topik perbandingan dieksplorasi. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi kepada pemangku kebijakan dalam rekomendasi pengembangan sistem penilaian proses konstruksi pada GreenShip Rating tool.

Kata kunci: bangunan hijau (*green building*), sistem asesmen, *Green building Councils (GBC)*, keberlanjutan (*sustainability*).

PENDAHULUAN

Dampak pemanasan global telah mendorong pergerakan ke arah pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) merupakan proses pembangunan (lahan, kota, bisnis, masyarakat, dsb) yang berprinsip untuk memenuhi kebutuhan sekarang tanpa mengorbankan pemenuhan kebutuhan generasi masa depan (sumber: *Brundtland Report* dari PBB). Salah satu aspek penting dalam pembangunan berkelanjutan adalah proses konstruksi yang berkelanjutan. Pembangunannya sangat dikonsepsikan, yaitu dengan menelaah lahan lingkungan wilayah yang sangat terbatas, dengan konsep alamiah dan natural, dipadukan dengan konsep teknologi tinggi, bangunan ini memungkinkan terus bertahan dalam jangka panjang karena tidak merusak lingkungan sekitar yang ada.

Bangunan konstruksi memiliki pengaruh besar terhadap lingkungan, termasuk menghasilkan emisi karbon yang berbahaya. Berdasarkan laporan yang dipublikasikan oleh Perserikatan Bangsa Bangsa (*United Nations*), berjudul '*Buildings and Climate Change*' menyatakan bahwa 30% sampai 40% energi dipergunakan untuk bangunan. Hal tersebut telah mendorong dikembangkannya standar *green building* dan proses sertifikasinya untuk mengurangi dampak dari pembangunan terhadap lingkungan. *Green building* telah banyak diterapkan dalam kegiatan pembangunan di beberapa negara seperti Amerika Serikat, Singapura, dan China. Di Amerika Serikat dan Singapura, proyek renovasi hijau direncanakan dengan jumlah terbesar dari perusahaan sekitar 65-69%. Di Brazil dan

Uni Emirat Arab, proyek baru menciptakan peluang terbesar. Di Brazil 83% perusahaan berencana untuk mengerjakan *green building* baru selama tiga tahun kedepan dan di Uni Emirat Arab terdapat 73% proyek *green building* yang direncanakan (Mc Graw 2012). Hingga saat ini terdapat 213 proyek tersertifikasi di China, diantaranya yaitu satu platinum, 23 emas, dan 17 perak (Tan 2010 dalam Liu 2012). Pemerintah Indonesia terus melakukan sosialisasi terhadap upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim, salah satunya adalah dengan *green building*. Mengingat penggunaan energi terbesar di dunia adalah bangunan (sekitar 40%) maka usaha perencanaan dan pengelolaan bangunan hemat energi ini sangat diperlukan.

Tujuan dari penelitian ini untuk membandingkan metode asesmen pada perangkat penilaian sertifikasi lalu mengembangkan metode asesmen yang sudah ada. Untuk mencapai tujuan ini, dilakukan tinjauan sistematis literatur yang ada tentang metode penilaian bangunan hijau melalui analisis komparatif. Aturan perbandingan, termasuk jumlah metode penilaian komparatif dan metode penilaian frekuensi tinggi, serta status terkini dari topik perbandingan dieksplorasi. Penelitian ini juga dimaksudkan untuk mempelajari dampak dari program asesmen *green building* yang sedang berjalan terhadap mitigasi lingkungan sebagai upaya pembangunan konstruksi yang berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Green building merupakan suatu konsep pembangunan yang mengarah pada struktur dan pemakaian proses yang memperhatikan lingkungan dan hemat sumber daya sepanjang siklus hidup bangunan tersebut, mulai dari pemilihan tempat sampai desain konstruksi, operasi, perawatan, renovasi, dan peruntukan. Konsep ini memperluas dan melengkapi desain bangunan dalam hal ekonomi, utilitas, durabilitas, dan kenyamanan (US EPA, 2009).

Penerapan konsep *green building* ini mempromosikan bahwa perbaikan perilaku dan teknologi terhadap bangunan dapat menyumbangkan dampak yang cukup banyak dalam mengatasi pemanasan global. Secara khusus di dalam Peraturan Menteri LH No. 8 tahun 2010, bangunan dapat dikategorikan sebagai bangunan ramah lingkungan apabila memenuhi kriteria (a) menggunakan material bangunan yang ramah lingkungan; (b) terdapat fasilitas, sarana, dan prasarana untuk konservasi sumber daya air dalam bangunan gedung; (c) terdapat fasilitas, sarana, dan prasarana konservasi dan diversifikasi energi; (d) menggunakan bahan yang bukan bahan perusak ozon dalam bangunan gedung; (e) terdapat fasilitas, sarana, dan prasarana pengelolaan air limbah domestik pada bangunan gedung; (f) terdapat fasilitas pemilahan sampah; (g) memperhatikan aspek kesehatan bagi penghuni bangunan; (h) terdapat fasilitas, sarana, dan prasarana pengelolaan tapak berkelanjutan; dan (i) terdapat fasilitas, sarana, dan prasarana untuk mengantisipasi bencana.

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 8 Tahun 2010 tentang Kriteria dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan Bab I Pasal 1, bangunan ramah lingkungan (*green building*) adalah suatu bangunan yang menerapkan prinsip lingkungan dalam perancangan, pembangunan, pengoperasian, dan pengelolannya dan aspek penting penanganan dampak perubahan iklim. Prinsip lingkungan yang dimaksud adalah prinsip yang mengedepankan dan memperhatikan unsur pelestarian fungsi lingkungan.

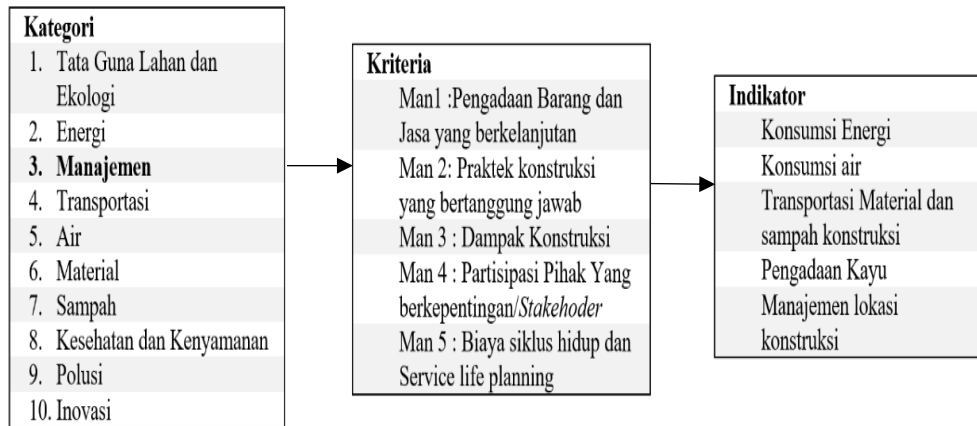
Konsep *green building* dianggap sebagai salah satu solusi untuk mengurangi kerusakan lingkungan dan meminimalkan emisi karbon, penyebab utama global warming, dari sektor konstruksi. Berdasarkan data *World Green Building Council*, di seluruh dunia, bangunan menyumbangkan 33% emisi CO₂, mengonsumsi 17% air bersih, 25% produk kayu, 30-40% penggunaan energi dan 40-50% penggunaan bahan mentah untuk pembangunan dan pengoperasiannya. Istilah *green* pada dasarnya hampir sama dengan istilah *sustainable*, *environmental*, dan *high performance*. Menurut Prof. Jong-jin Kim dkk dari *College of Architecture and Urban Planning University of Michigan*, prinsip-prinsip desain berkelanjutan (*sustainable design*) dalam konteks rancangan meliputi (a) Penghematan sumber daya alam (*economy resources*); (b) Daur hidup (*life cycle design*); dan (c) Rancangan yang manusiawi (*human design*).

Berangkat dari filosofi *sustainable design*, *green building* adalah konsep bangunan yang memfokuskan pada penghematan lahan, material, energi, air, kualitas udara dan manajemen pengelolaan limbah. Elemen-elemen *green building* antara lain:

- a. Lahan: Pembangunan lahan yang tepat guna tidak menggunakan seluruh lahan yang ada untuk bangunan melainkan menyediakan 30% dari total lahan untuk daerah resapan.
- b. Material: Material diperoleh secara lokal untuk mengurangi biaya transportasi. Material dipakai menggunakan *green specification* yang termasuk ke dalam daftar *life cycle analysis* seperti energi yang dihasilkan, daya tahan material, minimalisasi limbah, penggunaan kayu bersertifikat, dan kemampuan untuk dapat didaur ulang.
- c. Energi: Perencanaan dalam pengaturan sirkulasi udara yang optimal untuk mengurangi penggunaan AC dengan cara mengoptimalkan cahaya matahari sebagai penerangan di siang hari. *Green building* juga menggunakan tenaga surya dan turbin angin sebagai penghasil listrik alternatif.
- d. Air: *Green building* mengurangi penggunaan air dengan menggunakan STP (*Sewerage Treatment Plant*) untuk mendaur ulang air dari limbah rumah tangga sehingga bisa digunakan kembali untuk toilet, penyiraman tanaman dan lainnya. *Green building* juga menggunakan peralatan penghemat air seperti shower bertekanan rendah, kran otomatis (*self-closing* atau *spay tubs*), dan tanki toilet yang *low-flush toilet* yang intinya dapat mengatur penggunaan air dalam bangunan sehemat mungkin.
- e. Udara: *Green building* menggunakan material dan produk-produk *non-toxic* yang akan meningkatkan kualitas udara dalam ruangan dan mengurangi tingkat asma, alergi dan *sick building syndrome*. *Green building* menggunakan material yang bebas emisi dan tahan untuk mencegah kelembaban yang menghasilkan spora dan mikroba lainnya. Kualitas udara dalam ruangan juga harus didukung dengan menggunakan sistem ventilasi yang efektif dan bahan-bahan pengontrol kelembaban yang memungkinkan bangunan untuk bernapas.
- f. Limbah dan Manajemen Lingkungan: *Green building* juga meliputi aspek manajemen lingkungan dan pengolahan limbah secara lokal. Beberapa kriteria desainnya antara lain penggunaan material kayu.

Menurut *Green building Council Indonesia/GBCI* (2010), *green building* adalah bangunan yang dimana sejak mulai dalam tahap perencanaan, pembangunan, pengoperasian hingga dalam operasional pemeliharannya memperlihatkan aspek-aspek dalam melindungi, menghemat, serta mengurangi penggunaan sumber daya alam, menjaga mutu dari kualitas udara di ruangan, dan memperhatikan kesehatan penghuninya yang semuanya berpegang pada kaidah pembangunan yang berkesinambungan.

Perangkat penilaian/asesmen dinilai sebagai salah satu cara yang paling ampuh dan efektif untuk meningkatkan performance bangunan. Dalam dekade terakhir, sejumlah perangkat asesmen telah dan sedang dikembangkan oleh lembaga sertifikasi di seluruh dunia. Bila digabungkan kriteria dari beberapa lembaga sertifikasi yang ada, menyangkut: *sustainable site, water efficiency, energy and atmosphere, material and resources, indoor environmental quality, innovation and design process, waste, ecology, health and wellbeing, transport mode & project management*. Rincian kriteria sebanyak itu pada dasarnya merupakan uraian dari metrik internasional sustainability yaitu ekonomi, sosial dan environment, yang juga dikenal sebagai the triple bottom line (UGWU, 2007). Jadi penilaian *sustainability* menyangkut pada berbagai jenis kriteria dan tahapan pembangunan yang terjadi di *project life cycle*.



Gambar 1. Struktur Parsial Penilaian Pada BREEM

Perangkat penilaian/asesmen memiliki kategori. Setiap kategori memiliki satu atau lebih indikator baik berupa pengukuran variabel kuantitatif maupun kualitatif (Gambar 1). Indikator merupakan hal yang penting untuk memudahkan pemantauan dalam capaian setiap kategori. Perbandingan indikator mampu memberikan informasi yang rinci pada makalah yang terpilih. Selanjutnya akan ditemukan indikator yang paling banyak dijadikan acuan pada metode penilaian *green building* yang memberikan dampak yang signifikan pada pencapaian konstruksi *green building*.

Untuk perangkat tolok ukur bangunan hijau di Indonesia, GBC Indonesia mengeluarkan sistem *rating* yang dinamakan *Greenship*. *Greenship* bersifat khas Indonesia seperti halnya perangkat penilaian di setiap negara yang selalu mengakomodasi kepentingan lokal setempat. Di Indonesia, program sertifikasi diselenggarakan oleh Komisi Rating Lembaga Bangunan Hijau Indonesia secara kredibel, akuntabel dan penuh integritas (GBCI, 2017). Setiap negara yang sudah mengikuti gerakan bangunan hijau mempunyai sistem *rating* masing-masing, Sistem peringkat (*rating*) adalah suatu alat berisi butir-butir dari aspek penilaian yang disebut *rating* dan setiap butir *rating* mempunyai nilai (*credit point*). Apabila suatu bangunan berhasil melaksanakan butir *rating*, maka bangunan itu akan mendapatkan poin nilai dari butir tersebut. Bila jumlah semua poin nilai yang berhasil dikumpulkan mencapai suatu jumlah yang ditentukan, maka bangunan tersebut dapat disertifikasi untuk tingkat sertifikasi tertentu. Namun sebelum mencapai tahap penilaian *rating* terlebih dahulu dilakukan pengkajian bangunan untuk pemenuhan persyaratan awal penilaian (*eligibilitas*). Sebagai contoh sistem rating Amerika Serikat (LEED), Singapura (*Green Mark*), Australia dengan *Green Star*, dan sebagainya (tabel 1). Sistem *Rating Greenship* dipersiapkan dan disusun oleh Lembaga Bangunan Hijau (*Green Building Council Indonesia*) untuk menentukan apakah suatu bangunan dapat dinyatakan layak bersertifikat "bangunan hijau" atau belum. *Greenship* sebagai sebuah sistem *rating* terbagi atas enam aspek yang terdiri dari (GBCI, 2017) :

1. Tepat Guna Lahan (*Appropriate Site Development/ASD*).
2. Efisiensi Energi & Refrigeran (*Energy Efficiency & Refrigerant/EER*).
3. Konservasi Air (*Water Conservation/WAC*).
4. Sumber dan Siklus Material (*Material Resources & Cycle/MRC*).
5. Kualitas Udara dan Kenyamanan Udara (*Indoor Air Health & Comfort/IHC*).
6. Manajemen Lingkungan Bangunan (*Building & Enviroment Management*).

Tabel 1. Sistem Asesmen *Green building* di Beberapa Negara

No	Nama Negara	Rating System (Standar Penilaian)
1	Afrika Selatan	Green Star SA
2	Amerika Serikat	LEED/Green Globes
3	Australia	Green Star
4	Belanda	BREEAM NL, INSIDE
5	Brasil	LEED Brasil/AQUA
6	Canada	LEED Canada & GRIHA
7	China	GB ES (GB Evaluation Standard for Green Building)
8	Filipina	BERDE
9	Finlandia	PromisE
10	Hong Kong	BEAM Plus
11	India	IGBC Rating System & LEED India
12	Indonesia	Greenship
13	Inggris Raya	BREEAM
14	Israel	SI-5281
15	Irlandia	HPI (Home Performance Index)
16	Italia	Protocollo Itaca
17	Jepang	CASBEE
18	Jerman	DGNB
19	Kanada	LEED/Green Key Globes
20	Kenya	Green Star SA Kenya
21	Korea Selatan	GBS (Green Building System)
22	Kolombia	CASA Colombia
23	Latvian	BREEAM-LV
24	Libanon	ARZ rating system
25	Malaysia	GBI (Green Building Index)
26	Meksiko	CMES
27	Norwegia	BREEAM-NOR
28	Pakistan	Pakistan Green Building Guideline (PGBG) BD+C
29	Perancis	Care & Bio, Chantier Carbone, HQE
30	Portugal	LiderA
31	Selandia Baru	Green Star NZ
32	Singapura	Green Mark & CONQUAS
33	Srilangka	GreenSL
34	Spanyol	BREEAM-SE
35	Swedia	Citylab
36	Swiss	Swiss DGNB System
37	Taiwan	EEWH
38	Turki	CEDBIK-Konut Green building certification system
39	Vietnam	Lotus/VGBC
40	Uni Emirat Arab	PEARL
41	United Kingdom	BREEAM

Sumber : Iis Widiati, 2019

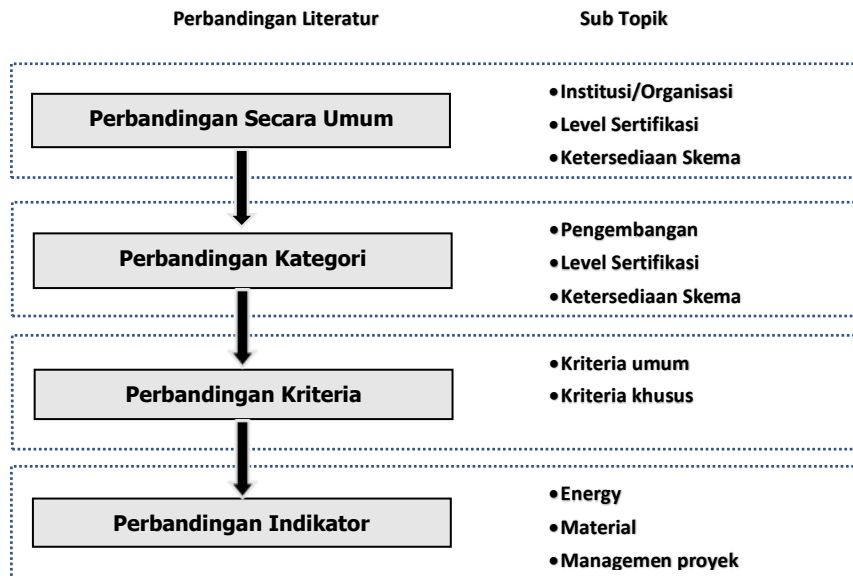
METODE PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian ini, dilakukan tinjauan sistematis literatur tentang metode penilaian bangunan hijau melalui analisis komparatif. Aturan perbandingan, termasuk jumlah metode penilaian komparatif dan metode penilaian frekuensi tinggi, serta status terkini dari topik perbandingan dieksplorasi. Untuk melakukan penelitian secara sistematis, hal pertama yang dilakukan adalah studi literatur yang memaparkan konsep *green building*, perkembangan penerapan *green building*, standar dan prosedur sertifikasi *green building*, serta sesuai dengan perumusan masalah mengenai perbedaan standar *green building* yang berlaku. Literatur ini memuat beberapa gagasan atau teori yang saling berkaitan secara kukuh serta didukung oleh data-data dari sumber pustaka. Sumber bahan kajian pada penelitian ini berupa jurnal penelitian ilmiah nasional maupun internasional, disertasi, tesis, skripsi, laporan penelitian ilmiah, buku-buku teks yang dapat dipertanggungjawabkan asal usulnya, makalah, laporan/kesimpulan seminar, catatan/rekaman diskusi ilmiah, tulisan-tulisan resmi terbitan pemerintah dan laporan lembaga-lembaga lainnya yang berkaitan dengan topik penelitian.

Terdapat dua tahap dalam penilaian *green building* dengan analisis komparatif. Pada tahap pertama, pencarian literatur berupa karya penelitian akan dilakukan pada tiga database akademisi: *Science Direct*, *Engineering Village*, dan *Scopus*. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian tersebut antara lain: keberlanjutan (*sustainable*), metode asesmen *green building* di Indonesia, dan metode asesmen *green building* pada tingkat internasional (misalnya, LEED, BREEAM, *Green Star*, dll). Pembahasan ini mencakup makalah yang diterbitkan antara tahun 2004 sampai tahun 2018 yang membahas metode asesmen *green building* yang telah mendapat perhatian besar sejak lebih dari satu dekade terakhir. Untuk memastikan kualitas literatur dan mengurangi ukuran sampel yang luas, maka dilakukan kriteria pemilihan literatur yaitu literatur difokuskan hanya pada metode asesmen *green building* melalui analisis komparatif dan literatur berasal dari database publikasi jurnal internasional, resensi buku, makalah non akademik, dan laporan industri.

Pencarian literatur juga dilakukan langsung pada jurnal internasional yang khusus membahas *green building* dan manajemen konstruksi, jurnal internasional tersebut antara lain: *International Journal of Project Management (IJPM)*, *Journal of Construction Engineering and Management (JCEM)*, *Engineering*,

Construction and Architectural Management (ECAM), Journal of Management in Engineering (JME), Journal of Civil Engineering and Management (JCEM), Energy and Buildings (EB), Construction Management and Economics (CME), Building Research and Information (BRI), Building and Environment (BE), Habitat international (HI). Jurnal tersebut telah diterima sebagai jurnal berkualitas tinggi dan telah banyak digunakan untuk meninjau topik dalam manajemen konstruksi khususnya *green building*.



Gambar 2. Kerangka Perbandingan Literatur

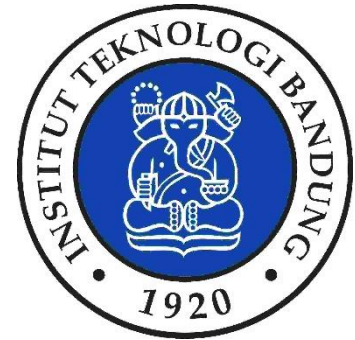
Jumlah terbanyak dari makalah yang dipilih berkonsentrasi pada perbandingan informasi umum dari metode asesmen *Green Building*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2, perbandingan informasi umum mencakup informasi dasar seperti, informasi organisasi atau institusi pengembang sertifikasi, sejarah sertifikasi, peringkat sertifikasi dan strategi sertifikasi. Pengembang sertifikasi yang dimaksud adalah institusi atau organisasi yang mengembangkan, mengoperasikan, dan memperbarui metode asesmen sertifikasi pada *Green Building*. Sebagai contoh, LEED dikembangkan dan dioperasikan oleh *Green Building Council (USGBC)*, sedangkan BREEAM dikembangkan dan dioperasikan oleh *Building Research Establishment (BRE)*. Sejarah sertifikasi menginformasikan tahun publikasi sertifikasi dan penyempurnaan metode yang sudah ada. Metode penilaian/asesmen sertifikasi menginformasikan hasil penilaian yang diklasifikasikan berdasarkan total skor yang diperoleh. Misalnya, LEED memiliki tingkatan klasifikasi, seperti sertifikat perak, sertifikat emas, atau sertifikat platinum; BREEAM memiliki tingkat klasifikasi yaitu klasifikasi Lulus, Baik, Sangat Baik, Sangat Baik Sekali. Perbandingan kategori mengacu pada besarnya capaian keberlanjutan berdasarkan ruang lingkup penilaian. Makalah yang dipilih akan dibedakan berdasarkan kategori metode penilaian *Green Building*. Bobot atau poin akan diberikan untuk setiap kategori. Dengan pengkategorian ini, selanjutnya akan ditemukan kesamaan dan perbedaan yang signifikan pada metode penilaian green building pada masing-masing standar sertifikasi.

Dari metode tinjauan literatur yang dilakukan secara sistematis dalam penelitian ini dengan penekanan khusus pada analisis komparatif, selanjutnya hasil penelitian akan ditetapkan, yaitu untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan standar *green building* yang berlaku secara prosedural, administrasi, dan umum. Dari hasil analisis dan pembahasan akan terlihat kelebihan dan kekurangan dari standar *green building* yang dikaji, sehingga kesimpulan dapat diambil setelah memaparkan output hasil analisis berdasarkan tujuan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M., dan Fauzi, R.T. (2012). *Kajian Sistem Assessment Proses Konstruksi Pada GreenShip Rating Tool*. Prosiding Seminar: "KoNTekS 6". Universitas Trisakti, 1-2 November 2012.
- Lilo AC, Jati Utomo DW, Sri Sumarni, Jeni P. (2017). *Kajian Penerapan Green building Pada Gedung Bank Indonesia Surakarta*. Jurnal UNS 2017.
- Nanda F, Syahrizal dan Andi Putra R. (2017). *Penilaian Kriteria Green building Pada Bangunan Gedung Rumah Sakit Universitas Sumatera Utara*. Jurnal Teknik Fomit 3 (2) ITS.
- R. Andini. (2012). *Analisa Pengaruh Penerapan Konsep Green building Terhadap Keputusan Investasi Pada National Hospital Surabaya*. Jurnal Teknik ITS Vol. 1, No. 1 (Sept.2012) ISSN 2301-9271 Surabaya ITS.
- Ervianto, W.I. (2015). *Implementasi Green Construction sebagai Upaya Mencapai Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia*. Makalah dalam Konferensi Nasional Forum Wahana Teknik ke II.
- Green building Council Indonesia. *Panduan Penerapan Perangkat Penilaian Bangunan Hujau GREENSHIP 1.0*. Jakarta: GREEN BUILDINGCI, 2010.
- Meisel Ari. (2010). *LEED Materials A Resource Guide to Green building*, New York, Pricenton Architectural Press.
- Reeder, Linda. (2010). *Guide to Green building Rating System*. New Jersey, John Wiley & Sons.
- Roderick Ya, David McEwan, Wheatley, Carlos Alonso. *A comparative study of building energy performance assessment between LEED, BREEAM and Green Star schemes*. Glasgow. Integrated Environment Solution Limited
- Ervianto, W.I. (2011). "Carbon Tracing Komponen Struktur Bangunan Gedung (Studi Kasus Gedung Isipol Universitas Atma Jaya Yogyakarta)" Seminar Nasional I BMPTTSSI, Konteks 5, Universitas Sumatera Utara.
- Ervianto, W.I. (2015). *Pengembangan Model Assessment Green Construction Pada Proses Konstruksi Untuk Proyek Gedung di Indonesia*. Disertasi tidak dipublikasikan, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Liu, JY, Low, SP, He X. (2012). *Green Practices In China Building Industry: drivers and impediments*. Jurnal of Technology Management In China Vol 7 No 1 2012. Emerald group Publishing
- USGREEN BUILDINGC (United States Green building Council). (2013). *Green building concept*. [Internet]. [diunduh 2013 Apr 27]. Tersedia pada: <http://www.usgreenbuildingc.com>
- (2012). *Green Growth and Developing Countries*. A Summary for Policy Makers, OECD, June 2012.
- MacNaughton, P., Satish, U., Laurent, J. G. C., Flanigan, S., Vallarino, J., Coull, B., Spengler, J. D., & Allen, J. G. (2017). *The Impact of Working in a Green Certified Building on Cognitive Function and Health. Building and Environment*, 114, 178–186. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.041>
- Dwaikat, L. N., & Ali, K. N. (2016). *Green buildings cost premium: A review of empirical evidence. Energy and Buildings*, 110, 396–403. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.021>
- Li, Y., Chen, X., Wang, X., Xu, Y., & Chen, P.-H. (2017). A Review of Studies on Green building Assessment Methods by Comparative Analysis. *Energy and Buildings*, 146. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.076>
- Hydes, K., Richardson, G. R. A., & Petinelli, G. (2018). World Green building Council: Supporting the Sustainable Transformation of the Global Property Market. Retrieved from. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7984.pdf>
- Poveda, Cesar A., and Ryan Young. (2015). *Potential benefits of developing and implementing environmental and sustainability rating systems: Making the case for the need of diversification*. International Journal of Sustainable Built Environment 4.1, pp. 1-11.
- Shuzo Murakami, Kazuo Iwamura & Raymond J. Cole, Casbee. 2014. *A decade of Development and Application of an Environmental Assessment System for the Built Environment*. Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC).
- Binh K. Nguyena*, HasimAltana, "Comparative review of five sustainable rating systems". 2011. International Conference on Green buildings and Sustainable Cities, Elsevier on sciencedirect.com, Procedia Engineering 21 (2011) 376 – 386

- Shen, T. 2016. Sustainability: Green buildings in Asia. IPE Real Assets. Released on 10. 2016. Read on 1.4.2019. <https://realassets.ipe.com/investment/sustainability/sustainability-green-building-in-asia/10015284.article>
- Shamseldin, A. K. M. 2016. Including the building environmental efficiency in the environmental building rating systems. Ain Shams Engineering Journal.
- Cheam, J. 2015. Singapore's new Green Mark scheme a 'game-changer'. Re- leased on 02.09.2015. Read on 01.05.2019. <https://www.eco-business.com/news/singapores-new-green-mark-scheme-a-game-changer/>



3

REKAYASA DAN MANAJEMEN SUMBER DAYA AIR

Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2019

Bandung, 5 November 2019

KAJIAN SISTEM PENGENDALI BANJIR KAWASAN ORGANDA KOTA JAYAPURA

Asep Huddiankuwera¹, Irianto²

¹Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Sistem Informasi, Universitas Yapis
Papua, Email: asephuddiankuwera@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Sistem Informasi, Universitas Yapis
Papua, Email: irian.anto@gmail.com

ABSTRAK

Banjir yang sering terjadi di Kota Jayapura khususnya pada Kawasan Perumahan Organda disebabkan terjadinya alih fungsi lahan yang massif. Terutama pembangunan perumahan di daerah yang selama ini menjadi resapan air. Alih fungsi lahan menyebabkan volume air yang mengalir ke hilir semakin besar dan ketika hujan, ada sedimen terbawa arus air ke badan sungai sehingga menyebabkan air tidak dapat disalurkan melalui sungai dan menyebabkan genangan di perumahan organda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah saluran eksisting di kawasan perumahan organda kota Jayapura dapat menampung debit banjir rencana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa saluran eksisting yang terdapat di kawasan perumahan organda kota Jayapura tidak dapat menampung banjir rencana untuk semua periode ulang 2, 5, 20 dan 25 tahun.

Kata Kunci : *Kawasan Organda, Pengendalian Banjir, Kota Jayapura*

PENDAHULUAN

Banjir yang sering terjadi di Kota Jayapura khususnya pada Kawasan Perumahan Organda disebabkan terjadinya alih fungsi lahan yang massif. Terutama pembangunan perumahan di daerah yang selama ini menjadi resapan air. Alih fungsi lahan menyebabkan volume air yang mengalir ke hilir semakin besar dan ketika hujan, ada sedimen terbawa arus air ke badan sungai sehingga menyebabkan air tidak dapat disalurkan melalui sungai dan menyebabkan genangan di perumahan organda.

Dalam rangka mengendalikan banjir Kota Jayapura dan sekitarnya, diperlukan penanganan–penanganan yang serius dan terintegrasi dari berbagai pihak yang terkait, khususnya pada Kawasan Perumahan Organda, dimana kebanyakan dari Kawasan ini merupakan kawasan yang berdekatan dengan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan daerah yang topografinya rendah.

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan istilah geografi mengenai sebatang anak sungai dan area tanah yang dipengaruhinya. DAS adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas-batas topografi secara alami sedemikian rupa sehingga setiap air hujan yang jatuh dalam DAS tersebut akan mengalir melalui titik tertentu (titik pengukuran di sungai) dalam DAS tersebut (Asdak, 2010).

Penurunan mutu Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia telah menjadi keprihatinan nasional. Hal ini ditandai oleh fluktuasi debit aliran sungai yang tinggi setiap tahun serta meningkatnya laju erosi dan sedimentasi. Akibat yang ditimbulkannya adalah semakin seringnya kejadian banjir dan kekeringan, kurang efisiennya sistem irigasi karena tidak optimalnya distribusi air, penipisan lapisan olah pada lahan pertanian serta terjadinya pendangkalan waduk dari sungai akibat sedimentasi. Apabila masalah ini tidak ditangani segera, maka akan terjadi peningkatan laju penurunan produktivitas DAS dan pendapatan wilayah (Asdak, 2010).

Masalah lain yang sering ditemui pada DAS adalah banjir yang mengakibatkan kerusakan dan penurunan mutu DAS itu sendiri. Banjir dapat terjadi karena curah hujan yang tinggi, intensitas, atau kerusakan akibat penggunaan lahan yang salah.

Persoalan banjir adalah persoalan yang mesti dikaji dari hulu hingga hilir, mulai dari *upstream* hingga *downstream*. Persoalan ini muncul karena daya tampung DAS lebih rendah dari debit banjir dan daya tampung saluran sungai lebih kecil dari debit banjir. Untuk mengatasi persoalan diatas perlu ditinjau seberapa kemampuan suatu DAS dapat menampung limpasan puncak yang terjadi dan kapasitas tampung sungai dalam menahan debit banjir tersebut (Gunawan, 2014).

Salah satu komponen hidrologi yang sangat penting dalam penyelesaian masalah hidrologi suatu DAS adalah debit sungai. Namun dilain pihak, pencatatan debit sungai yang teratur masih kurang. Untuk mengatasi kekurangan data pengukuran ini, maka debit sungai dapat diperkirakan melalui analisis kesetimbangan air dengan menggunakan berbagai model hidrologi yang ada.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah saluran eksisting di kawasan perumahan organoda Jayapura dapat menampung debit banjir rencana.

TINJAUAN PUSTAKA

Debit Aliran

Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam system satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m³/dt). Dalam laporan-laporan teknis, debit aliran biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran (Asdak, 2010).

Menurut Rahayu (2009), pengukuran kecepatan aliran dengan metode ini dapat menghasilkan perkiraan kecepatan aliran yang memadai. Prinsip pengukuran metode ini adalah mengukur kecepatan aliran tiap kedalaman pengukuran (d) pada titik interval tertentu dengan "*current meter*" atau "*flowprobe*".

Pengukuran debit sungai dikatakan secara tidak langsung apabila kecepatan alirannya tidak diukur langsung, akan tetapi dihitung berdasarkan rumus hidraulis debit dengan rumus *manning*, *chezy*, serta *Darcy Weisbach*. Salah satu rumusnya yaitu rumus *Manning* dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

$$Q = A \times V \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

Q = Debit air (m³/detik)

A = Luas Penampang (m²)

V = Kecepatan Aliran (m/detik)

R = Jari-jari hidrolis

S = Slope / kemiringan

n = Koefisien Dasar saluran

Pada sungai-sungai yang besar, penggunaan alat ukur yang diterapkan di laboratorium menjadi tidak praktis, dan pengukuran debit dilakukan dengan suatu alat pengukuran kecepatan aliran yang disebut pengukur arus (*current meter*). Suatu hubungan tinggi muka air debit, atau kurva debit (*rating curve*). Kurva debit (*rating curve*) biasa juga disebut lengkung aliran dibuat memplot debit yang diukur terhadap tinggi muka air pada saat pengukuran (Sangsongko, 1985).

Debit Banjir Rencana Metode HSS Nakayasu

Pada analisis ini digunakan metode hidrograf satuan sintetis nakayasu untuk menyelesaikan perhitungan analisis debit banjir rencana. Berikut perhitungan debit banjir nakayasu.

Parameter Unit Hidrograf yang dibutuhkan :

1. Panjang Sungai/Saluran

$$L = 11,62 \text{ km}$$

Panjang sungai/saluran di dapatkan dari penentuan Daerah Pengaliran Sungai (DPS) dengan menggunakan peta Tata Air daerah Kota Jayapura.

2. Luas DAS

$$FDAS = 24,75 \text{ km}$$

Luas DAS di dapatkan dari penentuan Daerah Pengaliran Sungai (DPS) dengan menggunakan peta Tata Air daerah Kota Jayapura.

3. Koef. Pengaliran DAS $CWDAS = 0,3$

Data CWDAS di dapat kan dari tabel Angka Koefisien Aliran Untuk Tata Guna Lahan, diambil 0,3 karean area DAS berupa area pemukiman tidak padat 0,4 dan area hutan 0,2 diambil mediannya adalah 0,2

4. Time Tag (T_g)/Waktu Konsentrasi

T_g adalah time lag yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (jam). Untuk perhitungan Time Tag(T_g) harus mengikuti syarat sebagai berikut:

Untuk

$$L < 15 \text{ Km Nilai } T_g = 0,21 L^{0,70}$$

Untuk

$$L > 15 \text{ Km Nilai } T_g = 0,40 + 0,058 L$$

$$\text{Maka, Perhitungan Time Tag}(T_g) \text{ pada Analisis ini adalah : } T_g = 0,21 L^{0,70} = 0,21 \times 11,62^{0,70} = 1,17 \text{ jam}$$

Dikarenakan nilai L dalam analisis ini kurang dari 15 Km.

5. Satuan Waktu Hujan (t_r)

Untuk perhitungan Satuan Waktu Hujan atau Waktu Hujan Efektif (T_r) harus mengikuti syarat sebagai berikut:

$$t_r = 0,50T_g \text{ sampai } 1,0T_g \text{ (jam)}$$

maka, perhitungan peritungan Satuan Waktu Hujan (t_r) pada Analisis ini adalah:

$$t_r = 0,75 * 1,17 = 0,88 \text{ jam}$$

di ambil nilai 0,75 dikarenakan nilai tengahnya.

6. Peak Time(T_p)/Tenggang Waktu

$$T_p = T_g + 0,8.t_r$$

Untuk perhitungan Peak Time (T_p)/ Nilai tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir di hitung dengan persamaan di atas. Maka apabila diuraikan persamaan perhitungan Peak Time (T_p) tersebut adalah :

$$T_p = 1,17 + 0,8 * 0,88 = 1,87 \text{ jam}$$

Jadi hasil perhitungan Peak Time(T_p)/Nilai Tenggang waktu pada analisis hidrograf nakayasu ini adalah 1,87 jam.

METODOLOGI PENELITIAN

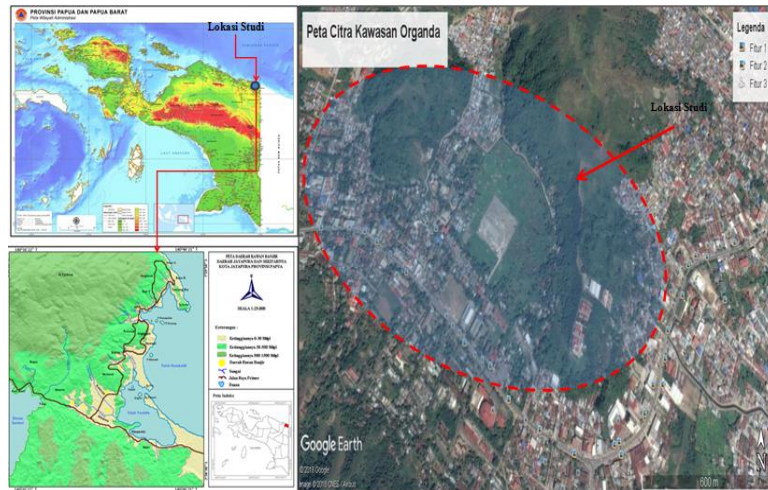
Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

1. Pengukuran dan pengolahan data ukur.
2. Analisis data.

Lokasi Penelitian

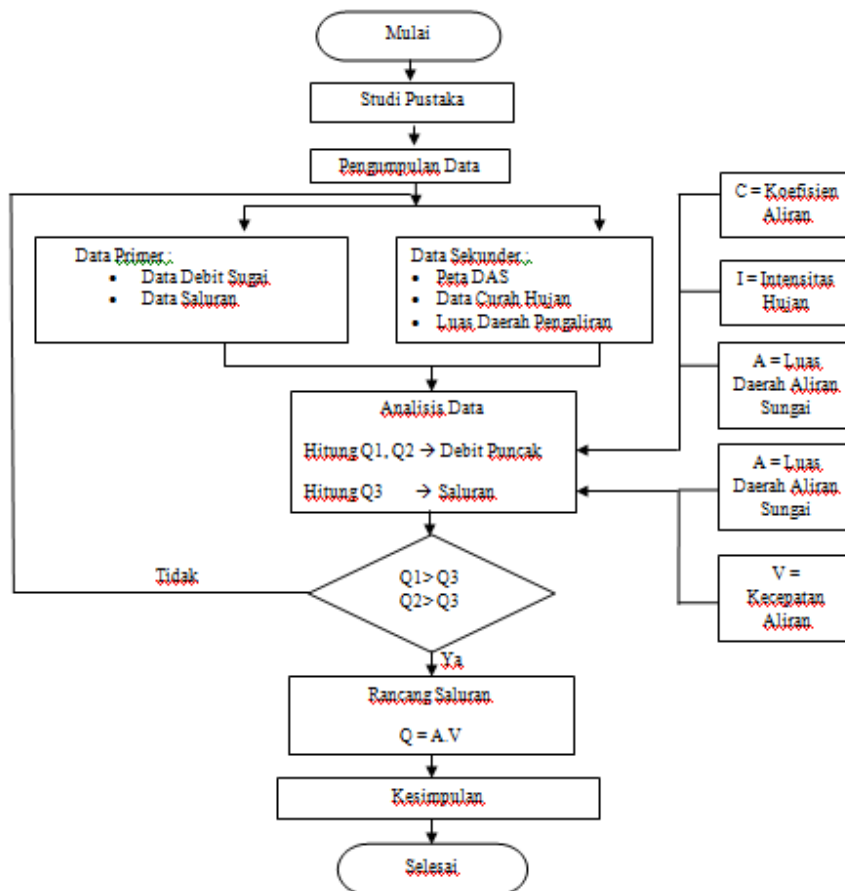
Lokasi penelitian Kajian Sistem Pengendali Banjir Kawasan Organda Kota Jayapura meliputi rencana saluran yang ada di Wilayah Distrik Heram.



Gambar 1. Peta wilayah lokasi studi

Diagram Alir Penelitian

Gambar 2 memperlihatkan diagram alir penelitian ini



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengkaji kapasitas hidrolis kondisi eksisting Kawasan Organda Kota Jayapura dan pada kondisi rencana sesuai dengan tahapan sebagai berikut :

Tahap Pengumpulan data

1. Pengumpulan data catchment area, tata guna lahan, peta topografi
2. Pengumpulan data hidroklimatologi seperti data iklim, data hujan
3. Studi literatur

Tahap Pengukuran

1. Pemetaan saluran skala 1 : 2000
2. Pengukuran profil memanjang dan melintang saluran skala H = 1 : 2000; V=1:200 dan profil melintang saluran skala H = 1 : 100, V = 1 : 100
3. Pengukuran bangunan, skala 1 : 500. Pengukuran profil melintang dan memanjang dilakukan 1 km ke arah hulu sungai dan 1 km ke arah hilir.

Tahap Analisis

1. Analisis hidrologi
2. Analisis hidrolika

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Analisa hidrologi dimaksudkan untuk menghitung hujan rencana, debit rencana, yang akan dipakai sebagai dasar perencanaan. Kala Ulang, ditentukan dan dipakai untuk perencanaan yang direncanakan.

Analisis Curah Hujan Rencana

Data curah hujan yang digunakan untuk Pekerjaan Pengendalian Banjir data Curah Hujan stasiun Meteologi kelas I Sentani. Adapun data curah hujan tersebut seperti terlihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Curah Hujan harian maksimum

Tahun	Bulan (mm)												maks	rata-rata
	Jan	Feb	Maret	Apr	Mei	Jun	juli	Agu	Sep	Okt	Nov	Des		
2008	53.50	47.60	27.40	46.80	61.00	83.50	28.20	15.50	60.80	45.00	15.50	41.00	83.50	43.82
2009	24.50	69.40	139.50	73.10	34.00	25.50	26.70	41.40	61.50	32.70	26.00	75.30	139.50	52.47
2010	89.50	69.10	82.20	40.80	47.30	25.50	44.30	70.80	17.60	34.10	64.50	84.20	89.50	55.83
2011	60.30	28.20	29.80	23.20	46.30	69.60	45.30	112.80	73.30	48.50	104.00	34.00	112.80	56.28
2012	30.90	108.30	58.30	35.10	44.00	35.70	22.00	17.90	60.80	50.60	40.80	17.80	108.30	43.52
2013	151.40	65.50	53.10	123.40	16.60	53.10	24.40	14.10	32.30	39.60	43.40	69.20	151.40	57.18
2014	85.90	59.90	24.00	66.00	30.50	36.30	25.30	60.00	65.40	52.70	65.40	52.70	85.90	52.01
2015	51.30	38.90	33.30	35.70	32.90	35.40	72.20	20.80	42.30	20.20	26.00	16.10	72.20	35.43
2016	32.60	36.50	42.50	23.90	15.40	38.60	42.00	28.70	64.10	27.40	25.20	48.70	64.10	35.47
2017	80.10	46.70	28.30	46.10	39.80	30.50	46.50	55.30	49.00	69.00	54.90	0.00	80.10	45.52
Rata-rata	66.00	57.01	51.84	51.41	36.78	43.37	37.69	43.73	52.71	41.98	46.57	43.90		
Maksimum	151.40	108.30	139.50	123.40	61.00	83.50	72.20	112.80	73.30	69.00	104.00	84.20		

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 2. Hasil Analisis Distribusi Frekuensi

Periode	Normal	Log Normal 2	Log Normal 3	Pearson	Log Pearson	Gumbel
2	105.5202	100.8303	104.0145	101.6710	100.4086	100.8740
3	119.5586	114.8316	118.2455	116.0365	116.6002	120.2763
5	132.9145	129.9530	132.3242	131.1010	134.7341	141.7923
10	147.2479	148.4032	148.0422	148.8586	157.7432	168.8837
25	162.5279	170.9653	165.5216	169.6904	187.1591	203.1138
Standar	10.2950-	9.6655-35.8807	11.1356-	11.5321-	11.8385-	9.5347-

Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil analisis distribusi curah hujan di atas metoda Normal memiliki standar deviasi paling kecil sehingga curah hujan rencana yang digunakan adalah metode Normal.

Analisis Kesesuaian Data

Tabel 3. Hasil Analisis Kesesuaian Data

No	Distribusi Probabilitas	Metode Chi-Kuadrat			Metode Smirnov-Kolmogorof			Keterangan
		X ² Terhitung g	X _g ²	Keterangan n	ΔP Maksimum	ΔPKritis	Keterangan	
1	Gumbel	4.636	3.841	Ditolak	0.989	0.396	Ditolak	Ditolak
2	Normal	1.727	3.841	Diterim	0.167	0.396	Diterima	Diterima
3	Log Normal	1.000	3.841	a	0.107	0.396	Diterima	Diterima
4	Log Pearson Type III	4.636	3.841	Diterim a Ditolak	0.079	0.396	Diterima	Ditolak

Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil analisis kesesuaian data curah hujan metoda Chi-kuadrat maupun Metoda Smirnov-Kolmogorov di atas metode Normal memenuhi syarat dan dapat diterima berdasarkan persyaratan, maka Curah hujan rencana yang digunakan adalah metoda Normal.

Analisis Debit Banjir Rencana

Untuk menentukan debit banjir rencana dilakukan analisis debit puncak banjir dengan beberapa metode yang berbeda seperti :

- 1) Metode Rasional
- 2) Metode Der Weduwen
- 3) Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Tabel 4. Hasil Analisis Debit Banjir Rencana

Periode Ulang (Tahun)	RTr (mm)	Debit Banjir			
		Nakayasu	Rasional	Wer Deduwen	Rata-rata
2	89.0365	77612.77	37284.01	111822.13	75572.97
5	103.8703	90543.34	43495.66	132362.95	88800.65
10	111.6317	97308.92	46745.75	143218.86	95757.84
25	119.9057	104521.34	50210.48	154866.46	103199.43

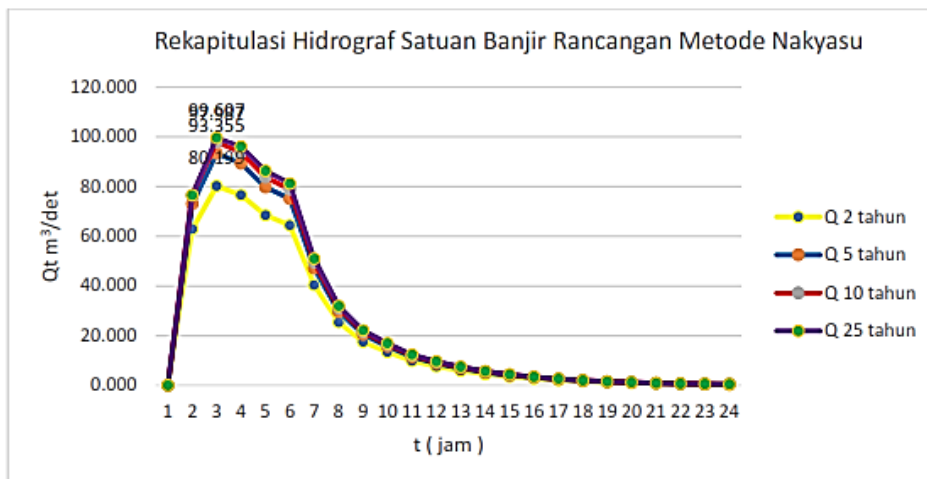
Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil debit banjir rencana yang mendekati adalah Metode Nakayasu, maka debit banjir rencana yang digunakan adalah Metode Nakayasu

Tabel 5. Hasil perhitungan hidrograf satuan banjir rencana Metode HSS Nakayasu

Waktu (t) Jam	Debit Periode Ulang (m ³ /det)			
	2	5	10	25
0	0.000	0.000	0.000	0.000
1	62.896	73.007	76.566	76.553
2	80.199	93.355	97.987	99.607
3	76.661	89.363	93.834	96.167
4	68.431	79.826	83.837	86.271
5	64.432	75.164	78.942	81.253
6	40.408	47.140	49.510	50.966
7	25.385	29.607	31.094	31.969
8	17.609	20.536	21.566	22.156
9	13.457	15.693	16.480	16.930
10	9.850	11.486	12.062	12.385
11	7.614	8.879	9.324	9.574
12	5.886	6.863	7.208	7.401
13	4.550	5.306	5.572	5.721
14	3.517	4.101	4.307	4.422
15	2.719	3.170	3.329	3.419
16	2.102	2.451	2.574	2.643
17	1.625	1.894	1.989	2.043
18	1.256	1.464	1.538	1.579
19	0.971	1.132	1.189	1.221
20	0.750	0.875	0.919	0.944
21	0.580	0.676	0.710	0.729
22	0.448	0.523	0.549	0.564
23	0.347	0.404	0.425	0.436
24	0.268	0.312	0.328	0.337

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 3. Rekapitulasi Hidrograf Satuan Banjir Rencana Metode Nakyasu

Analisis Hidrolika

Hidrolika sungai disini yang dimaksudkan adalah menghitung kapasitas saluran dan tinggi muka air sungai. Perhitungan tinggi muka air dilakukan pada kondisi saluran yang ada (existing) dan perhitungan tinggi muka air rencana. Analisis penampang eksisting untuk saluran di kawasan organda dilakukan menggunakan rumus Manning.

Tabel 6. Hasil perhitungan debit penampang eksisting dengan rumus manning

STA	A (m ²)	P (m)	R (m)	Koefisien manning (n)	Kemiringan (i)	V (m/s)	Debit penampang (m ³ /det)
1050	32.025	16.761	1.911	0.027	0.00054	1.330	42.598
1000	24.375	14.978	1.627	0.027	0.00089	1.528	37.241
950	23.608	14.094	1.675	0.027	0.00117	1.786	42.166
900	27.620	14.882	1.856	0.027	0.00085	1.628	44.962
850	35.292	19.207	1.838	0.027	0.00029	0.943	33.279
800	31.417	16.082	1.954	0.027	0.00060	1.418	44.542
750	27.620	14.882	1.856	0.027	0.00094	1.715	47.366
700	35.292	19.207	1.838	0.027	0.00032	0.991	34.969
650	31.407	16.080	1.953	0.027	0.00066	1.489	46.765
600	28.922	16.267	1.778	0.027	0.00061	1.344	38.861
550	27.213	15.810	1.721	0.027	0.00095	1.636	44.524
500	29.173	16.421	1.777	0.027	0.00086	1.593	46.478
450	27.437	14.693	1.867	0.027	0.00082	1.612	44.235
400	32.116	16.461	1.951	0.027	0.00053	1.331	42.757
350	30.973	16.264	1.904	0.027	0.00114	1.924	59.587
300	28.198	15.358	1.836	0.027	0.00125	1.965	55.410
250	27.342	14.655	1.866	0.027	0.00145	2.135	58.381
200	25.499	14.001	1.821	0.027	0.00223	2.606	66.452
150	25.452	14.208	1.791	0.027	0.00244	2.700	68.709
100	24.048	13.497	1.782	0.027	0.00226	2.585	62.176
50	22.644	14.246	1.589	0.027	0.00242	2.482	56.191
0	11.950	10.489	1.139	0.027	0.00854	3.734	44.625

Sumber : hasil perhitungan 2019

Setelah didapatkan debit Q untuk masing-masing penampang, maka kemudian Q penampang tersebut dibandingkan dengan debit Q rencana.

Tabel 7. Pemanding debit eksisting dan debit rencana

STA	Debit penampang (m ³ /det)	Debit banjir rencana				Keterangan
		Q 2 tahun	Q 5 tahun	Q 10 tahun	Q 25 tahun	
1050	42.598	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
1000	37.241	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
950	42.166	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
900	44.962	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
850	33.279	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
800	44.542	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
750	47.366	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
700	34.969	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
650	46.765	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
600	38.861	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
550	44.524	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
500	46.478	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
450	44.235	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
400	42.757	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
350	59.587	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
300	55.410	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
250	58.381	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
200	66.452	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
150	68.709	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
100	62.176	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
50	56.191	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas
0	44.625	80.199	93.355	97.987	99.607	Limpas

Sumber : hasil perhitungan

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa saluran dikawasan organda tidak dapat menampung debit banjir rencana .

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka diperoleh kesimpulan bahwa saluran eksisting yang terdapat di kawasan organa kota Jayapura tidak dapat menampung banjir rencana untuk semua periode ulang 2, 5, 20 dan 25 tahun.

Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan antara lain dibuat Long Storage sepanjang 1550 m, dibuat Folder dua buah masing-masing dengan dimensi (50 x 25 x 4) m³, dioperasikan pompa sebanyak 2 (dua) buah dengan kapasitas 2 m³/detik

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 2007. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Chow, Ven Te, 1955, *Open-Channel Hydraulics*, Erlangga, Jakarta
- Harto, 2000, *Hidrologi, Teori-Masalah-Penyelesaian*, Nafiri, Yogyakarta
- Kaimana, I Made. 2011. Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air., Graha Ilmu. Yogyakarta
- Kodoatie ,Robert J 2013, *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*, Penerbit Andi, Yogyakarta
- Kodoatie ,Robert. J 2012, *Tata Ruang Air Tanah* Penerbit Andi, Yogyakarta
- McGraw-Hill, 1999, *Hydraulic Design Handbook*, American Water Works Association, Florida
- Sasongko, Djoko. 1991, *Teknik Sumber Daya Air Jilid 2*. Erlangga, Jakarta.
- Soemarto CD., 1995, *Hidrologi Teknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*. Nova. Bandung.
- Sosrodarsono Suyono dan Tominaga Masateru. 1985. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, Takeda. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Penerbit Pradya Paramita.
- Sturm, Terry W., 2010, *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill International Edition, New York.

ANALISIS HUBUNGAN DATA HUJAN SATELIT DENGAN HUJAN TERUKUR ARR KALIBAWANG

Jody Martin Ginting¹, Joko Sujono², dan Rachmad Jayadi²

¹Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Email: jody199@hotmail.com

²Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Email: jsujono@ugm.ac.id dan rjayadi@ugm.ac.id

ABSTRAK

Data hujan terukur diperlukan dalam melakukan analisis transformasi hujan aliran, namun di lapangan sering sekali data hujan terukur tidak tercatat karena berbagai kendala. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menggantikan data hujan terukur adalah dengan menggunakan data hujan satelit. Data hujan satelit dapat digunakan jika data hujan tersebut dapat dibuktikan hubungannya mendekati data hujan terukur. Data hujan yang akan dianalisis hubungannya adalah data hujan jam-jaman lebih dari 50 mm dalam sehari pada tahun 2016 dan 2017, sedangkan data hujan satelit yang digunakan adalah satelit hujan PERSIANN dan GPM. Pengujian ini bertujuan untuk mencari korelasi antara data hujan satelit dengan data hujan terukur (ARR). Keakuratan data hujan satelit terhadap hujan terukur dicari dengan menggunakan metode *Correlation Coefficient* (r). Satelit hujan GPM memiliki korelasi total kedalaman hujan dengan $r = 0,31$ dan lama hujan dengan $r = 0,70$ yang lebih tinggi dibandingkan satelit PERSIANN, sedangkan, pada intensitas hujan maksimum, data satelit PERSIANN memiliki korelasi dengan $r = 0,28$ yang lebih tinggi dibandingkan satelit GPM. Keakuratan data *lag* 5 jam hujan satelit GPM lebih tinggi dibandingkan satelit PERSIANN dengan $r = 0,341$. Dengan demikian, satelit GPM lebih dapat diandalkan dibandingkan satelit PERSIANN untuk mitigasi resiko bencana banjir.

Kata kunci: hujan, banjir, satelit, PERSIANN, GPM

PENDAHULUAN

Banjir adalah ancaman musiman yang terjadi apabila air yang ada di sungai yang ada meluap dan melimpah keluar sungai serta menggenangi daerah di sekitarnya. Setiap tahun terjadi kejadian banjir di Yogyakarta yang tentunya sangat merugikan bagi penduduk. Menurut Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Propinsi Yogyakarta (Purnomo, Edi. 2019), banjir banyak terjadi akibat meluapnya sungai-sungai besar yang ada di Yogyakarta. Hal ini terjadi karena hujan lebat di Propinsi DI Yogyakarta. Curah hujan yang sangat tinggi meningkatkan debit air yang ada di sungai sehingga sungai tidak mampu lagi menahan besarnya debit.

Penanganan dan perencanaan dapat dilakukan dengan berbagai upaya untuk mengantisipasi dan meminimalkan kerugian yang diakibatkan oleh banjir. Salah satu upaya yang dapat dilakukan, yaitu dengan memprediksi seberapa besar debit yang akan terjadi jika hujan lebat serta durasi hujan terjadi pada suatu waktu tertentu. Untuk memprediksi debit yang akan terjadi, maka dilakukan analisis debit banjir pada daerah tersebut berdasarkan data debit terukur di lokasi yang ditinjau.

Pada umumnya, data data debit tidak tersedia sehingga perlu transformasi data hujan menjadi data debit. Untuk proses transformasi hujan-aliran diperlukan transformasi hujan yang akurat yang dapat diperoleh dari ARR. Namun demikian, terkadang data hujan dari ARR tidak tersedia. Tentunya diperlukan solusi untuk dapat menyikapi kendala ini dan salah satu solusinya yaitu dengan menggunakan data hujan satelit.

Data hujan satelit dapat digunakan jika hasil data hujan sesuai dengan yang terjadi di lapangan. Adanya pe-ngujian kesesuaian data hujan satelit dan yang terukur di lapangan sangat diperlukan

untuk mengukur seberapa akurat data hujan satelit yang diperoleh. Dalam penelitian ini, pengujian tersebut akan dilakukan dengan membandingkan data hujan terukur dan data hujan satelit. Pengujian ini diharapkan dapat mencari korelasi antara data hujan satelit dengan yang ada di lapangan sehingga nantinya data hujan satelit tersebut dapat digunakan untuk mengisi kekurangan data hujan terukur di lapangan.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah meninjau keakuratan data hujan satelit dalam penggunaannya dan mengetahui korelasi data hujan permukaan dan data hujan satelit untuk mitigasi resiko banjir. Penelitian diharapkan dapat bermanfaat untuk menganalisis debit banjir dengan menggunakan data hujan satelit. Hal ini diperlukan sebagai solusi dari banyaknya data hujan permukaan yang hilang.

Data Hujan Terukur

Hujan merupakan hidrometeor yang jatuh berupa partikel-partikel air yang mempunyai diameter 0,5 mm atau lebih. Hidrometeor yang jatuh ke tanah disebut hujan, sedangkan yang tidak sampai tanah disebut Virga (Tjasyono, 1999). Partikel-partikel air yang jatuh ke tanah ini dapat diukur dengan mengukur tinggi hujan berdasarkan volume air hujan per satuan luas. Hasil pengukuran ini disebut dengan curah hujan. Data curah hujan terukur di lapangan jarang memenuhi parameter yang dibutuhkan untuk analisis karakteristik curah hujan. Biasanya hal ini dapat terjadi akibat variasi spasial yang ada pada suatu daerah yang besar. Satelit hujan pun diharapkan dapat memenuhi semua informasi yang diperlukan untuk analisis karakteristik hujan yang lebih tepat.

Data Hujan Satelit

Data hujan satelit merupakan pencatatan hujan yang dilakukan oleh satelit berdasarkan klasifikasi awan yang berpotensi menjadi hujan (presipitasi) dan menurunkannya menjadi curah hujan (Vernimmen et al., 2012). Menurut Vernimmen et al. (2012), kelebihan dari perkiraan data hujan yang diperoleh dari satelit adalah dalam hal akurasi, cakupan spasial, ketepatan waktu, dan efisiensi biaya dalam pengukuran kedalaman hujan jika dibandingkan data hujan permukaan. Kelebihan ini tentunya lebih menguntungkan untuk daerah-daerah di Indonesia yang memiliki peta kontur dan cakupan spasial yang berbeda-beda setiap pulau.

Satelit yang dapat digunakan dalam melakukan pengukuran curah hujan adalah *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Neural Network (PERSIANN)*. Satelit PERSIANN (Hsu et al., 2002) menggunakan data satelit inframerah (IR) dari satelit geosinkron global sebagai sumber utama informasi curah hujan. Menurut Hsu et al. (2002), Satelit PERSIANN dirancang untuk dapat mengekstrak dan menggabungkan informasi dari data berbagai jenis termasuk, misalnya, inframerah dan citra satelit microwave, alat pengukur hujan dan data radar berbasis-tanah, dan informasi topografi permukaan-tanah. Data PERSIANN telah digunakan dalam berbagai penelitian termasuk pemodelan hidrologi, pemantauan kekeringan, analisis kelembaban tanah, dan analisis banjir. Menurut Nguyen et al. (2018), satelit PERSIANN memiliki 3 jenis produk yang memiliki resolusi daerah tangkapan berbeda-beda. Ketiga produk itu adalah PERSIANN (0,25°x0,25°), PERSIANN-CCS (0,04°x0,04°) dan PERSIANN-CDR (0,25°x0,25°).

Satelit hujan lainnya selain PERSIANN adalah *Global Precipitation Measurement* atau GPM. Satelit ini menggunakan sensor yang mirip dengan yang digunakan satelit PERSIANN hanya saja memiliki resolusi yang lebih rendah dari PERSIANN, yaitu 10 km x 10 km atau 0,1° x 0,1°. Pada penelitian Zhang et al. (2018), satelit GPM dan satelit PERSIANN merupakan satelit yang cocok digunakan pada area yang memiliki daratan pegunungan dan tidak rata karena memiliki teknologi yang termasuk paling baru dari satelit lainnya serta ketelitiannya yang sangat tinggi dibandingkan dengan satelit lainnya. Selain itu juga, kedua satelit ini memiliki sensor yang lebih sensitif untuk menampilkan data hujan yang terjadi pada suatu wilayah (Zhang et al., 2018).

Hubungan Hujan Satelit dengan Hujan Terukur (*Ground*)

Pada penelitian Pratiwi (2016), hubungan antara hujan satelit dengan hujan terukur dapat dicari dengan menggunakan metode *cross correlation*. Penelitian tersebut menganalisis setiap data hujan

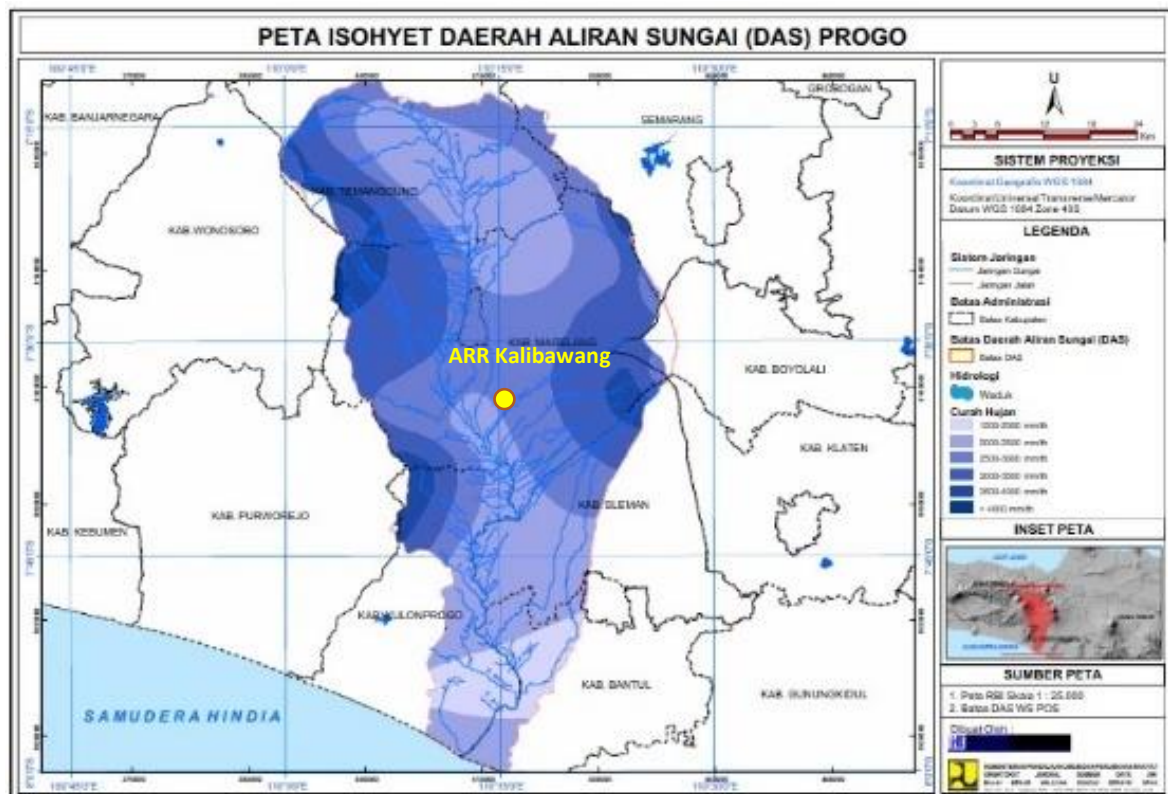
terukur dan hujan satelit untuk mencari waktu *lag* paling efektif digunakan untuk mengoreksi data hujan satelit. Penggunaan metode *lag* dilakukan karena tentu adanya perbedaan waktu pada pembacaan hujan satelit dimana data hujan satelit lebih dulu terbaca dibandingkan hujan permukaan karena satelit berada di ketinggian tertentu di atas permukaan. Hujan yang terbaca di satelit bisa saja mengalami berbagai hambatan sebelum jatuh ke tanah.

Metode korelasi dengan *lag time* merupakan metode yang paling sederhana dan paling umum digunakan pada setiap bidang penelitian sains. Menurut Runge et al. (2014), metode ini adalah langkah pertama untuk mendapatkan suatu wawasan dari mekanisme interaksi yang memungkinkan antara perbedaan dari beberapa proses yang ingin diteliti. Penggunaan *lag time* pernah digunakan oleh Estiningtyas (2007) untuk menentukan pengaruh tenggang waktu (*lag time*) antara curah hujan dengan suhu permukaan laut nino 3.4 terhadap performa model prediksi hujan. Hasilnya, beberapa parameter memiliki nilai validasi yang tinggi dengan menggunakan skenario *lag time* 0, 1 dan 2 bulan untuk Jawa Tengah yang sebagian besar memberikan pengaruh positif terhadap performa model prediksi hujan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data hujan yang telah tercatat pada stasiun ARR Kalibawang pada bagian hilir DAS Progo yang mengalir di Yogyakarta. Secara astronomis stasiun tersebut terletak antara $7^{\circ} 39' 42,624''$ LS dan $110^{\circ} 15' 50,292''$ BT. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada letaknya yang dekat dan memiliki resiko banjir yang bisa berdampak pemukiman di sekitarnya sekaligus pengukuran hujan permukaan yang dapat dibandingkan dengan hujan satelitnya. Pemilihan lokasi juga dilakukan berdasarkan kelengkapan data yang ada pada lokasi tersebut seperti data hujan terukur dan data hujan satelitnya. Peta lokasi penelitian diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak D.I. Yogyakarta seperti dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta DAS Progo

Data Hujan Terukur

Data hujan permukaan yang digunakan adalah data hujan yang terjadi pada saat data hujan di ARR Kalibawang DAS Progo yang masuk dalam kategori hujan lebat atau lebih dari 50 mm per hari. Data hujan yang digunakan dalam bentuk jam-jaman diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak D.I. Yogyakarta untuk tahun 2016 dan 2017.

Data Hujan Satelit

Data hujan satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hujan satelit PERSIANN dan GPM. Kedua satelit ini memiliki ketelitian yang sangat tinggi dibandingkan dengan satelit hujan lainnya. Ketelitian satelit PERSIANN memiliki resolusi daerah tangkapan sebesar $0,04^\circ \times 0,04^\circ$ atau 4 km x 4 km, sedangkan GPM dengan ketelitian $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ atau 10 km x 10 km. Selain itu, kelengkapan data yang dimiliki kedua satelit menjadi pertimbangan dalam pemilihan kedua satelit.

Ketersediaan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini tersedia pada beberapa dinas dan *website* resmi satelit yang mengumpulkan data hujan. Beberapa data dan sumbernya dapat dilihat sebagai berikut.

- Peta DAS Progo diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak D.I. Yogyakarta.
- Data hujan jam-jaman terukur > 50 mm perhari (hujan lebat) di ARR Kalibawang DAS Progo pada tahun 2016 dan 2017 diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak D.I. Yogyakarta.(Tabel 1)
- Data hujan satelit PERSIANN diperoleh dari *website* <http://chrsdata.eng.uci.edu>. Data hujan PERSIANN yang digunakan pada penelitian ini adalah data hujan PERSIANN-CCS dimana data hujan ini memiliki keakuratan data resolusi tangkapan tertinggi dari data hujan PERSIANN lainnya, yaitu PERSIANN dan PERSIANN-CDR (Nguyen et al. 2018).
- Data hujan satelit GPM dari *website* <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/>. Data hujan GPM yang digunakan pada penelitian ini adalah data hujan GPM IMERG V.05 yang memiliki data setengah jaman yang kemudian diubah menjadi data jam-jaman. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan data satelit GPM dengan data hujan terukur dan satelit PERSIANN yang memiliki data hujan jam-jaman.

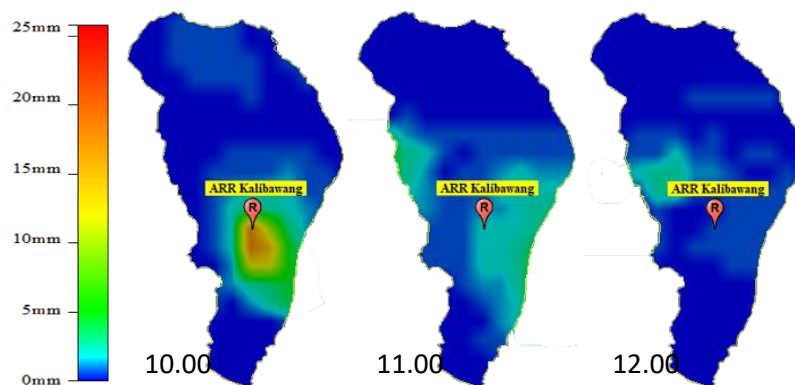
Tabel 1. Data Hujan Terukur

Tanggal	P terukur (mm)	Tanggal	P terukur (mm)	Tanggal	P terukur (mm)	Tanggal	P terukur (mm)
09-Jan-16	81,4	06-Jun-16	94,6	09-Okt-16	68,5	25-Feb-17	90,6
28-Feb-16	55,4	18-Jun-16	96,1	09-Nov-16	58,7	06-Apr-17	54,2
08-Mar-16	59,9	22-Jul-16	96,1	13-Nov-16	69,9	19-Apr-17	77,8
25-Mar-16	86,9	19-Sep-16	76,5	28-Nov-16	60,2	23-Apr-17	56,0
27-Mar-16	94,1	20-Sep-16	69,4	29-Nov-16	57,1	01-Mei-17	60,0
28-Mar-16	83,4	24-Sep-16	79,0	30-Nov-16	64,7	17-Okt-17	73,2
02-Apr-16	84,2	25-Sep-16	55,9	14-Jan-17	63,4	28-Nov-17	94,0
22-Mei-16	50,8	02-Okt-16	58,6	14-Feb-17	79,8	29-Nov-17	59,6

METODOLOGI

Pengolahan Data Hujan Satelit

Pada data hujan satelit, data tersedia dalam bentuk citra satelit atau gambar dengan persebaran hujan pada DAS Progo. Pengambilan data dilakukan dengan membuka *website* setiap satelit, kemudian memasukkan variable-variabel yang dibutuhkan. Variabel tersebut adalah tanggal kejadian hujan, koordinat lokasi dan DAS Progo, jenis data yang dibutuhkan, misalnya data hujan, dan jenis *extention file* yang mendukung data agar dapat di-tampilkan dalam *software*. Dalam penelitian ini, *software* yang digunakan untuk menampilkan data citra satelit hujan adalah *Global Mapper v.20*. *Extention file* yang didukung *Global Mapper* serta digunakan untuk menampilkan citra satelit PERSIANN adalah ASC II ".asc". Sedangkan untuk satelit GPM adalah NetCDF ".nc". *Extention file* inilah yang diinput pada masing-masing *website* pada setiap satelit. Contoh citra satelit PERSIANN yang diambil pada kejadian hujan 1 Mei 2017 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Data Hujan Satelit PERSIANN 01 Mei 2017

Gambar 2 di atas memperlihatkan perbedaan kedalaman hujan yang ditandai dengan warna yang berbeda pada setiap jamnya. Selain itu, cara lain untuk melihat kedalaman hujan dapat dilakukan dengan mengarahkan kursor ke arah titik lokasi hujan misal ARR Kalibawang, kemudian secara otomatis akan terlihat kedalaman hujan secara lebih detail dibandingkan dengan menggunakan skala warna tersebut. Data kedalaman tersebut direkap ke dalam *Software excel* sebagai data hujan satelit. Metode yang sama digunakan pula pada satelit GPM.

Analisis Data Hujan

Pada penelitian ini, data hujan terukur dibandingkan dengan data hujan satelit. Setiap data hujan terukur dan satelit terlebih dahulu ditinjau awal terjadi hujannya, lama hujannya, kedalaman hujan totalnya dan intensitas hujan maksimum. Peninjauan tersebut dilakukan hanya pada terjadinya hujan tanpa ada pengaruh perbedaan waktu antara kejadian hujan satelit dan kejadian hujan terukur terlebih dahulu.

Hasil dari peninjauan setiap data hujan kemudian dicari hubungannya antara hujan satelit terhadap hujan terukur. Hubungan dari setiap data hujan yang dicari adalah hubungan **data kedalaman hujan total** atau **P total**, hubungan **data lama hujan** dan hubungan **data intensitas hujan maksimum**. Setelah hubungan diperoleh, maka dapat dicari persamaan korelasi dari setiap hubungan data hujannya dan nilai R^2 atau koefisien korelasi (r).

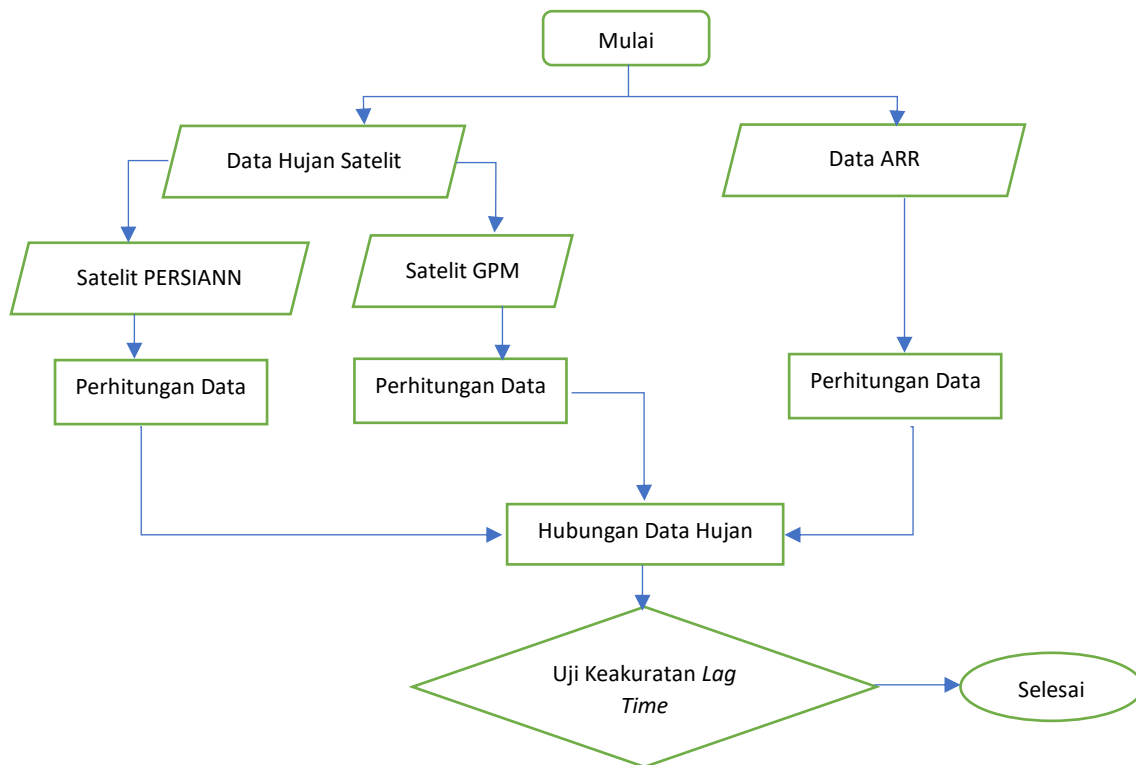
Lag Time antara Hujan Terukur dengan Hujan Terukur

Analisis data hujan dengan menggunakan metode *lag time* atau waktu tunda dilakukan untuk mencari seberapa lama selang waktu data hujan yang tercatat pada satelit terhadap data hujan terukur. Pada analisis ini dilakukan perhitungan *lag time* mulai dari *lag 0* jam atau sama dengan jam awal terjadinya hujan terukur sampai *lag 6* jam atau 6 jam sebelum awal hujan pada data hujan terukur. Setiap *Lag* dibandingkan terhadap data hujan terukur dan dicari koefisien korelasinya dengan menggunakan formula *Correl* dari *Software Excel*. Dari seluruh koefisien korelasi dipilih

yang terbesar kemudian dicari persamaan korelasi antara data hujan satelitnya terhadap data hujan terukur.

Diagram Alir Penelitian

Tahap penelitian dan diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Data Kejadian Hujan

Tabel 2. Rekapitulasi Data Hujan Terukur

Tanggal	Awal hujan (jam)	Lama hujan (jam)	P (mm)	Intensitas maks (mm/jam)	Tanggal	Awal hujan (jam)	Lama hujan (jam)	P (mm)	Intensitas maks (mm/jam)
09-Jan-16	14.00	2	81,4	46,0	09-Okt-16	14.00	6	68,5	34,1
28-Feb-16	14.00	5	55,4	27,0	09-Nov-16	14.00	8	58,7	17,8
08-Mar-16	15.00	7	59,9	39,5	13-Nov-16	07.00	11	70,0	38,8
25-Mar-16	16.00	6	87,0	41,3	28-Nov-16	16.00	8	60,2	40,9
27-Mar-16	14.00	3	94,1	47,1	29-Nov-16	15.00	9	57,1	18,4
28-Mar-16	10.00	7	83,4	28,3	30-Nov-16	16.00	8	64,7	41,2
02-Apr-16	18.00	3	84,2	38,0	14-Jan-17	15.00	9	63,4	16,3
22-Mei-16	05.00	3	50,8	30,7	14-Feb-17	16.00	8	79,8	42,1

06-Jun-16	13.00	6	94,6	37,9	25-Feb-17	16.00	8	90,6	41,7
18-Jun-16	14.00	10	96,1	37,7	06-Apr-17	14.00	8	54,2	15,6
22-Jul-16	16.00	4	96,1	32,5	19-Apr-17	13.00	5	77,8	44,6
19-Sep-16	18.00	5	76,5	34,0	23-Apr-17	14.00	3	56,0	27,3
20-Sep-16	17.00	7	69,4	37,2	01-Mei-17	15.00	3	60,0	35,7
24-Sep-16	13.00	11	79,0	38,9	17-Okt-17	00.00	8	76,2	40,9
25-Sep-16	14.00	5	55,9	36,2	28-Nov-17	06.00	18	94,0	14,2
02-Okt-16	13.00	11	58,7	37,2	29-Nov-17	00.00	12	59,6	13,9

Setiap analisis kejadian hujan dibandingkan antara hujan terukur dengan data hujan satelit PERSIANN dan GPM. Pada analisis awal ini, dilakukan hanya pada kejadian hujannya saja tanpa memperhitungkan waktu tunda atau *lag* time antara data hujan satelit dan data hujan terukur. Data Hujan terukur yang telah dianalisis dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Rekapitulasi Data Hujan Satelit PERSIANN

Tanggal	Awal hujan (jam)	Lama hujan (jam)	P (mm)	Intensitas maks (mm/jam)	Tanggal	Awal hujan (jam)	Lama hujan (jam)	P (mm)	Intensitas maks (mm/jam)
09-Jan-16	09.00	4	12,5	8,0	09-Okt-16	07.00	6	57,8	26,0
28-Feb-16	14.00	6	13,9	4,9	09-Nov-16	07.00	6	29,3	12,0
08-Mar-16	15.00	7	25,4	10,3	13-Nov-16	07.00	6	57,4	25,7
25-Mar-16	16.00	6	104,0	73,6	28-Nov-16	09.00	7	102,2	30,0
27-Mar-16	14.00	7	12,9	4,2	29-Nov-16	06.00	12	42,7	11,4
28-Mar-16	10.00	5	28,9	7,1	30-Nov-16	09.00	6	63,0	47,1
02-Apr-16	10.00	5	44,2	37,1	14-Jan-17	10.00	5	7,1	2,8
22-Mei-16	09.00	3	7,7	3,6	14-Feb-17	08.00	7	24,2	5,0
06-Jun-16	07.00	4	14,0	10,0	25-Feb-17	08.00	9	42,9	16,0
18-Jun-16	14.00	6	49,8	30,0	06-Apr-17	06.00	7	23,0	9,9
22-Jul-16	11.00	2	19,6	14,5	19-Apr-17	07.00	4	16,9	8,0
19-Sep-16	18.00	7	26,7	18,6	23-Apr-17	06.00	10	43,5	11,8
20-Sep-16	10.00	8	74,9	30,2	01-Mei-17	09.00	3	30,7	26,7
24-Sep-16	06.00	7	21,4	6,9	17-Okt-17	09.00	3	11,8	9,8
25-Sep-16	07.00	10	37,6	12,9	28-Nov-17	01.00	20	128,9	20,0
02-Okt-16	06.00	8	63,5	20,0	29-Nov-17	11.00	6	20,3	6,0

Kejadian data hujan terukur rata-rata terjadi pada siang hari, yaitu dengan awal hujan terjadi pada **pukul 13.00** serta lama hujan **7 jam**. P rata-rata hujan terukur sebesar **72,29 mm** dengan intensitas hujan maksimum rata-rata adalah **33,54 mm/jam**. Peninjauan data kemudian dilanjutkan pada

peninjauan data hujan satelit PERSIANN dengan rekapitulasi data hujan dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil analisis data hujan satelit PERSIANN menunjukkan rata-rata awal terjadi hujan pada pukul **09.00** dengan rata-rata lama hujan **7 jam**, sedangkan rata-rata P total hujan sebesar **39,34 mm** dengan intensitas hujan maksimum rata-rata adalah **17,5 mm/jam**. Perhitungan data hujan GPM dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Data Hujan Satelit GPM

Tanggal	Awal hujan (jam)	Lama hujan (jam)	P (mm)	Intensitas maks (mm/jam)	Tanggal	Awal hujan (jam)	Lama hujan (jam)	P (mm)	Hujan maks (mm/jam)
09-Jan-16	08.00	6	8,3	2,3	09-Okt-16	04.00	19	59,2	13,6
28-Feb-16	08.00	6	24,8	5,5	09-Nov-16	07.00	8	68,1	15,7
08-Mar-16	03.00	14	40,9	7,6	13-Nov-16	01.00	13	29,3	10,5
25-Mar-16	07.00	12	32,9	11,8	28-Nov-16	04.00	16	36,6	7,5
27-Mar-16	07.00	7	22,8	6,1	29-Nov-16	07.00	12	69,1	17,2
28-Mar-16	07.00	14	52,4	20,1	30-Nov-16	03.00	17	46,6	9,6
02-Apr-16	10.00	6	5,5	3,0	14-Jan-17	09.00	13	52,1	23,2
22-Mei-16	08.00	7	3,3	1,0	14-Feb-17	08.00	13	47,4	11,9
06-Jun-16	07.00	6	15,9	5,2	25-Feb-17	09.00	9	94,1	35,0
18-Jun-16	07.00	12	136,8	32,3	06-Apr-17	06.00	8	34,3	8,8
22-Jul-16	10.00	4	56,9	19,9	19-Apr-17	04.00	10	94,1	35,0
19-Sep-16	07.00	10	24,2	5,7	23-Apr-17	05.00	10	31,0	7,9
20-Sep-16	10.00	9	83,7	20,9	01-Mei-17	08.00	3	10,9	8,1
24-Sep-16	02.00	16	205,2	84,5	17-Okt-17	09.00	2	3,2	2,7
25-Sep-16	04.00	10	23,3	4,9	28-Nov-17	00.00	24	172,2	18,8
02-Okt-16	04.00	20	86,0	14,5	29-Nov-17	05.00	13	29,8	5,9

Pada perhitungan data hujan satelit GPM, rata-rata awal hujan terjadi pada pukul **06.00** dengan lama hujan **11 jam**. Sedangkan, rata-rata P total hujan satelit GPM adalah sebesar **53,15 mm** dengan intensitas hujan maksimum rata-rata adalah **14,89 mm/jam**. Seluruh perhitungan data hujan dihubungkan dengan data hujan terukur.

Data hujan terukur dianggap sebagai acuan ketelitian dari data hujan satelit. Setiap data hujan satelit diteliti seberapa besar korelasinya dengan melihat R^2 pada *trendline* grafik hubungan hujan satelit terhadap hujan terukur. Korelasi dicari dengan menggunakan jenis *trendline* linear atau dengan formula *Correl*.

Hubungan Data Total Hujan Satelit terhadap Total Hujan Terukur

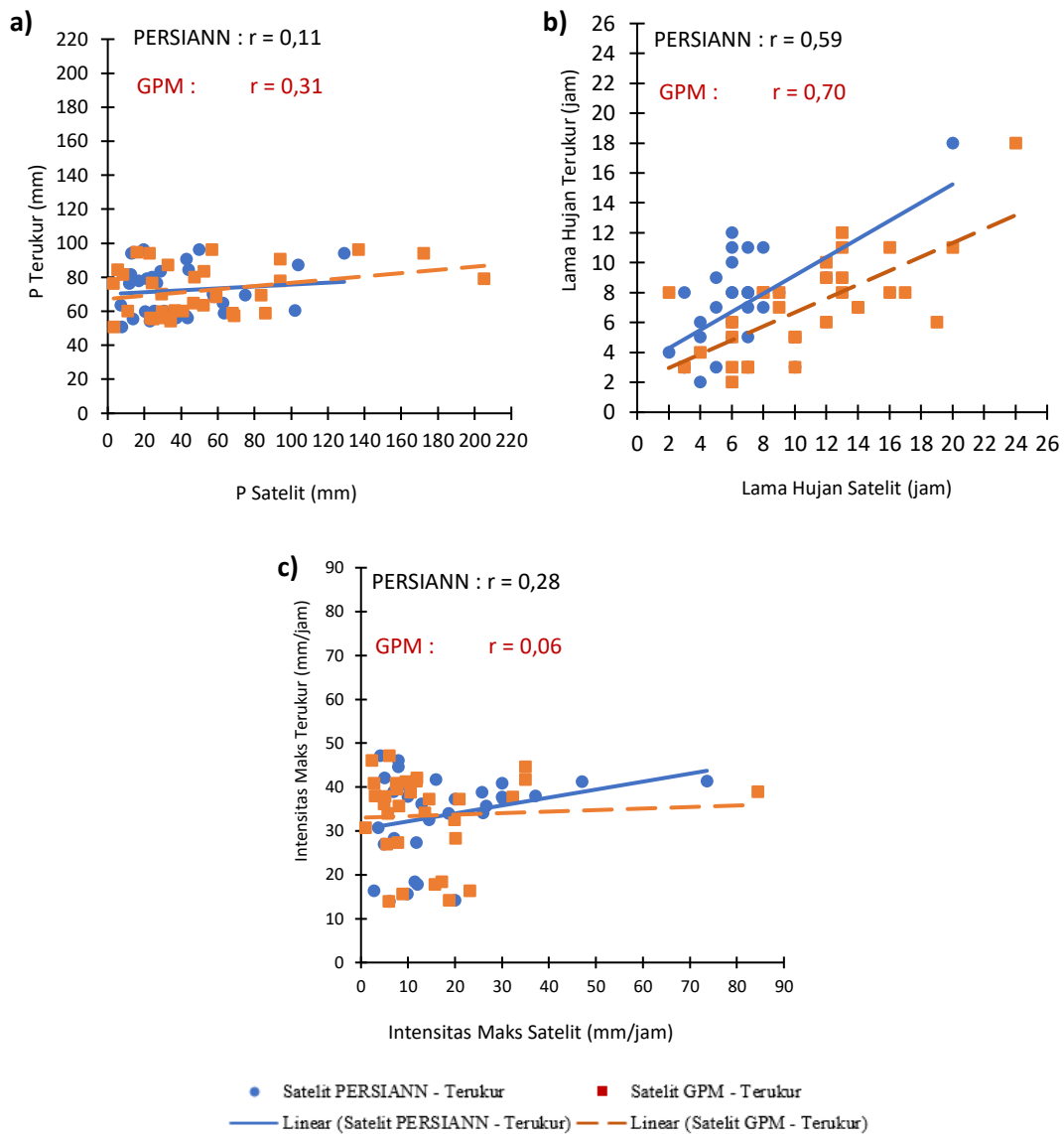
Gambar 3a menunjukkan bahwa korelasi data P total hujan GPM memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan data hujan PERSIANN. Hal itu dilihat dari nilai r GPM sebesar atau **0,31** yang menunjukkan hubungan tetap ada tapi rendah (Sarwono, 2006), sedangkan PERSIANN memiliki r sebesar **0,11**.

Hubungan Data Lama Hujan Satelit terhadap Lama Hujan Terukur

Pada Gambar 3b, korelasi yang lebih tinggi terlihat pada satelit GPM terhadap data hujan terukur jika menggunakan persamaan linear. Nilai korelasi yang diperlihatkan oleh GPM adalah $r = 0,70$ dibandingkan dengan nilai korelasi PERSIANN $r = 0,59$. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan yang tinggi (Sarwono, 2006) antara data lama hujan satelit GPM dengan data lama hujan satelit PERSIANN.

Hubungan Data Intensitas Hujan Maksimum Satelit terhadap Intensitas Hujan Maksimum Terukur

Jika pada perhitungan korelasi sebelumnya seluruh ketelitian yang lebih tinggi diperlihatkan dari perhitungan nilai r yang dimiliki oleh satelit GPM. Pada perhitungan hubungan data intensitas hujan maksimum antara satelit dengan data intensitas hujan maksimum terukur, nilai r yang dimiliki oleh satelit PERSIANN adalah $0,28$ lebih besar dari satelit GPM dengan nilai $r = 0,06$. Menurut Sarwono, 2006, nilai r tersebut termasuk dalam kategori adanya hubungan tetapi rendah. Hubungan data intensitas hujan maksimum satelit terhadap terukur dapat dilihat pada Gambar 3c.



Gambar 4. Hubungan Data Hujan Satelit terhadap Terukur

Seluruh perhitungan hubungan data hujan satelit tersebut dapat menyimpulkan bahwa korelasi setiap hubungan data memiliki hasil yang berbeda-beda. Dimana satelit GPM memiliki korelasi yang lebih tinggi dibandingkan satelit PERSIANN pada data **P total** dan **lama hujan**, sedangkan, pada **intensitas hujan maksimum**, data satelit PERSIANN memiliki korelasi yang lebih tinggi terhadap data terukur dibandingkan dengan data intensitas hujan maksimum satelit GPM.

Lag Time Data Hujan Terukur dengan Data Hujan Satelit

Data hujan yang dibandingkan pada analisis ini adalah data P total atau total kedalaman hujan. P total pada hujan satelit sampai pada lag 6 jam dijumlahkan hingga jam akhir hujan pada data hujan terukur. Korelasi data hujan dihitung dengan membandingkan data hujan mulai dari lag 0 jam sampai lag 6 jam terhadap hujan terukur di lapangan. Perhitungan korelasi data P total satelit PERSIANN terhadap data P total terukur dapat dilihat pada Tabel 5.

Pada perhitungan analisis korelasi dengan koefisien korelasi r pada Tabel 5, hubungan satelit PERSIANN menunjukkan bahwa korelasi tertinggi terjadi pada lag jam ke-1 memiliki nilai r sebesar **0,211**. Koefisien korelasi r ini termasuk dalam kategori "hubungan ada tetapi rendah" (Sarwono, 2006). Kemudian, data kedalaman hujan total satelit PERSIANN diplot ke dalam grafik sehingga diperoleh *trendline* dari data tersebut. *Trendline* dan persamaan korelasi dapat dilihat pada Gambar 4a.

Tabel 5. Hubungan Data P Total Terukur dengan Satelit PERSIANN sesuai Waktu Lag

Tanggal	P (mm)	Lag (jam)							
		0	1	2	3	4	5	6	
09-Jan-16	81,4	0,0	0,0	1,0	3,5	11,5	12,5	12,5	
28-Feb-16	55,4	0,8	0,8	0,8	2,8	4,8	4,8	8,8	
08-Mar-16	59,9	0,0	1,0	2,0	4,0	6,0	7,0	15,1	
25-Mar-16	87,0	0,0	0,0	1,0	6,0	14,1	21,1	24,9	
27-Mar-16	94,1	0,9	1,9	2,0	3,0	6,9	11,0	12,9	
28-Mar-16	83,4	17,7	24,8	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6	
02-Apr-16	84,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	4,0	7,0	
22-Mei-16	50,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
06-Jun-16	94,6	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	4,0	14,0	
18-Jun-16	96,1	4,1	8,1	17,0	47,0	51,8	51,8	51,8	
22-Jul-16	96,1	0,0	0,0	0,0	0,0	14,5	19,6	19,6	
19-Sep-16	76,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	5,9	
20-Sep-16	69,4	13,4	22,4	32,4	36,3	36,4	36,5	44,7	
24-Sep-16	79,0	0,1	1,0	5,0	11,9	15,0	15,1	15,2	
25-Sep-16	55,9	1,0	2,0	5,0	17,9	23,9	26,8	28,7	
02-Okt-16	58,7	1,0	6,0	12,0	23,9	43,9	48,0	49,0	
09-Okt-16	68,5	6,0	6,0	10,9	21,9	47,9	62,9	63,8	
09-Nov-16	58,7	0,0	0,0	0,0	3,1	9,2	16,3	28,3	

13-Nov-16	70,0	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,4	63,5
28-Nov-16	60,2	0,0	1,0	5,0	11,1	24,1	54,1	74,2
29-Nov-16	57,1	5,9	7,9	10,9	14,0	15,0	22,0	26,1
30-Nov-16	64,7	0,0	0,0	1,0	1,2	14,9	62,0	63,0
14-Jan-17	63,4	1,0	1,9	4,8	6,8	8,1	8,1	8,1
14-Feb-17	79,8	0,0	0,0	1,1	3,1	7,2	10,2	15,2
25-Feb-17	90,6	0,0	0,0	1,0	1,0	2,0	7,1	18,0
06-Apr-17	54,2	3,0	3,0	4,0	6,0	7,0	8,0	9,1
19-Apr-17	77,8	0,0	0,0	0,0	4,0	12,0	16,0	16,9
23-Apr-17	56,0	8,0	9,0	15,0	26,8	31,8	41,6	42,6
01-Mei-17	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	4,0	30,7
17-Okt-17	76,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28-Nov-17	94,0	94,9	107,9	113,0	117,0	122,0	128,9	128,9
29-Nov-17	59,6	3,3	3,6	3,3	3,3	9,2	4,3	11,4
Koefisien korelasi r	0.201	0,211	0,207	0,207	0,193	0,130	0,087	

Pada Tabel 5 terlihat juga bahwa data hujan satelit yang sudah dipengaruhi waktu *lag* memiliki perbedaan P total terhadap data hujan yang digunakan pada P total sebelumnya walaupun sudah pada *lag* jam yang ke-6. Hal ini dapat terjadi karena kejadian hujan yang tercatat pada satelit bisa saja terjadi sebelum *lag* jam yang ke-6 atau berada pada *lag* yang ke-7, 8, 9 atau seterusnya. Sehingga dapat disimpulkan, metode *lag* ini digunakan agar terlihat seberapa besar jarak waktu efektif terjadinya hujan di lapangan setelah pencatatan data hujan dari satelit sehingga nantinya dapat digunakan sebagai mitigasi resiko banjir di sekitar ARR Kalibawang.

Tabel 6. Hubungan Data P Total Terukur dengan Satelit GPM sesuai Waktu *Lag*

Tanggal	P (mm)	<i>Lag</i> (jam)						
		0	1	2	3	4	5	6
09-Jan-16	81,4	0,0	0,9	2,8	4,3	5,8	8,1	8,3
28-Feb-16	55,4	0,1	0,1	1,0	4,2	8,8	11,5	17,0
08-Mar-16	59,9	0,7	1,8	5,8	12,2	19,0	25,9	33,5
25-Mar-16	87,0	0,7	0,8	6,4	10,7	12,5	12,9	17,3
27-Mar-16	94,1	0,0	0,1	0,7	6,7	12,6	15,8	21,3
28-Mar-16	83,4	44,2	48,5	50,0	52,1	52,1	52,1	52,1
02-Apr-16	84,2	0,0	0,0	0,0	1,0	1,1	1,9	4,9
22-Mei-16	50,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06-Jun-16	94,6	0,0	1,0	1,8	6,6	11,8	15,2	15,9

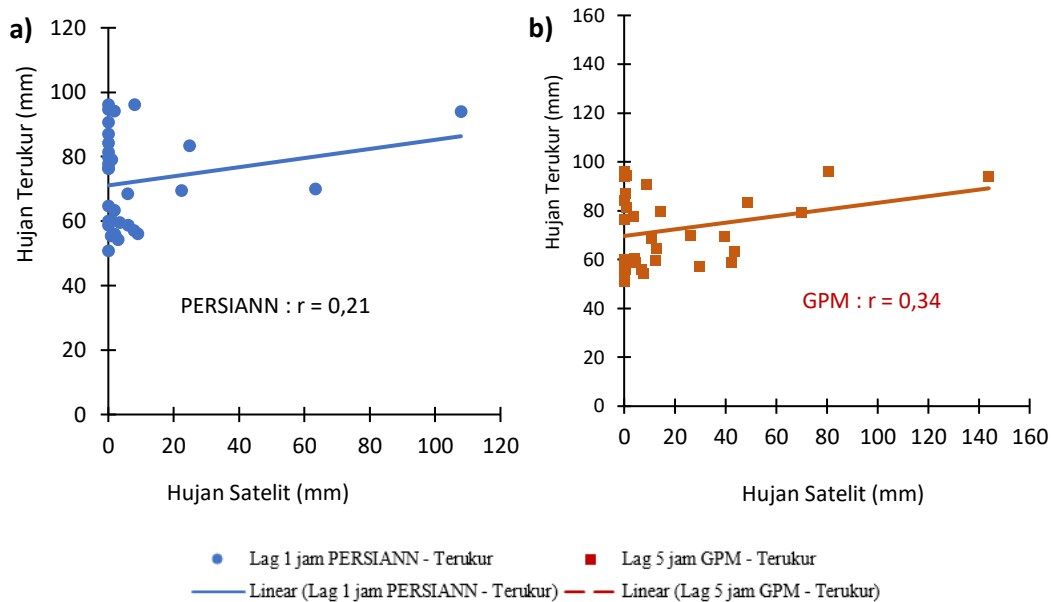
18-Jun-16	96,1	56,7	80,6	110,4	125,3	133,4	135,6	136,5
22-Jul-16	96,1	0,0	0,0	0,0	17,1	37,0	54,3	56,9
19-Sep-16	76,5	0,0	0,0	0,3	4,6	4,7	9,2	12,1
20-Sep-16	69,4	24,0	39,6	48,5	58,7	65,8	66,9	72,0
24-Sep-16	79,0	45,5	69,9	154,4	169,8	185,4	192,3	199,4
25-Sep-16	55,9	0,0	0,6	0,7	5,6	10,2	14,2	18,5
02-Okt-16	58,7	36,4	42,3	48,3	59,4	73,9	79,8	81,5
09-Okt-16	68,5	5,0	10,8	19,2	25,3	38,9	48,1	56,9
09-Nov-16	58,7	0,8	4,3	15,3	31,0	42,7	55,9	65,2
13-Nov-16	70,0	15,7	26,2	28,5	29,2	29,4	29,5	29,5
28-Nov-16	60,2	1,1	4,1	7,3	11,6	15,4	21,1	28,5
29-Nov-16	57,1	19,9	29,5	31,9	32,7	33,6	39,0	47,4
30-Nov-16	64,7	6,2	12,8	22,4	32,3	35,6	42,8	43,5
14-Jan-17	63,4	20,2	43,4	49,1	49,2	50,6	52,1	52,1
14-Feb-17	79,8	11,5	14,4	19,1	26,5	38,3	39,7	43,4
25-Feb-17	90,6	2,1	8,7	16,6	24,6	49,7	84,7	87,7
06-Apr-17	54,2	1,7	7,6	16,4	22,1	26,1	27,6	32,0
19-Apr-17	77,8	1,2	3,6	9,3	15,8	21,8	26,5	30,0
23-Apr-17	56,0	1,7	7,1	10,8	17,8	22,5	30,4	30,8
01-Mei-17	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	10,1
17-Okt-17	76,2	0,0	0,0	0,5	0,6	1,4	2,3	3,4
28-Nov-17	94,0	131,0	143,9	151,5	158,7	168,1	171,7	172,2
29-Nov-17	59,6	10,8	12,5	14,0	16,4	18,8	18,2	17,8
Koefisien Korelasi r	0,313	0,290	0,279	0,295	0,322	0,341		0,116

Pada perhitungan satelit GPM, dilakukan metode yang sama, yaitu dengan menghitung P total setiap data hujan sesuai dengan waktu *lag*-nya. Hubungan data hujan satelit GPM terhadap terukur sesuai waktu *lag* dapat dilihat pada Tabel 6. Perhitungan koefisien korelasi r, *lag* terbaik diperoleh pada jam ke-5. Nilai r adalah sebesar **0,341**. Grafik korelasi *lag* 5 jam terhadap data hujan terukur dapat dilihat pada Gambar 4b. Hal ini menunjukkan korelasi yang masih rendah (Sarwono, 2006).

Nilai r yang diperoleh data hujan GPM sebesar 0,341 lebih besar dari data hujan PERSIANN dimana nilai r nya sebesar 0,211. Ini menunjukkan bahwa data hujan satelit GPM memiliki ketelitian data hujan yang lebih tinggi dibandingkan data hujan PERSIANN jika dilihat dari total hujannya. Sehingga untuk menghitung kedalaman total hujan pada suatu kejadian hujan, satelit GPM lebih dapat diandalkan dibandingkan satelit PERSIANN.

Pada analisis perhitungan *lag*, *lag* dari satelit GPM adalah *lag* 5 jam lebih besar dibandingkan PERSIANN yang memiliki *lag* 1 jam. Perbedaan *lag* ini menunjukkan bahwa satelit GPM secara

rata-rata dapat mencatat kejadian hujan yang lebih cepat 4 jam dari satelit PERSIANN, sehingga dalam penggunaannya untuk mitigasi resiko banjir, satelit GPM memiliki kapasitas yang lebih diandalkan dibandingkan satelit PERSIANN.



Gambar 5. Hubungan P Total lag terbaik Hujan Satelit terhadap Hujan Terukur

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- Keakuratan dari hujan satelit GPM lebih tinggi dalam penggunaan data hujan satelit untuk menggantikan data hujan terukur di lapangan. Korelasi setiap hubungan data memiliki hasil yang berbeda-beda. Dimana satelit GPM memiliki korelasi data **P total** dengan $r = 0,31$ dan **lama hujan** dengan $r = 0,70$ yang lebih tinggi dibandingkan satelit PERSIANN, sedangkan, pada **intensitas hujan maksimum**, data satelit PERSIANN memiliki korelasi dengan $r = 0,28$ yang lebih tinggi dibandingkan dengan data intensitas hujan maksimum satelit GPM terhadap data terukur.
- Keakuratan data hujan satelit GPM dengan $r = 0,341$, lebih tinggi dibandingkan dengan satelit PERSIANN yang memiliki $r = 0,211$, sedangkan pada perhitungan waktu *lag*, waktu *lag* dari satelit GPM sebesar **5 jam** lebih besar dari satelit PERSIANN yang sebesar 1 jam. Dengan demikian, satelit GPM lebih dapat diandalkan dibandingkan satelit PERSIANN untuk mitigasi resiko bencana banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- Estiningtyas, Woro. 2007. "Pengaruh Tenggang Waktu (Time Lag) Antara Curah Hujan Dengan Suhu Permukaan Laut Nino 3 . 4 Terhadap." *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* 8(1):13–26.
- Hsu, Kou-lin, Xiaogang Gao, Soroosh Sorooshian, and Hoshin V. Gupta. 2002. "Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks." *Journal of Applied Meteorology* 36(9):1176–90.
- Nguyen, Phu, Mohammed Ombadi, Soroosh Sorooshian, Kuolin Hsu, Amir AghaKouchak, Dan Braithwaite, Hamed Ashouri, and Andrea Rose Thorstensen. 2018. "The PERSIANN Family of Global Satellite Precipitation Data: A Review and Evaluation of Products." *Hydrology and Earth System Sciences* 22(11):5801–16.
- Pratiwi, Destiana Wahyu. 2016. "Halaman Judul." 2016.

- Purnomo, Edi. 2019. "Yogyakarta Dikepung Banjir, Ketinggian Air Mencapai 1,5 Meter." *Merdeka.Com*. Retrieved March 5, 2019 (<https://www.merdeka.com/peristiwa/yogyakarta-dikepung-banjir-ketinggian-air-mencapai-15-meter.html>).
- Runge, Jakob, Vladimir Petoukhov, and Jürgen Kurths. 2014. "Quantifying the Strength and Delay of Climatic Interactions: The Ambiguities of Cross Correlation and a Novel Measure Based on Graphical Models." *Journal of Climate* 27(2):720–39.
- Sarwono, Jonathan. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif Dan Kualitatif*. 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Su, Fengge, Yang Hong, and Dennis P. Lettenmaier. 2008. "Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and Its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin." *Journal of Hydrometeorology* 9(4):622–40.
- Tjasyono, Bayong. 1999. *Klimatologi Umum*. Bandung: Penerbit ITB.
- Vernimmen, R. R. E., A. Hooijer, Mamenun, E. Aldrian, and A. I. J. M. Van Dijk. 2012. "Evaluation and Bias Correction of Satellite Rainfall Data for Drought Monitoring in Indonesia." *Hydrology and Earth System Sciences* 16(1):133–46.
- Zhang, Chi, Xi Chen, Hua Shao, Shuying Chen, Tong Liu, Chunbo Chen, Qian Ding, and Haoyang Du. 2018. "Evaluation and Intercomparison of High-Resolution Satellite Precipitation Estimates-GPM, TRMM, and CMORPH in the Tianshan Mountain Area." *Remote Sensing* 10(10).

KAJIAN PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP KONDISI HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) DODOKAN, PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT

Muhammad Khalis Ilmi¹

¹Alumni Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan,
Universitas Gadjah Mada, Email: mkilmi74@gmail.com

ABSTRAK

DAS Dodokan dulunya didominasi oleh lahan dengan vegetasi penutup permanen sebagai daerah resapan air. Namun seiring laju pertumbuhan penduduk yang meningkat, daerah yang tadinya didominasi oleh vegetasi perlahan berkurang dan berubah menjadi lahan permukiman. Beberapa tahun terakhir tercatat kejadian banjir dan kekeringan terjadi lebih dari 1 kali dalam setahun di wilayah administratif DAS Dodokan. Salah satunya adalah kejadian banjir di Kecamatan Kediri, Lombok Barat pada tanggal 2 Mei 2015 yang menyebabkan ribuan rumah terendam dan kejadian kekeringan ekstrim pada bulan September 2013. Hal tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan kondisi hidrologi di DAS Dodokan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji apakah dampak perubahan tata guna lahan berpengaruh terhadap kondisi hidrologi DAS Dodokan. Perubahan tata guna lahan dalam kurun waktu 2008-2017 pada DAS Dodokan di analisis berdasarkan pengolahan data citrasatelit sedangkan data kuantitatif perubahan tata guna lahan hanya didapatkan tahun 2011 dan 2014 dari Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I. Kondisi hidrologi DAS pada penelitian ini digambarkan dengan beberapa parameter hidrologi seperti Koefisien Simpanan Air (KSA), Koefisien Rezim Sungai (KRS), Koefisien Aliran Tahunan (KAT), Indeks Debit Jenis (IDJ) dan frekuensi kejadian banjir dan kekeringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perubahannya luasan daerah bervegetasi permanen berturut-turut yaitu hutan berkurang 14.59%, semak belukar berkurang 11 %, sedangkan lahan permukiman meningkat 0.28%. Penurunan luasan hutan dan semak belukar serta meningkatnya luasan permukiman menyebabkan meningkatnya nilai KRS dan IDJ serta kejadian banjir. Peningkatan luasan perkebunan menyebabkan nilai KSA juga meningkat dan nilai KAT menurun.

Kata kunci: DAS dodokan, tata guna lahan, parameter hidrologi DAS

PENDAHULUAN

Pulau Lombok merupakan bagian dari Provinsi Nusa Tenggara Barat yang memiliki empat daerah aliran sungai (DAS) utama yang tersebar di hulu sampai hilir pulau Lombok yaitu DAS Dodokan, DAS Putih, DAS Menanga, dan DAS Jelateng. Dari keempat DAS tersebut, DAS Dodokan merupakan DAS terluas dengan luas sebesar 578.62 km². DAS Dodokan meliputi dua kabupaten yaitu Kabupaten Lombok Barat dan Lombok Tengah dengan 14 kecamatan yang tersebar di kedua kabupaten tersebut. Berdasarkan data dari BPS Kabupaten Lombok Barat dan Kabupaten Lombok Tengah tahun 2017, laju pertumbuhan penduduk di 14 kecamatan tersebut cukup tinggi yaitu dengan rata-rata 12 ribu jiwa setiap tahunnya yang terhitung dari tahun 2008. Laju Pertumbuhan penduduk tersebut mendorong kebutuhan akan rumah tinggal sehingga berpengaruh terhadap bertambahnya luasan permukiman di DAS Dodokan luas daerah resapan air berkurang akibat alih fungsi lahan. Kondisi ini dikhawatirkan akan terus berlanjut setiap tahun dan mengganggu fungsi hidrologi DAS akibat peningkatan lahan kritis karena mengingat bahwa DAS Dodokan memiliki kontribusi yang cukup besar untuk keberlangsungan sumber daya air di Pulau Lombok (BWS NT I, 2012).

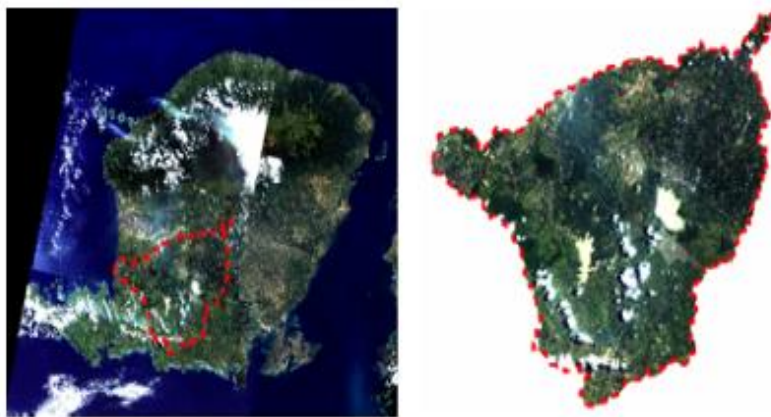
Penelitian ini mengkaji mengenai pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap kondisi hidrologi di DAS Dodokan. Kondisi hidrologi DAS pada penelitian ini digambarkan dengan beberapa parameter hidrologi seperti Koefisien Simpanan Air (KSA), Koefisien Rezim Sungai (KRS), Koefisien Aliran Tahunan (KAT), Indeks Debit Jenis (IDJ) dan frekuensi kejadian banjir dan kekeringan yang ada di DAS Dodokan. Harapannya dari penelitian ini dapat dijadikan sumber informasi untuk melakukan pengelolaan DAS lebih lanjut.

TINJAUAN PUSTAKA

Perubahan Tata Guna Lahan

Tata guna lahan merupakan kajian rupa (permukaan) bumi yang cukup kompleks, banyak faktor penentu atau peubah yang mempengaruhinya. Tata guna lahan dapat dikatakan sebagai suatu hasil produk akhir dari persebaran manusia di permukaan bumi dalam hubungannya dengan lingkungan geografis, yang biasa disebut sebagai faktor *anthropogenic* (Hestiyanto, 2005). Terdapat hubungan antara tata guna lahan dengan karakteristik hidrologi pada suatu kawasan di DAS. Kawasan terbangun dalam suatu DAS tidak boleh lebih dari 70% dari luas DAS-nya dan kawasan dengan tutupan vegetasi sebaiknya diatas 30 % (Paimin, dkk., 2002 dalam Nugroho, 2010). Oleh karena itu, rencana tata ruang suatu wilayah tidak hanya dari aspek peruntukan kawasan tersebut (politik, ekonomi, sosial dan budaya) tetapi juga harus memperhatikan aspek hidrologisnya (peran dan fungsi DAS), dimana kawasan terbangun dalam suatu DAS tidak boleh lebih dari 70% dari luas DAS dan kawasan dengan tutupan vegetasi sebaiknya di atas 30 % (Nugroho, 2010).

Dengan demikian, tata guna lahan secara kuantitatif dapat diartikan sebagai luasan dari setiap penggunaan dan tutupan lahan yang berbeda-beda (Saifurridzal, 2017). Luasan tersebut didapat dari peta rupa bumi yang menampilkan gambaran tata guna lahan sesuai kondisi lapangan untuk mengukur luas areanya. Peta rupa bumi bisa didapatkan dari *google earth* kemudian dilakukan pemotongan citra (*cropping*) berdasarkan batas DAS yang telah diperoleh dan sesuai dengan daerah kajian seperti terlihat pada Gambar 1. (Siwi dan Harsanugraha, 2008). Dan untuk mengetahui besar luasan dan pengelompokkan sesuai tata guna lahan setiap penggunaan lahan perlu dilakukan digitasi atau *trasing area* dengan menggunakan *software* pemetaan seperti *Geographic Information System* (GIS) yaitu *arcmap 10.2.2*.



Gambar 1. Pemotongan citra (cropping) berdasarkan batas DAS

Parameter-parameter yang menggambarkan kondisi hidrologis DAS

Parameter-parameter hidrologi yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

Indeks koefisien simpanan air (KSA)

Koefisien simpanan air menyatakan apakah DAS itu berfungsi sebagai prosesor untuk menyimpan air hujan yang jatuh sehingga dapat membentuk mata air yang permanen atau relatif permanen (Kementerian Kehutanan, 2013).

$$KSA = \frac{Q_{min}}{Q_{rata-rata}} \quad (1)$$

dengan:

Q_{min} : debit harian terendah dalam satu tahun (m^3/s)

$Q_{rata-rata}$: *mean annual flow* atau debit rerata tahunan (m^3/s)

2.2.2 Koefisien rezim sungai (KRS)

KRS menjadi salah satu parameter yang digunakan untuk memonitoring debit sungai untuk mengetahui kuantitas aliran sungai dari waktu ke waktu (Asdak, 2014).

$$KRS = \frac{Q_{max}}{Q_{min}} \quad (2)$$

dengan:

Q_{max} : debit harian tahunan tertinggi (m^3/s)

Q_{min} : debit harian tahunan terendah (m^3/s)

2.2.3 Koefisien aliran tahunan (KAT)

Koefisien Aliran Tahunan sebagai parameter untuk mengetahui berapa persen curah hujan yang menjadi aliran (*runoff*) di DAS (Kementerian Kehutanan, 2009).

$$KAT = \frac{Q_{tahunan}}{P_{ahunan}} \quad (3)$$

dengan:

$Q_{tahunan}$: tebal aliran atau besaran debit tahunan (mm)

$P_{tahunan}$: tebal hujan atau besaran hujan tahunan (mm)

2.2.4 Indeks debit jenis atau debit spesifik (IDJ)

Debit spesifik sebagai indikator kemampuan satuan luas DAS dalam menyimpan dan mengalirkan air hujan yang tersimpan dalam DAS sebagai prosesor yang baik (Kementerian Kehutanan, 2013).

$$IDJ = \frac{Q_{max}}{A} \quad (4)$$

dengan:

Q_{max} : debit harian tahunan tertinggi (m^3/s)

A : luas DAS (km^2)

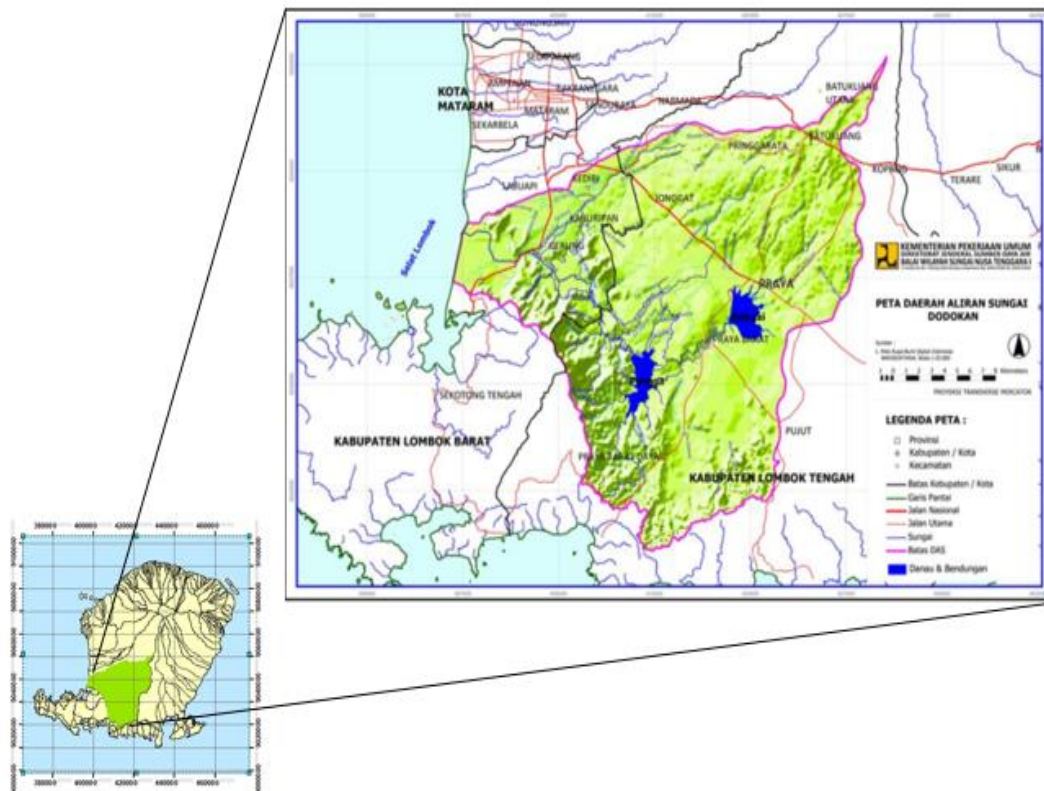
Frekuensi kejadian banjir dan kekeringan

Monitoring banjir dan kekeringan dilakukan untuk mengetahui frekuensi kejadian banjir dan kekeringan pada suatu DAS, baik banjir bandang maupun banjir genangan dan juga jenis kekeringan meteorologis, hidrologis maupun pertanian. Data diperoleh dari laporan kejadian bencana dan pengamatan langsung (Kementerian Kehutanan, 2014)

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di DAS Dodokan yang berada di Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat (Gambar 2). Secara geografis DAS Dodokan terletak diantara [-8°33'57.26" LS sampai dengan -8°52' 51.22" LS](#) dan [116°3'38.47" BT](#) sampai dengan [116°22' 11.33" BT](#) (BWS NT I, 2012).



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Parameter-parameter hidrologi dan standar evaluasinya

Parameter-parameter hidrologi yang digunakan untuk menggambarkan kondisi hidrologi DAS Dodokan memiliki nilai berdasarkan atas kondisinya yang terdiri dari kondisi baik, sedang dan buruk seperti disajikan pada Tabel 1. dibawah ini. Masing-masing nilai dan kategori dari yang menunjukkan kondisi parameter-parameter hidrologi yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari penelitian-penelitian terdahulu serta Peraturan-Peraturan Kementerian Kehutanan Republik Indonesia yang terkait dengan monitoring dan evaluasi kinerja DAS.

Tabel 1. Parameter-parameter hidrologi dan standar evaluasinya

Indikator Hidrologi	Persamaan	Standar Evaluasi		Sumber
		Kuantitatif	Kualitatif	
Koefisien Rezim Sungai (KRS)	$KRS = (Q_{maks})/Q_{min}$ dengan: Q_{maks} : debit harian maksimum tahunan (m^3/s) Q_{min} : debit harian minimum tahunan (m^3/s)	< 40	Baik	1, 2, 3
		$40 \leq KRS \leq 80$	Sedang	
		> 80	Buruk	
Koefisien Aliran Tahunan (KAT)	$KAT = (Q_{tahunan})/(P_{tahunan})$ dengan: $Q_{tahunan}$: tebal aliran atau besaran debit tahunan (mm)	<0,25	Baik	4

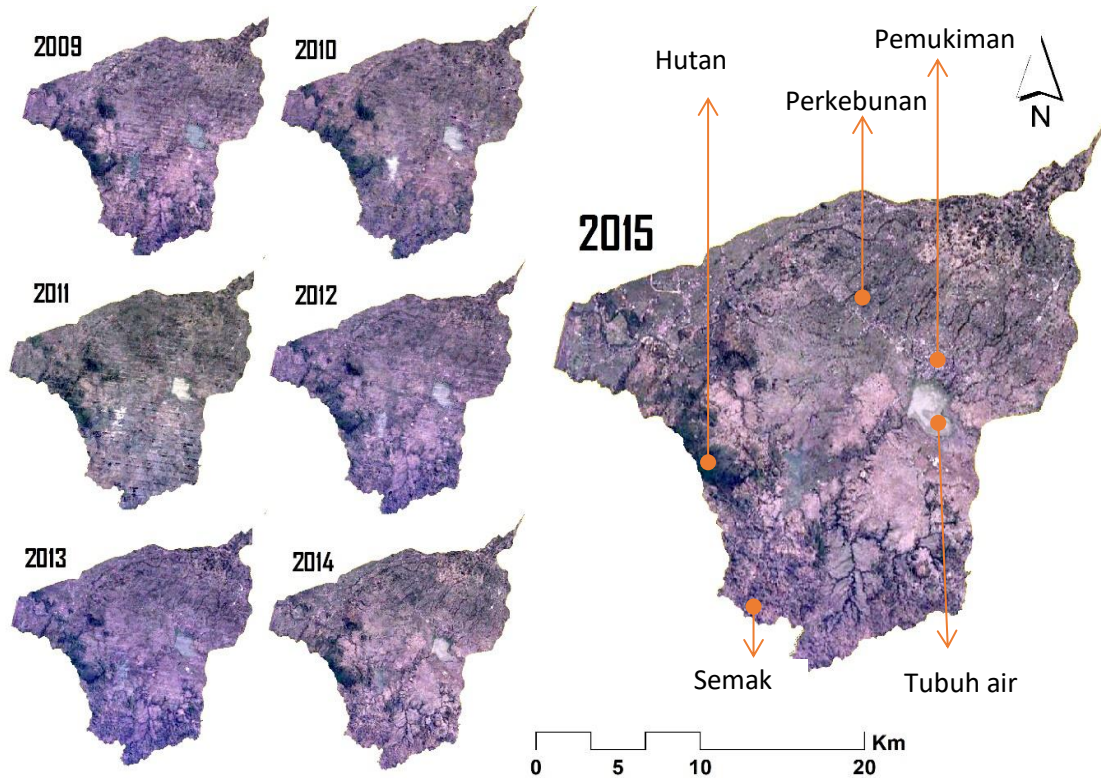
Indikator Hidrologi	Persamaan	Standar Evaluasi		Sumber
		Kuantitatif	Kualitatif	
	P_{tahunan} : tebal hujan atau besaran hujan tahunan (mm)	$0,25 \leq KAT \leq 0,50$	Sedang	
		$0,51 \leq KAT \leq 1,00$	Buruk	
Indeks Koefisien Simpanan Air (KSA)	$KSA = Q_{\text{min}}/Q_{\text{rerata}}$ dengan: Q_{min} : debit harian minimum tahunan (m^3/s) Q_{rerata} : debit rerata tahunan (m^3/s)	$> 0,2$	Baik	3
		$0,1 \leq KSA \leq 0,2$	Sedang	
		$< 0,1$	Buruk	
Indeks Debit Jenis Atau Debit Spesifik (IDJ)	$IDJ = (Q_{\text{maks}})/A$ dengan: Q_{maks} : debit harian maksimum tahunan (m^3/s) A : luas DAS (km^2)	< 1	Baik	3
		$1 \leq IDJ \leq 1,25$	Sedang	
		$> 1,25$	Buruk	
Frekuensi kejadian Banjir Dan Kekeringan	Frekuensi kejadian	Tidak pernah	Baik	5
		1 kali dalam 1 tahun	Sedang	
		Lebih dari 1 kali dalam 1 tahun	Buruk	

Keterangan: 1. Asdak, 2014 2. Paimin dkk., 2002; 3. Nugroho, 2010; 4. Peraturan Dirjen RLPS Nomor: P.04/V-SET/2009; 5. Permenhut No. P61/MENHUT-II/2014

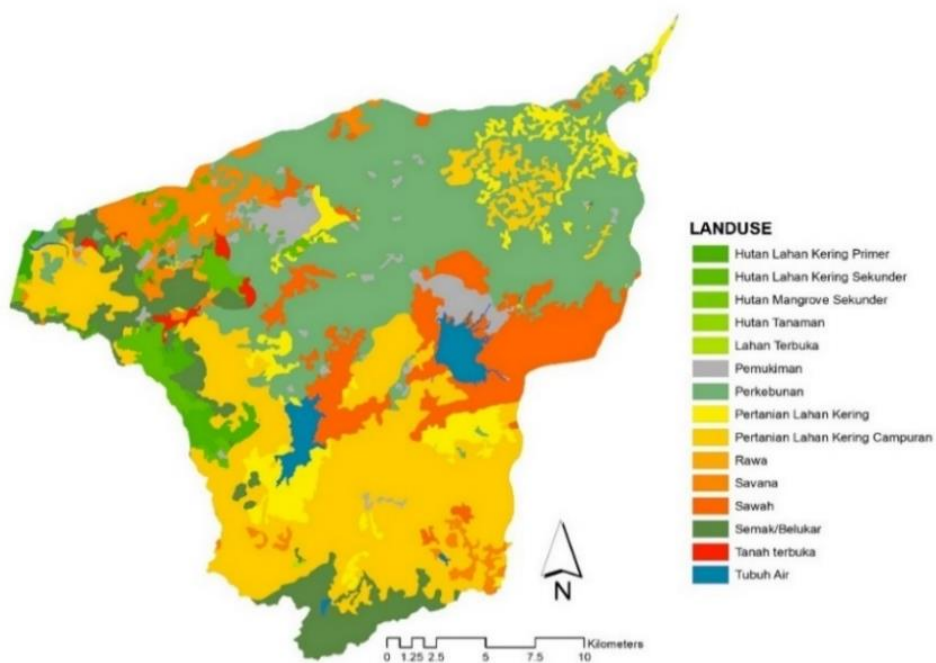
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis perubahan tata guna lahan DAS Dodokan

Berikut ini adalah peta perubahan tata guna lahan (*landuse*) yang didapatkan dari *google earth* kemudian dilakukan pemotongan citra (*cropping*) dengan *marcmap 10.2.2* berdasarkan batas DAS yang telah diperoleh dan sesuai dengan lokasi penelitian yaitu DAS Dodokan.



Gambar 3. Peta perubahan tata guna lahan (*landuse*) DAS Dodokan dari pengolahan citra setelit google earth dengan metode *cropping* tahun 2009-2015



Gambar 4. Peta perubahan tata guna lahan (*landuse*) DAS Dodokan berdasarkan analisa GIS

Gambar 3. sampai dengan Gambar 4. menunjukkan bahwa terjadi perubahan tata guna lahan di DAS Dodokan dalam rentan waktu beberapa tahun. Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor: P. 3/V-Set/2013 tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai, vegetasi permanen berupa hutan, perkebunan dan semak belukar. Perubahan tata guna lahan 2011 sampai dengan 2014 khususnya pada vegetasi penutup permanen yang menjadi daerah resapan air berturut-turut yaitu hutan berkurang 14.59%, perkebunan bertambah 9.19% dan semak belukar berkurang 11%. Penggunaan lahan berupa pemukiman juga bertambah sebesar 0.28% (Tabel 2.). Bertambahnya luasan permukiman ini diakibatkan oleh laju pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi sehingga memicu penambahan jumlah bangunan-bangunan untuk keperluan tempat tinggal, perkantoran, industri dan fasilitas umum.

Tabel 2. Data kuantitatif perubahan tata guna lahan DAS Dodokan tahun 2011-2014

Landuse	2011		2014		Perubahan Landuse
	Luas (km ²)	%	Luas (km ²)	%	
Hutan Lahan Kering Primer	88.37	15.27%	21.50	3.72%	-11.56%
Hutan Lahan Kering Sekunder	66.56	11.50%	48.99	8.47%	-3.04%
Hutan Mangrove Primer	1.51	0.26%	0.00	0.00%	-0.26%
Hutan Mangrove Sekunder	2.28	0.39%	2.02	0.35%	-0.05%
Hutan Tanaman	2.33	0.40%	0.80	0.14%	-0.26%
Lahan Terbuka	3.83	0.66%	0.14	0.02%	-0.64%
Pemukiman	10.08	1.74%	11.67	2.02%	0.28%
Perkebunan	91.53	15.82%	144.71	25.01%	9.19%
Pertanian Lahan Kering	37.68	6.51%	37.38	6.46%	-0.05%
Pertanian Lahan Kering Campuran	83.10	14.36%	161.61	27.93%	13.57%
Rawa	0.22	0.04%	0.57	0.10%	0.06%
Savana	21.02	3.63%	30.02	5.19%	1.56%
Sawah	54.73	9.46%	60.12	10.39%	0.93%
Semak belukar	107.32	18.55%	43.65	7.54%	-11.00%
Tambak	1.09	0.19%	0.00	0.00%	-0.19%
Tanah terbuka	4.03	0.70%	3.15	0.54%	-0.15%
Tubuh Air	2.94	0.51%	12.29	2.12%	1.62%
Total	578.62	100%	578.62	100%	

Sumber: Analisis GIS Arcmap 10.2.2

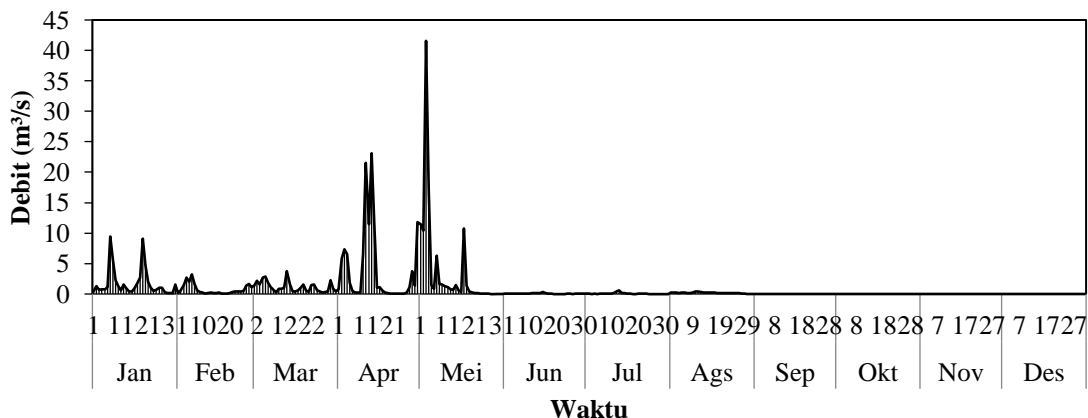
Analisis parameter-parameter hidrologi di DAS Dodokan

Gambar 5. dan Gambar 6. dibawah ini merupakan data debit dari pos AWLR Karang Makam tahun 2011 dan 2014 yang menggambarkan perubahan fluktuasi debit di kedua tahun tersebut dan dijadikan data untuk dasar analisis untuk KSA, KRS, KAT dan IDJ.

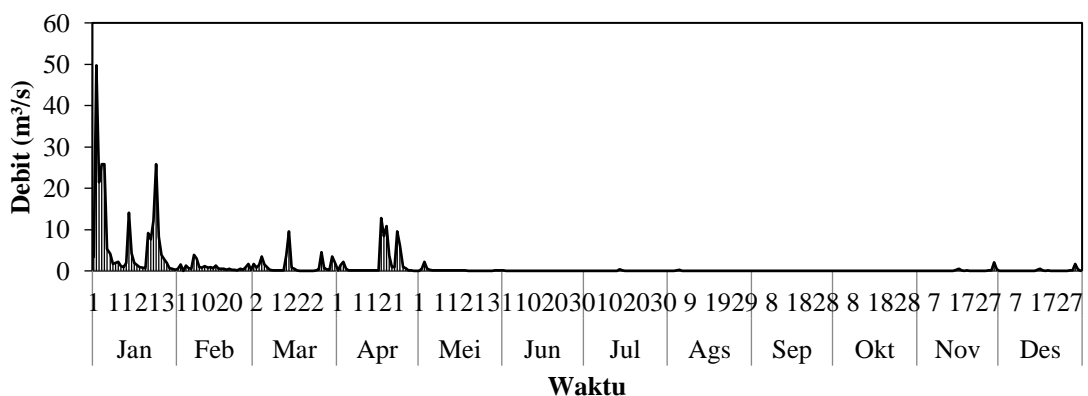
Gambar 5. dan Gambar 6. menunjukkan perubahan fluktuasi debit pada tahun 2011 dan 2014. Pada tahun 2011 debit maksimum sebesar 41.57 m³/s dan pada tahun 2014 sebesar 49.73 m³/s yang menunjukkan bahwa terjadi perubahan besaran debit dengan meningkatnya nilai debit maksimum dari tahun 2011 ke tahun 2014. Hal tersebut disebabkan karena curah hujan yang meningkat dan berkurangnya luasan vegetasi penutup permanen serta bertambahnya luasan permukiman yang memungkinkan kuantitas aliran permukaan yang terbuang kembali ke sungai juga meningkat. Tabel 2 dibawah ini merupakan hasil analisis parameter-parameter yang menggambarkan kondisi hidrologi DAS Dodokan untuk melihat kontinuitas dan kuantitas aliran permukaan.

Parameter-parameter hidrologi yang digunakan untuk menggambarkan kondisi hidrologi DAS Dodokan adalah Koefisien Simpanan Air (KSA), Koefisien Rezim Sungai (KRS), Koefisien Aliran Tahunan (KAT), Indeks Debit Jenis (IDJ) dan frekuensi kejadian banjir dan kekeringan. Empat parameter berupa KSA, KRS, KAT dan IDJ merupakan parameter untuk menilai kontinuitas dan

kuantitas aliran permukaan. Sedangkan frekuensi kejadian banjir dan kekeringan merupakan parameter untuk verifikasi hasil dari keempat parameter sebelumnya dengan cara mengumpulkan data sekunder kejadian banjir dan kekeringan dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Barat dan Lombok Tengah serta wawancara langsung dengan warga.



Gambar 5. Grafik debit terukur harian tahun 2011 pos AWLR Karang Makam

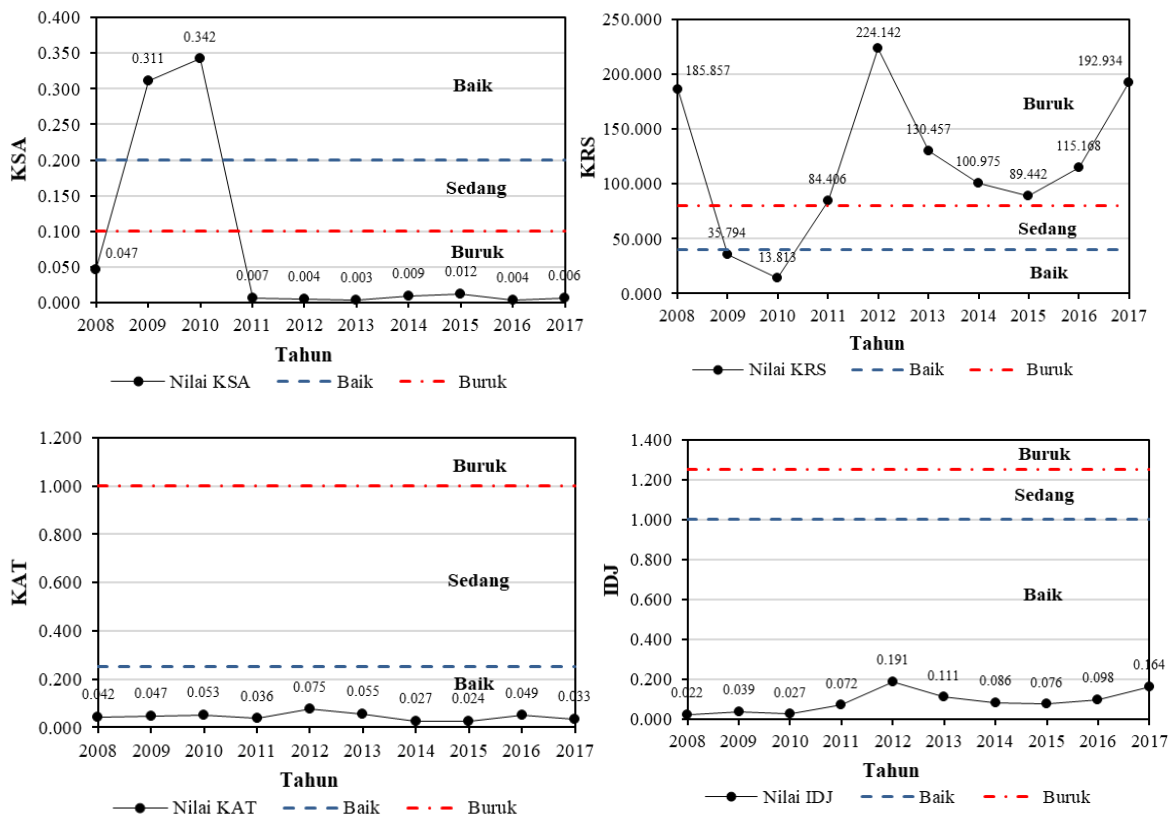


Gambar 6. Grafik debit terukur harian tahun 2014 pos AWLR Karang Makam

Tabel 3. Parameter-parameter yang menggambarkan kondisi hidrologi DAS Dodokan

Tahun	KSA	KRS	KAT	IDJ	Frekuensi Kejadian	
					Banjir	Kekeringan
2008	0.047	185.857	0.042	0.022	5 kali	tidak pernah
2009	0.311	35.794	0.047	0.039	tidak pernah	tidak pernah
2010	0.342	13.813	0.053	0.027	4 kali	tidak pernah
2011	0.007	84.406	0.036	0.072	3 kali	tidak pernah
2012	0.004	224.142	0.075	0.191	12 kali	1 kali
2013	0.003	130.457	0.055	0.111	13 kali	1 kali
2014	0.009	100.975	0.027	0.086	2 kali	1 kali
2015	0.012	89.442	0.024	0.076	10 kali	1 kali
2016	0.004	115.168	0.049	0.098	13 kali	1 kali
2017	0.006	192.934	0.033	0.164	31 kali	1 kali
Rata-rata	0.075	117.299	0.044	0.089	Lebih dari 1 kali dalam setahun	1 kali dalam setahun

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 7. Grafik parameter-parameter yang menggambarkan kondisi hidrologi DAS Dodokan

Tabel 3. dan Gambar 7. diatas menunjukkan bahwa kondisi hidrologi dari tahun 2008 sampai dengan 2017 mengalami peningkatan dan penurunan. Rentan waktu 2008-2017 nilai KRS dan IDJ cenderung mengalami peningkatan berturut-turut yaitu dari 185.857 menjadi 192.934 dan 0.022 menjadi 0.164, sedangkan untuk KSA dan KAT cenderung mengalami penurunan berturut-turut yaitu dari 0.047 menjadi 0.006 dan 0.042 menjadi 0.033. Jika diamati dalam rentan waktu tahun 2008-2017, DAS Dodokan dalam kondisi yang kurang baik. Hal ini ditandai dengan nilai KSA yang mengalami penurunan sedangkan nilai KRS dan IDJ yang mengalami peningkatan. DAS dalam kondisi yang baik ditandai dengan peningkatan nilai KSA dan penurunan nilai KRS, KAT dan IDJ dari tahun ke tahun (Kementerian Kehutanan, 2013). Jika diamati dalam rentan waktu 2011-2014 sesuai dengan ketersediaan data kuantitatif perubahan tata guna lahan DAS Dodokan, maka pada tahun 2011 dan 2014 nilai KRS mengalami peningkatan dari 84.406 menjadi 100.975, nilai KSA dari 0.007 menjadi 0.009, nilai IDJ dari 0.072 menjadi 0.086. Sedangkan nilai KAT mengalami penurunan dari 0.036 menjadi 0.027. Nilai KRS dan IDJ pada tahun 2011 relatif baik dibandingkan tahun 2014 sedangkan nilai KSA dan KAT pada tahun 2011 lebih buruk dibandingkan tahun 2014. Hasil verifikasi lapangan di 14 kecamatan juga menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil analisis parameter-parameter hidrologi, dari hasil pengumpulan data sekunder dan wawancara langsung dengan warga menunjukkan bahwa dari tahun 2008-2017 hampir setiap tahun terjadi banjir. Kejadian banjir setiap tahunnya mengalami lebih dari 1 kali kejadian, kecuali pada tahun 2009 tidak pernah terjadi banjir. Sedangkan, kejadian kekeringan memiliki intensitas kejadian lebih sedikit dengan hanya 1 kali kejadian setiap tahunnya yaitu dari tahun 2012-2017 dan tidak pernah terjadi dari rentan waktu 2008-2011. Hal ini disebabkan karena tata guna lahan pada tahun 2011 dan 2014 mengalami beberapa perubahan seperti menurunnya luasan hutan sebesar 14.59% dan semak belukar sebesar 11%, namun luasan perkebunan meningkat sebesar 9.19% dan luasan pemukiman meningkat sebesar 0.28%. Penurunan luasan hutan dan semak belukar serta meningkatnya luasan permukiman menyebabkan meningkatnya nilai KRS dan IDJ serta kejadian

banjir. Peningkatan luasan perkebunan menyebabkan nilai KSA juga meningkat dan nilai KAT menurun.

KESIMPULAN

DAS Dodokan mengalami perubahan tata guna lahan dari tahun ke tahun jika dilihat secara visual dari pengolahan citra satelit google earth dan GIS tahun 2009-2015. Sedangkan, berdasarkan data kuantitatif perubahan tata guna lahan yang tersedia dari tahun 2011-2014 menunjukkan bahwa tata guna lahan DAS Dodokan mengalami beberapa perubahan seperti menurunnya luasan hutan sebesar 14.59% dan semak belukar sebesar 11%, namun luasan perkebunan meningkat sebesar 9.19% dan luasan pemukiman meningkat sebesar 0.28%. Analisis kondisi hidrologi menggunakan parameter-parameter hidrologi menunjukkan terjadinya perubahan kondisi hidrologi di DAS Dodokan. Rentan waktu 2008-2017 nilai KRS dan IDJ cenderung mengalami peningkatan berturut-turut yaitu dari 185.857 menjadi 192.934 dan 0.022 menjadi 0.164, sedangkan untuk KSA dan KAT cenderung mengalami penurunan berturut-turut yaitu dari 0.047 menjadi 0.006 dan 0.042 menjadi 0.033. Rentan waktu 2011 dan 2014 (menyesuaikan dengan ketersediaan data kuantitatif perubahan tataguna lahan) nilai KRS mengalami peningkatan dari 84.406 menjadi 100.975, nilai KSA dari 0.007 menjadi 0.009, nilai IDJ dari 0.072 menjadi 0.086. Sedangkan nilai KAT mengalami penurunan dari 0.036 menjadi 0.027. Frekuensi kejadian banjir dan kekeringan menunjukkan hasil kejadian banjir setiap tahunnya mengalami lebih dari 1 kali kejadian, kecuali pada tahun 2009 tidak pernah terjadi banjir. Sedangkan, kejadian kekeringan memiliki intensitas kejadian lebih sedikit dengan hanya 1 kali kejadian setiap tahunnya yaitu dari tahun 2012-2017 dan tidak pernah terjadi dari rentan waktu 2008-2017. Hasil ini menunjukkan bahwa DAS Dodokan dalam kondisi yang kurang baik ditandai dengan menurunnya kapasitas tampung sungai, bertambahnya volume atau jumlah limpasan, ketersediaan air yang makin kritis dan menurunnya kemampuan DAS menyimpan air hujan. Hal tersebut mengindikasikan perubahan tata guna lahan mempengaruhi kondisi hidrologi di DAS Dodokan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (2014). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I. (2012). *Data dan Informasi Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Lombok dan Wilayah Sungai Sumbawa*. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I, Mataram.
- Hestiyanto dan Yusman. (2005). *Geografi 1*. Yudhistira, Jakarta.
- Hutagaol, R.R. (2011). "Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Limpasan Pada Sub Das Sepauk Kabupaten Sintang Kalimantan Barat". *Jurnal Kehutanan Tropika Humida* 4 (1): 111-115.
- Kementerian Kehutanan Republik Indonesia. (2009). Keputusan Menteri Kehutanan No. SK. 328/Menhut-II/2009 tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Prioritas dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) tahun 2010-2014. Kementerian Kehutanan, Jakarta.
- Kementerian Kehutanan Republik Indonesia. (2013). Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor: P. 3/V-Set/2013 Tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai. Kementerian Kehutanan, Jakarta.
- Kementerian Kehutanan Republik Indonesia. (2014). Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.61/ Menhut-II/2014 tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Kementerian Kehutanan, Jakarta.
- Nugroho, S.P. (2010). "Karakteristik Fluks Karbon Dan Kesehatan DAS dari Aliran Sungai- Sungai Utama Di Jawa". Institut Petanian Bogor, Bogor (Doctoral dissertation, Dissertation).

- Paimin, dkk., (2002). "Monitoring dan Evaluasi Daerah Aliran dalam Perspektif Diagnosa Kesehatan. Prosiding Seminar Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan DAS". Balitbang Teknologi Pengelolaan DAS Wilayah Indonesia Bagian Barat, Surakarta.
- Saifurridzal, (2017). "Model Hujan-Aliran Terdistribusi Berbasis Analisis Dan Interpretasi Parameter Fisik DAS (Studi Kasus Das Kali Belik Hulu, Daerah Istimewa Yogyakarta)". Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (Tesis).
- Sandhyavitri, A. (2015). "Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Ketersediaan Air Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak, Provinsi Riau". Jurnal Teknik Sipil 13 (2): 146-157.
- Siwi, S.E. dan Harsanugraha, W.K. (2008). "Pemanfaatan Citra Satelit Penginderaan Jauh Untuk Pengelolaan Sumber Daya Air Studi Kasus: Daerah Aliran Sungai Dodokan, Prov. NTB". Kedeputian Penginderaan Jauh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional. PIT MAPIN XVII, Bandung 10-12-2008.

STUDI MODEL PENGARUH KEDALAMAN AIR TERHADAP DEFORMASI GELOMBANG PADA PEMECAH GELOMBANG SISI MIRING BERONGGA

Asep Huddiankuwera¹, Taufiqur Rachman², Muhammad Arsyad Thaha³ dan Syarifuddin Dewa⁴

¹ Mahasiswa Program S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin

Jln. Poros Malino Km.6, Gowa, Telp. 082188722766, Email : asephuddiankuwera@gmail.com

² Staf Pengajar Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Jln. Poros Malino Km.6, Gowa, Telp. 082293714321, Email : ocean_d321@yahoo.com

³ Staf Pengajar Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Jln. Poros Malino Km.6, Gowa, Telp. 081242985988, Email : athaha_99@yahoo.com

⁴ Staf Pengajar Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Jln. Poros Malino Km.6, Gowa, Telp. 0811448091, Email : syarifuddindewa@gmail.com

ABSTRAK

Pemecah gelombang atau *breakwater* adalah bangunan struktur pantai yang digunakan untuk mengantisipasi dan mengendalikan abrasi. Bangunan ini mempunyai fungsi sebagai alternatif untuk menjaga garis pantai dari gempuran ombak yaitu dengan mereduksi energi gelombang. Sampai saat ini, telah banyak dilakukan penelitian untuk mengembangkan struktur penahan gelombang. Struktur peredam gelombang telah mengalami perkembangan yang signifikan, salah satu struktur peredam gelombang adalah pemecah gelombang berlubang dan berongga. Pemecah gelombang berongga memiliki model bervariasi yang selain meminimalisir refleksi gelombang juga diharapkan mampu mereduksi gelombang transmisi, karena kemampuannya dalam menyerap energi gelombang dan mereduksi terhadap energi gelombang datang. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh kedalaman air pada pemecah gelombang sisi miring berongga terhadap deformasi gelombang. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan merancang model pemecah gelombang sisi miring dengan membuat rongga dengan bentuk kotak dan bulat. Variabel yang diteliti meliputi tinggi gelombang transmisi (H_t), tinggi gelombang refleksi (H_r), koefisien transmisi (K_t) dan koefisien refleksi (K_r), periode gelombang (T), tinggi gelombang (H_i) serta koefisien disipasi (K_d). Variabel ketinggian air (d) dibuat dengan variasi 0,5h, 0,6h dan 0,7h cm (d disesuaikan dengan tinggi model = h), bentuk rongga (B) serta volume rongga (V) dengan ukuran tertentu. Dengan struktur tersebut perambatan gelombang melalui bangunan pemecah gelombang sisi miring berongga akan menghasilkan nilai koefisien refleksi dan koefisien transmisi yang relatif kecil sebagai akibat hambatan dan turbulensi, sehingga energi yang diredam (disipasi) menjadi lebih besar. Dengan demikian, pemecah gelombang diharapkan mampu lebih efektif dalam mereduksi gelombang yang datang.

Kata Kunci : Pemecah gelombang, disipasi, koefisien refleksi, koefisien transmisi

PENDAHULUAN

Penelitian dalam mengembangkan struktur penahan gelombang yang telah banyak dilakukan, Struktur peredam gelombang telah mengalami perkembangan yang signifikan, salah satu struktur peredam gelombang adalah pemecah gelombang berpori. Pada tahun 1961 pemecah gelombang berpori untuk pertama kalinya diusulkan oleh Jarlan dan kemudian banyak dikembangkan oleh peneliti-peneliti lain salah satunya Quin (1972) mencoba mengurangi gaya gelombang yang mengenai bagian depan pemecah gelombang.

Tamrin (2015) dalam penelitian tentang blok beton berpori menyatakan bahwa lubang, panjang slot, porositas permukaan blok beton, jumlah blok baris memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap nilai koefisien transmisi dan refleksi. A.S. Korain, dkk (2014) dalam *Hydrodynamic characteristics of porous seawall protected by submerged breakwater* menghasilkan bahwa pemecah gelombang terendam di depan garis pantai berpori menurunkan kecepatan pada tembok laut dan refleksi gelombang dengan variasi lebar tembok laut, porositas tembok laut, kedalaman air relatif dan kecuraman gelombang. Pemecah gelombang berpori atau berlubang memiliki model bervariasi yang diharapkan selain meminimalisir refleksi gelombang juga mampu mereduksi gelombang transmisi, karena kemampuannya dalam menyerap energi gelombang dan mereduksi terhadap energi gelombang datang.

Dengan landasan tersebut maka penelitian ini ingin memaksimalkan lubang dan rongga sebagai struktur pemecah gelombang dengan membuat kemiringan lubang dan rongga tertentu pada pemecah gelombang yang diharapkan dapat menambah hambatan, sehingga diharapkan mampu lebih efektif dalam mereduksi gelombang yang datang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan pengaruh kedalaman air pada pemecah gelombang sisi miring berongga terhadap deformasi gelombang

LANDASAN TEORI

Parameter Bangunan Peredam Energi

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i). Parameter refleksi gelombang biasanya dinyatakan dalam bentuk koefisien refleksi (K_r) yang didefinisikan sebagai berikut :

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana energi refleksi $E_r = \frac{1}{8} \rho g H_r^2$ dan energi gelombang datang adalah $E_i = \frac{1}{8} \rho g H_i^2$ dengan ρ adalah rapat massa zat cair dan g adalah percepatan gravitasi. Nilai K_r berkisar dari 1,0 untuk refleksi total hingga 0 untuk tidak ada refleksi. Koefisien refleksi bangunan diperkirakan berdasarkan tes model, koefisien refleksi berbagai tipe bangunan diberikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Refleksi

Tipe Bangunan Peredam Energi	K_r
Dinding vertikal dengan puncak diatas air	0,7 – 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 – 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 – 0,5
Tumpukan blok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi Lubang)	0,05 – 0,2

Sumber : Triatmodjo, 1999.

Transmisi gelombang (H_t) adalah tinggi gelombang yang diteruskan melalui rintangan dan diukur dengan koefisien transmisi (K_t) dihitung dengan persamaan berikut :

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{\frac{E_t}{E_i}} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana energi gelombang transmisi adalah $E_t = \frac{1}{8} \rho g H_t^2$

Tinggi gelombang datang (H_i) dan tinggi gelombang transmisi (H_t) adalah tinggi gelombang rerata dari nilai maksimum dan minimum tinggi gelombang terukur masing-masing sebelum dan sesudah melewati rintangan. Sedangkan tinggi gelombang refleksi (H_r) adalah setengah dari selisih tinggi gelombang maksimum dan minimum terukur sebelum melalui rintangan.

Menurut Horikawa (1978) bahwa besarnya energi gelombang yang diredam (K_d) adalah besarnya energi gelombang datang dikurangi energi gelombang yang ditransmisikan dan direfleksikan :

$$K_d = 1 - K_t - K_r \quad \dots\dots\dots (3)$$

Untuk gelombang yang menjalar dalam kondisi gesekan, tinggi gelombang akan mengalami pengurangan secara eksponensial. Panjang gelombang akan berkurang dengan adanya gesekan menyebabkan menurunkan kecepatan rambat gelombang. Dengan demikian meningkatnya koefisien gesek Darcy-Weisbach (f) akan mengurangi tinggi gelombang. Perubahan elevasi muka air (η) setelah satu panjang gelombang (L) dapat dihitung dengan ekspresi berikut (Dean dan Dalrymple, 1984).

$$\eta(x + L) = \eta(x)e^{-kil} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana angka gelombang setelah tereduksi $ki = kI^*A/2\sigma$; angka gelombang datang $kI = \sigma/(g d)^{1/2}$ dan konstanta gesek $A = f^*Um/3\pi d$. Um adalah kecepatan partikel air maksimum.

Gelombang air tidak memindahkan massa tetapi memindahkan energi. Laju pemindahan energi disebut fluks energi P . Untuk teori gelombang linier fluks energi adalah laju kerja yang dilakukan oleh fluida pada suatu sisi dari suatu potongan vertikal, terhadap fluida di sisi yang lain. Energi yang ditransfer (energi flux) adalah energi gelombang persatuan waktu yang terkandung atau tersebar dalam arah perambatan gelombang. Energi yang ditransfer rata-rata dalam satu gelombang (Dean dan Dalrymple, 1992) adalah:

$$\bar{P} = E . n . C \quad \dots\dots\dots (5)$$

dengan :
 P = transfer energi gelombang rata-rata
 C = cepat rambat gelombang
 $n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2K_d}{\sinh 2K_d} \right)$

Nilai n tergantung pada kedalaman dan panjang gelombang. Radiana, 2002 memberikan nilai n untuk laut dangkal sama dengan 1, sedangkan untuk laut dalam sama dengan $\frac{1}{2}$.

Dengan asumsi bahwa nilai $n.C$ dari Persamaan (5) adalah konstan sebab tidak ada perubahan kedalaman, maka flux energi hanya merupakan fungsi dari energi gelombang. Dengan asumsi ini, maka Persamaan (5) dapat dibentuk kembali seperti berikut:

$$P = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Horikawa, (1978), memberikan rumusan tentang hukum kekekalan energi gelombang yang melalui suatu pemecah gelombang seperti diperlihatkan berikut :

$$\bar{P}_i = \bar{P}_r + \bar{P}_t + \bar{P}_a \quad \dots\dots\dots (7)$$

Dengan $\bar{P}_i, \bar{P}_r, \bar{P}_t$ adalah transfer energi gelombang rata-rata (energi flux) yang datang, refleksi dan transmisi persatuan lebar gelombang persatuan waktu, serta \bar{P}_a adalah kehilangan energi gelombang rata-rata per satuan lebar gelombang persatuan waktu. Gelombang yang datang membentur sebuah penghalang terapung, sebagian energinya akan direfleksikan, sebagian akan ditransmisikan melalui struktur dan sebagian lagi akan dihancurkan/diserap oleh struktur yang dinyatakan dengan kehilangan energi (Sorenson, 1978).

Dengan mensubstitusikan Persamaan (6) ke Persamaan (7), diperoleh Persamaan berikut (Paotonan.C, 2006) :

$$\frac{\rho g H_i^2 L}{8} = \frac{\rho g H_r^2 L}{8} + \frac{\rho g H_t^2 L}{8} P_a \quad \dots\dots\dots (8)$$

Jika suku sebelah kanan dan kiri Persamaan diatas dibagi dengan $\frac{\rho g H_i^2 L}{8}$, maka diperoleh Persamaan berikut (Paotonan. C, 2006) :

$$\frac{H_r^2}{H_i^2} + \frac{H_t^2}{H_i^2} + P_a = 1 \dots\dots\dots (9)$$

Apabila perbandingan antara tinggi gelombang refleksi dengan tinggi gelombang datang disebut dengan koefisien refleksi dan diberi simbol K_r , serta perbandingan antara tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang disebut koefisien transmisi dan diberi simbol K_t . Sedangkan koefisien kehilangan energi diberi simbol K_d , maka Persamaan (9) dapat ditulis :

$$K_r + K_t + K_d = 1 \dots\dots\dots (10)$$

dengan :

- $K_t = \frac{H_t}{H_i}$ = koefisien transmisi gelombang
- $K_r = \frac{H_r}{H_i}$ = koefisien refleksi gelombang
- K_d = koefisien kehilangan energi gelombang

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Gowa, dengan rencana waktu penelitian selama 6 bulan.

Variabel Penelitian

Variabel terikat yang diteliti adalah tinggi gelombang transmisi (H_t), tinggi gelombang refleksi (H_r), koefisien transmisi (K_t), koefisien refleksi (K_r) dan koefisien disipasi (K_d), variabel bebas dalam penelitian ini adalah periode gelombang (T), tinggi gelombang (H_i), kedalaman air (d), volume rongga (R) serta bentuk rongga (B).

Pelaksanaan Studi Model

Berdasarkan variabel yang akan diteliti, perancangan model pemecah gelombang sisi miring berlubang dan berongga didasarkan pada beberapa spesifikasi :

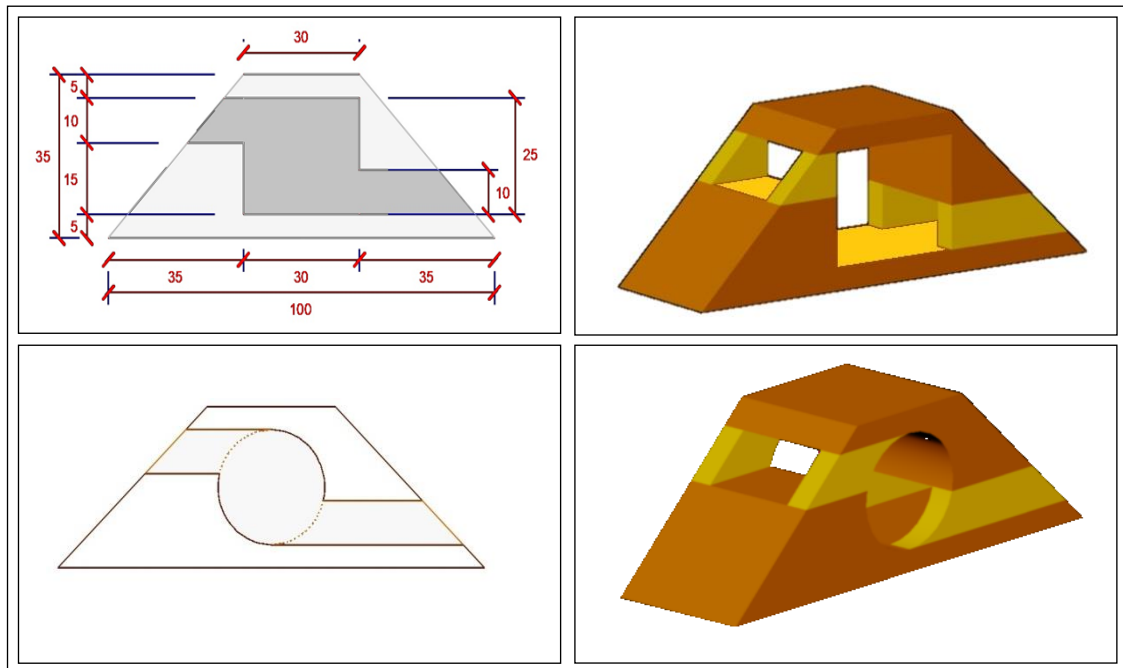
Pertimbangan fasilitas di laboratorium, bahan yang tersedia dan ketelitian pengukuran, sehingga digunakan skala model 1: 10, nilai skala model selengkapnya Tabel 3.

Tabel 2. Skala Model

Variabel	Notasi	Skala
Skala tinggi	nH	10
Skala Panjang	nL	10
Kedalaman	nd	10
Waktu (periode)	nT	1,20

- a. Model terbuat dari bahan akrilik yang dibuat rongga dengan bentuk persegi dan bulat dengan volume rongga yang tertentu.

- b. Lebar model (B) = 30 cm dan tinggi model (h) = 35 cm, disesuaikan dengan lebar *wave flume* yang tersedia.



Gambar 1. Model struktur pemecah gelombang sisi miring berongga

- c. Parameter model yang diteliti adalah bentuk rongga (B) adalah bentuk persegi ($B1$) dan bulat ($B2$), serta volume rongga (V) dengan ukuran tertentu. Variasi parameter model diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Variasi parameter model

No.	Jenis Variasi	Jumlah Variasi
1.	Bentuk rongga (B)	3 variasi
2.	Volume rongga (V)	3 variasi

- d. Parameter gelombang yang diteliti adalah tinggi gelombang (H), periode gelombang (T), serta kedalaman air (d) dengan variasi 0,5h, 0,6h dan 0,7h cm (d disesuaikan dengan tinggi model = h). Variasi parameter gelombang diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4. Variasi parameter gelombang

No.	Jenis Variasi	Jumlah Variasi
1.	Tinggi gelombang (H)	3 variasi
2.	Periode gelombang (T)	3 variasi
3.	Kedalaman air (d)	3 variasi

Rancangan Simulasi

Model diletakkan pada saluran gelombang (*wave flume*) pada posisi yang tepat sehingga efektif terhadap gelombang datang maupun gelombang refleksi di depan model. Rancangan simulasi model dengan parameternya diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rancangan simulasi

Model	Bentuk rongga (B)	Volume rongga (V_r)	Kedalaman air (d)	Tinggi Gel. (H)	Periode (T)
1	B1	Vr1	3 variasi	3 variasi	3 variasi
		Vr2	3 variasi	3 variasi	3 variasi
		Vr3	3 variasi	3 variasi	3 variasi
2	B2	Vr1	3 variasi	3 variasi	3 variasi
		Vr2	3 variasi	3 variasi	3 variasi
		Vr3	3 variasi	3 variasi	3 variasi

Pelaksanaan Simulasi

Sebelum melakukan pengambilan data terlebih dahulu mengukur kedalaman air (d) terhadap tinggi model (h) dengan variasi 0,5h, 0,6h dan 0,7h cm

Pelaksanaan Simulasi

Dalam pengambilan data pengamatan tinggi gelombang diukur dan dicatat pada 9 titik di depan dan di belakang model, dengan jarak tiap titik pengukuran adalah panjang gelombang dibagi 8. Pengukuran tinggi gelombang dilakukan pada saat gelombang yang dibangkitkan pada kondisi stabil, yaitu beberapa saat setelah gelombang dibangkitkan.



Gambar 2. Saluran pembangkit gelombang (Wave Flume)

Prosedur Simulasi Model

Secara garis besar prosedur simulasi model dan perolehan data adalah :

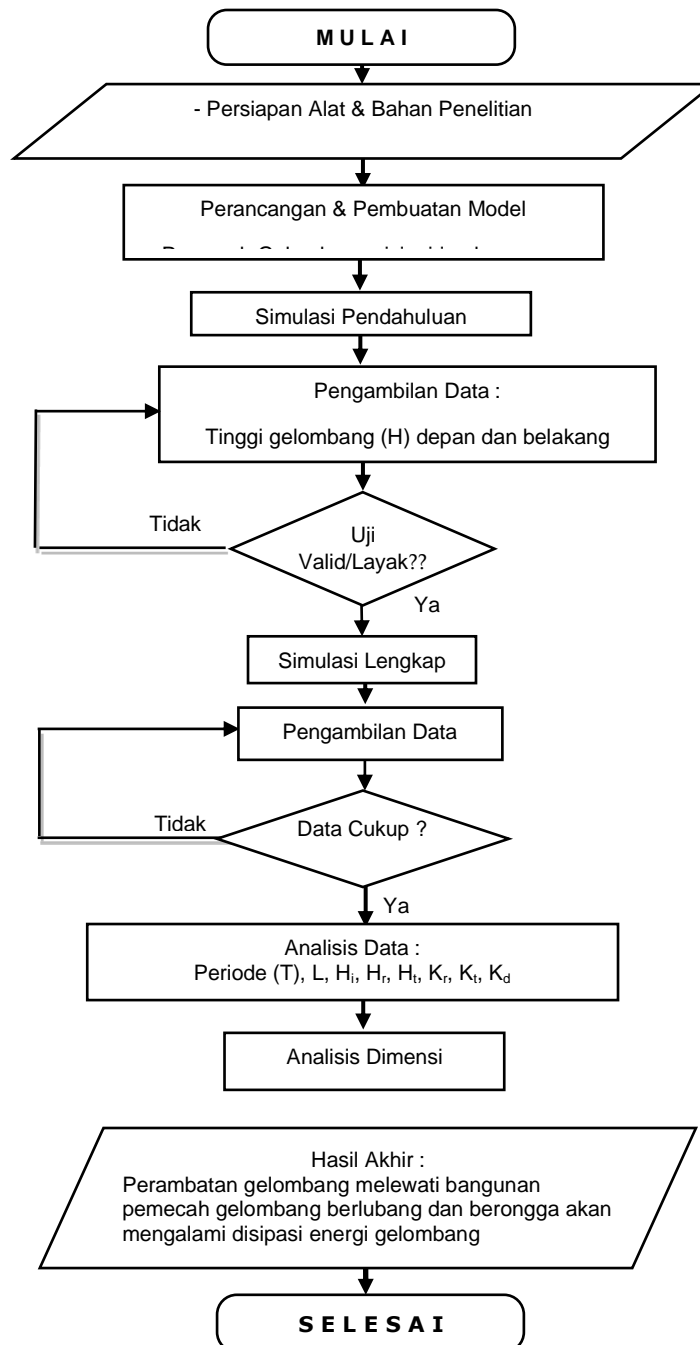
- Mula-mula model diletakkan pada jarak ± 9 m dari pembangkit gelombang dimana ukuran flume yang digunakan sepanjang 15 m.
- Percobaan pembangkitan gelombang dilakukan untuk melakukan kalibrasi alat pencatatan tinggi gelombang.
- Setelah semua komponen siap, pelaksanaan pengamatan dimulai dengan membangkitkan gelombang dengan menekan tombol star pada kontrol pembangkit gelombang.

- d. Tinggi gelombang maksimal dan minimum diukur dan dicatat pada masing-masing 9 titik di depan dan di belakang model.

Analisis Dimensi

Dalam merencanakan pengujian model dan penyajian hasil eksperimen, diperlukan analisis dimensi terhadap permasalahan eksperimen. Hal ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi parameter-parameter yang penting sehingga dapat mengatur variable-variabel yang diuji akan sesuai.

Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. Bagan alir penelitian

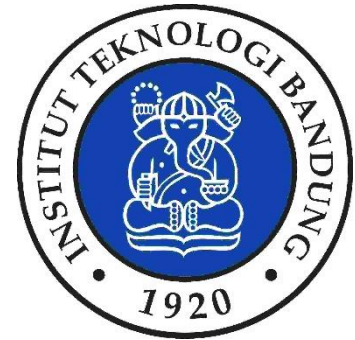
HASIL PENELITIAN YANG DIHARAPKAN

1. Menemukan pengaruh kedalaman air (d) pada pemecah gelombang sisi miring berongga terhadap deformasi gelombang.
2. Menemukan hubungan parameter kedalaman air (d) pada pemecah gelombang sisi miring terhadap koefisien transmisi (K_t) dan koefisien refleksi (K_r) dan koefisien disipasi (K_d).
3. Menemukan rumusan model hubungan parameter kedalaman air (d) serta parameter gelombang terhadap disipasi energi gelombang pada pemecah gelombang sisi miring berongga.

DAFTAR PUSTAKA

- Arkal Vittal H., L. Ravikiran., (2013), Wave Structure Interaction For Submerged Quarter Circle Breakwaters of Different Radii-Reflection Characteristics, World Academy Of Science Engineering and Technology, Volume 10
- Binumol.S, Subba Rao, and Arkal Vittal Hegde., 2015. Runup And Rundown Characteristics Of An Emerged Seaside Perforated Quarter Circle Breakwater. Aquatic Procedia, Vol .4, pp 234 – 239.
- Dean R.G., and Dalrymple R.A., 1984. Water Waves Mechanics for Engineers and Scientist, Practice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Dwipuspita, A., I., 2014. Coastal Protection Model As A Wave Energy Catcher. Magister Thesis, Civil Engineering Department, Hasanuddin University, Makassar
- Hagiwara, K., 1984, Analysis of Upright Structure for Wave Dissipation Using Integral Equation, Proc. 19th Conf. on Coastal Engineering A.S.C.E. pp. 2810–2826.
- Horikawa Kiyoshi, 1978, Coastal Engineering (An Introduction to Ocean Engineering), University of Tokyo Press, Japan.
- Jarlan, G.E., 1961, A Perforated Vertical Wall Break- water. Dock Harbour Auth. XII 486, pp. 394–398.
- Kiran G., 2013, Wave Transmission Of Submerged Inclined Serrated Plate Breakwater, International Journal Of Chemical, Volume 1
- Koley, S., Sarkar, A., and Sahoo, T., 2015. Interaction Of Gravity Waves With Bottom-Standing Submerged Structures Having Perforated Outer-Layer Placed On A Sloping Bed. Applied Ocean Research, Vol.52, pp 245–260.
- Koraim, A. S., 2014. Hydrodynamic Efficiency Of Suspended Horizontal Rows Of Half Pipes Used As A New Type Breakwater. Ocean Engineering. Vol.64, pp 1-22.
- Koraim, A. S., E.M. Heikal, and A.A. Abo Zaid, 2014. Hydrodynamic Characteristics Of Porous Seawall Protected By Submerged Breakwater. Applied Ocean Research. Vol.46, pp 1–14.
- Moussa S. Elbisy, 2015. Estimation Of Regular Wave Run-Up On Slopes Of Perforated Coastal Structures Constructed On Sloping Beaches, Ocean Engineering, Vol.109, pp 60–71.
- Paotonan, C., Nur Yuwono, Radianta Triatmadja, dan Bambang Triatmodjo, 2010, Pendekatan Teoritis dan Eksperimental Transmisi Gelombang melalui Pemecah Gelombang Bawah Air, Proceeding PIT HATHI, Surabaya.
- Puspita A.Ildha Dwi, Pallu M. S., Thaha A. dan Maricar F.. 2018. Breaker Parameter Pada Owec Breakwater Dan Pengaruhnya Terhadap Debit Overtopping. Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS). Inovasi, Inovasi dan Riset Keselamatan Dan Kesehatan Kerja untuk Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan 2 Oktober 2018, ISSN 2477-00-86
- Ruey-Syan Shih, 2012. Experimental Study On The Performance Characteristics Of Porous Perpendicular Pipe Breakwaters. Ocean Engineering. Vol.50, pp 53-62.
- Sorensen, Robert M., 1978, Basic Coastal Engineering, John Wiley & Son.

- Tamrin, 2015. Study Effect of Surface Porosity for Weight Perforated Concrete Block Breakwater, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol. 4.
- Tamrin, Pallu S., Parung H., Thaha A., 2015. Experimental Study of Perforated Concrete Block Breakwater. International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol.14, No.03.
- Thaha A., Maricar F., Aboe A. F., Puspita A.I.Dwi. 2015. The Breakwater, From Wave Breaker To Wave Catcher. ScienceDirect Procedia Engineering. 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC). Vol. 116. pp 691 – 698.
- Thaha A, Mukhsan P H , Subhan, M A., and Puspita A.I.Dwi. 2018. Single Slope Shore Protection as a Wave Energy Catcher. MATEC Web of Conferences, ICCOEE.
- Thaha A, Puspita A.I.Dwi, Minggu W, and Haeruddin. The Performance Of Perforated Screen Seawall In Dissipating Waves, Minimizing Reflected Wave And Run-Up/Run-Down
- Thaha A dan Puspita A.I.Dwi. 2011. Studi Model Disipasi Dan Run-Up/Run-Down Gelombang Pada Revetment Bertirai. Seminar Nasional-1 Bmpttssi Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Triatmojo, Bambang. 1999. Teknik Pantai. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B., Teori Gelombang I, Fakultas Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yong Liu and Carla Faraci. 2014. Analysis Of Orthogonal Wave Reflection By A Caisson With Open Front Chamber filled With Sloping Rubble Mound. Elsevier. Coastal Engineering. Vol. 91 : 151–163



4

REKAYASA DAN MANAJEMEN TRANSPORTASI

Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2019

Bandung, 5 November 2019

PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL BATU LATERIT DAN PASIR MAHAKAM DALAM CAMPURAN ASPAL KARET TERHADAP JUMLAH SIKLUS PEMBEBANAN

Karminto¹, Sakti Adji Adisasmita², Sumarni Hamid Aly³ dan Muralia Hustim⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: karminto_m@yahoo.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: adjiadisasmita@yahoo.com

³ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: marni_hamidaly@yahoo.com

⁴ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: muraliahustim@yahoo.com

ABSTRAK

Batu laterit dan pasir Mahakam merupakan salah satu material yang banyak terdapat di Kalimantan Timur dan dianggap sebagai material substandard. Dikatakan substandard karena salah satu dari sifat fisik dari material tersebut tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jumlah siklus pembebanan yang dihasilkan dari pengujian fatigue campuran aspal karet yang menggunakan batu laterit dan pasir Mahakam sebagai agregat. Penelitian ini berbentuk eksperimental di laboratorium. Alat uji *Four Point Bending Beam Machine* (tipe CRT-SA4PT-BB) digunakan untuk mengetahui jumlah siklus pembebanan yang dihasilkan dari campuran. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah mendapatkan umur kelelahan campuran aspal karet dengan batu laterit dan pasir Mahakam sebagai agregat yang didapatkan dari jumlah siklus pembebanan pengujian fatigue.

Kata kunci: batu laterit, pasir Mahakam, siklus pembebanan

PENDAHULUAN

Provinsi Kalimantan Timur mempunyai luas wilayah dan daratan sekitar 12.726.752 ha yang terdiri dari daratan seluas 12.533.681 ha dan perairan darat seluas 193.071 ha. Sebagai provinsi terluas ketiga, Provinsi Kalimantan Timur memiliki luas wilayah mencapai 6,66 persen dari luas wilayah Indonesia. Kalimantan Timur mempunyai panjang ruas jalan Nasional 1.493,68 km yang terdiri dari 1.357,25 km jalan beraspal, 63,27 km dengan perkerasan kaku dan 73,16 km masih agregat dan tanah, belum termasuk panjang jalan kabupaten dan jalan kota. Sehingga sarana dan prasarana transportasi sangat diperlukan karena merupakan komponen yang penting dalam penunjang aksesibilitas pembangunan, dengan adanya bahan material jalan yang awet dan memadai akan mempercepat proses pembangunan, bahan perkerasan (agregat) dan aspal merupakan bahan perekat perkerasan jalan merupakan komponen penting dalam pembangunan jalan baru maupun rehabilitasi jalan yang sudah ada.

Masalah yang dihadapi pemerintah provinsi Kalimantan-Timur tentang pembangunan jalan saat ini adalah minimnya ketersediaan material lokal, Kebutuhan material untuk pembangunan perkerasan jalan di Kalimantan Timur, selama ini masih sangat tergantung dari batu dan pasir palu, sehingga biaya konstruksi jalan di Kalimantan Timur menjadi mahal. sehingga perlunya penelitian tentang mutu agregat lokal batu laterit dan bahan pengikat untuk perkerasan aspal, penelitian tersebut yang bisa dilakukan diantaranya adalah mencari alternatif dengan memanfaatkan batu laterit sebagai pengganti batu palu dan menambah *crumb rubber* pada perkerasan aspal, alasan penggunaan batu laterit karena ketersediaannya cukup banyak dibandingkan dengan batu gunung serta bahan tambah pengikat karet karena bahan ramah lingkungan dan dapat didaur ulang, mengurangi kebisingan dan solusi alternatif dalam mengurangi limbah ban karet yang ada.

Menurut data Direktorat Jenderal Mineral, batu bara dan Panas Bumi tahun 2010, Indonesia adalah salah satu negara penghasil laterit terbesar di dunia dengan total 1,463,843,000 ton dari hasil pemetaan tahun 2010) dimana 50% terdapat di Kalimantan. Diprediksi hampir 70% jenis Batu Laterit yang ada di Kalimantan adalah yang kualitas baik dan dapat dimanfaatkan untuk bahan-bahan pembuatan konstruksi bangunan maupun kontruksi jalan sehingga dapat bernilai ekonomis dan dapat dijadikan mata pencarian warga sekitar yang memiliki gunung laterit. Di beberapa daerah lain sudah memanfaatkan batu laterit ini untuk bahan campuran dalam membuat komponen pada bangunan, seperti beton ringan (Wikipedia).

Untuk memenuhi fungsi sebagai lapisan perkerasan yang meneruskan beban lalu lintas menuju ke pondasi, dilakukan dengan meningkatkan sifat fleksibilitas dan ketahanan campuran aspal terhadap air, dalam hal ini dibutuhkan bahan lain yang dapat meningkatkan kualitas bahan penyusun lapisan perkerasan. Salah satunya adalah penggunaan crumb rubber yang berasal dari limbah karet ban yang diolah melalui proses Ambient grinding, dimana ban bekas diparut dan digiling ukuran lolos saringan No.4 (4.75 mm) pada temperatur ruang yang nantinya digunakan sebagai bahan tambah pada campuran aspal lapis pengikat (AC-BC), karet ban mempunyai komposisi zat karet tinggi yang mampu meningkatkan fleksibilitas pada campuran aspal

Ban bekas merupakan bagian utama dari masalah pengelolaan limbah padat dunia. Setiap tahun Indonesia memerlukan ban sekitar 51 juta - 53 juta per tahun. Hampir setengah dari ban bekas tersebut ditimbun atau ditimbun dengan sisanya didaur ulang, diekspor dan dibuang secara ilegal. Jika alternatif pembuangan TPA tidak ditemukan, biaya pembuangan akan meningkat dan pembuangan ilegal atau penyimpanan yang tidak memadai akan terus memburuk. Resiko kebakaran yang terkait dengan pembuangan ilegal berpotensi menyebabkan kerusakan lingkungan yang signifikan. Populasi kendaraan yang ada di seluruh bagian Indonesia mencapai 124.348.224 unit. Data tersebut didapat dari pendaftaran registrasi kendaraan terhitung sampai Juli 2016. Setiap tahun dikatakan pertumbuhan kendaraan enam juta unit per tahun. Sebesar 10 – 15 persen kontribusinya berasal dari mobil dan akibatnya jumlah ban bekas yang muncul di Indonesia cenderung meningkat. Dalam pasar daur ulang yang meluas, hanya dua aplikasi, sampai saat ini dan telah menunjukkan potensi untuk menggunakan sejumlah besar ban bekas, (i) bahan bakar untuk pembakaran dan (ii) *crumb rubber asphalt* untuk perkerasan aspal. Meski pembakaran bisa menghabiskan jutaan ban, itu bukan solusi lingkungan yang ideal. Satu-satunya alternatif yang potensial dapat dimanfaatkan yaitu dengan menggunakan *crumb rubber asphalt* untuk perkerasan aspal. Dalam dua dekade terakhir, pemanfaatan ban bekas sebagai bahan konstruksi jalan telah menjadi sarana yang populer untuk meminimalkan pencemaran lingkungan.

Dari hasil survey dilokasi penelitian ini dilakukan karena melimpahnya material agregat kasar (batu laterit), pasir Mahakam dan limbah karet belum termanfaatkan secara optimal sumber daya alam yang ada khususnya untuk berbagai kepentingan konstruksi perkerasan jalan Sehingga bermanfaat sebagai alternative bahan material untuk campuran aspal beton.

Menurut Mc Quillen and Hicks, (1987), dibandingkan aspal konvensional, *crumb rubber asphalt* memiliki kelebihan yaitu memiliki viskositas yang lebih tinggi pada suhu 60°C, lebih tahan lama dan mempunyai permukaan yang lebih elastis. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemakaian *crumb rubber asphalt* pada perkerasan jalan raya telah terbukti dapat mengurangi dampak *cracking* pada *overlay*, mengurangi biaya pemeliharaan, meningkatkan ketahanan terhadap *cracking* dan *rutting* pada perkerasan baru, meningkatkan *skid resistance* dan umur perkerasan, serta mengurangi tingkat kebisingan. Berdasarkan hasil penelitian Sugiyanto (2008) penggantian agregat dengan serbuk ban bekas mampu menambah ketahanan campuran aspal terhadap air, sehingga dapat mengurangi kerusakan jalan. Penggunaan *crumb rubber* pada campuran lapis aspal beton dapat memberikan manfaat untuk mendaur ulang atau memberikan manfaat kembali limbah karet dimana limbah karet kendaraan tidak dapat dipakai kembali dan tidak larut di dalam tanah maupun air tanah.

Suatu lapis permukaan perkerasan jalan memiliki kemampuan sebagai lapis aus dan juga ketika tidak terjadi perubahan bentuk yang tetap dalam masa layan. Salah satu penyebab kerusakan atau

tidak mencapainya umur layanan jalan tersebut adalah bertambahnya tingkat kepadatan lalu lintas. Menurut Tayfur *et al.*, 2005 dan Birgisson *et al.*, 2007 pengulangan beban lalu lintas sebagai akibat dari kepadatan lalu lintas menyebabkan terjadinya akumulasi deformasi permanen pada campuran beton aspal sehingga mengalami penurunan kinerja jalan dalam masa layan. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan bahan tambah (*additive*) ke dalam campuran.

Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya tekanan atau beban diterapkan tiga dimensi. Oleh karena itu, sejumlah pengujian yang telah disederhanakan, diperkenalkan untuk dapat menguji sejumlah aspek-aspek tertentu dari perilaku in-situ. Pengujian tersebut dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok pengujian pertama adalah pengujian dasar uji beban berulang triaksial (*repeated load triaxial test*), uji tekan statik untuk rangkai (*unconfined static uniaxial creep compression test*), uji beban tarik berulang (*repeated load indirect tensile test*), uji dinamik kekakuan dan kelelahan (*dynamic stiffness and fatigue tests*). Kelompok pengujian kedua adalah pengujian simulasi di laboratorium (*simulative*): Uji Roda-pelacakan (*wheel-tracking test*) dan kelompok pengujian yang ketiga adalah pengujian empiris dengan uji Marshall (*Marshall tests*), (*Shell Bitumen Handbook*, 2013).

Dari uraian-uraian diatas, peneliti memandang perlu melakukan penelitian tentang kinerja campuran AC-BC dengan menggunakan material lokal (batu laterit dan pasir mahakam) dengan bahan pengikat aspal dan modifikasi bahan tambah karet, dengan menguji sifat fisik dari batu laterit sesuai dengan standar perkerasan jalan.

Pengujian awal dilakukan pada agregat batu laterit dan kadar aspal optimum dan juga agregat dengan variasi crumb rubber. Dari hasil pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles diperoleh keausan agregat sebesar 22,5 %. Nilai ini memenuhi syarat agregat menurut spesifikasi umum 2010 revisi 3 yaitu keausan agregat dengan mesin Los Angeles untuk campuran AC Maksimal 40 %.

Hasil pengujian karakteristik Marshall pada kondisi KAO 5,4 % dengan penambahan kadar batu laterit 100 % didapatkan nilai Marshall properties, yaitu : Stabilitas sebesar 1396 kg (min 1000 kg), Flow sebesar 4,02 mm (min 3 mm), Marshall Quotient sebesar 352,22 kg/mm, VIM sebesar 10,65 (3-5%) %, VMA sebesar 22,11 % (min 14 %)

Hasil pengujian karakteristik Marshall kondisi KAO (5,4 %) dengan penambahan kadar crumb rubber 2%, didapatkan nilai Marshall properties yaitu : Stabilitas sebesar 1111 kg (min 1000 kg), Flow sebesar 7,46 mm (min 3 mm), Marshall Quotient sebesar 155,5 kg/mm, VIM sebesar 4,93 (3-5%) %, VMA sebesar 16,66 % (min 14 %). Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis sifat mekanik campuran AC-BC yang menggunakan *Crumb Rubber Modified*.
2. Menganalisis interaksi *crumb rubber* dengan aspal dengan proses kering *crumb rubber modified* sebagai bahan utama pada pengujian kimia dan rheology aspal.
3. Menemukan perilaku fatigue campuran AC-BC yang menggunakan *Crumb Rubber Modified*.

TINJAUAN PUSTAKA

Isu Strategis Pemanfaatan Batu Laterit dan Limbah Karet dalam Campuran Beraspal

Indonesia merupakan negara penghasil karet nomor dua terbesar didunia setelah Thailand. Produksi karet alam Indonesia saat ini sekitar 3,2 juta ton dengan luas lahan perkebunan sekitar 3,4 juta hektar. Produksi karet dalam negeri sekitar 85% masih di ekspor dalam bentuk karet mentah dan sisanya untuk konsumsi dalam negeri. Rendahnya permintaan ekspor karet mentah menyebabkan kelebihan suplai dalam negeri sehingga harga karet turun drastis. Salah satu upaya untuk menstabilkan harga karet adalah dengan meningkatkan konsumsi domestik. Untuk mendukung hal

tersebut maka Kementerian PUPR melalui Pusjatan Balitbang dan Kementerian Perindustrian berupaya untuk memanfaatkan karet alam dalam bidang infrastruktur, salah satunya sebagai bahan tambah untuk aspal (aspal karet).

Bertolak dari upaya meningkatkan penyerapan karet alam dalam negeri dan kebutuhan aspal kinerja tinggi, Pusjatan melakukan litbang mengenai karet alam sebagai modifier aspal sejak 2007. Penelitian aspal karet merupakan salah satu penelitian yang dilakukan Pusjatan dalam memanfaatkan karet alam yang digunakan adalah karet pekat (lateks) yang memiliki kandungan karet kering 60% (KKK 60). Berdasarkan hasil monitoring dan uji coba lapangan menunjukkan bahwa pada perkerasan dengan aspal karet muncul bercak-bercak putih dan mulai terjadi kerusakan pada umur 18 bulan sampai kinerjanya dibawah perkerasan dengan aspal Pen 60. Hal ini disebabkan karena masih digunakan karet alam yang belum melalui proses vulkanisasi sehingga mudah mengalami penuaan (aging) oleh sinar ultra violet.

Proses penelitian dan pengembangan aspal karet mengalami beberapa kendala, seperti pada proses pencampuran aspal dan karet cair langsung di tangki aspal AMP selama 4 jam pada temperature 150°C sehingga menambah waktu produksi dan meningkatkan biaya. Untuk menjaga konsistensi produk aspal karet disarankan proses pencampuran aspal dan karet alam cair dilakukan di bitumen plant. Demikian juga dengan karet alam padat, untuk menghasilkan campuran aspal karet yang homogen pada skala lapangan dibutuhkan 2 mesin colloid mill. Inlet untuk mesin colloid mill maksimal untuk material ukuran 2 cm sehingga perlu pemotongan master batch agar dapat dimasukkan kedalam colloid mill. Tahun 2015 Kementerian PUPR dengan Kementerian Perindustrian dan Puslit Karet melakukan pengembangan aspal karet sebagai modifier aspal. Dan Tahun 2017 dilakukan penghamparan di beberapa tempat. Penghamparan yang dilakukan antara lain pada ruas jalan raya Parung – Depok pada Minggu dini hari 5 November 2017. Penghamparan sepanjang 500 m untuk perkerasan aspal karet padat master batch dan 100 m untuk perkerasan aspal Pen 60 sebagai pambanding.

Crumb Rubber (Karet Padat Ban Bekas)

Sebagai pelapis ban bekas, lapisan ini berbentuk lembaran karet yang lunak sehingga mudah untuk dibentuk. Lapisan ini tidak begitu mendapatkan banyak perhatian dari orang. Komposisi ban terdiri dari empat bahan utama : karet, karbon hitam, logam dan tekstil. Bahan yang tersisa adalah aditif, yang memudahkan pencampuran, dan vulkanisir. Tabel 1 adalah versi gabungan dari komposisi ban umum pada ban mobil dan truk (Shulman, 2000). Secara umum, ban terdiri dari karet alam dan sintetis. Proporsi bervariasi sesuai dengan ukuran dan penggunaan ban. Aturan umum yang berlaku umum adalah bahwa semakin besar ban dan penggunaannya yang lebih kasar, semakin besar rasio karet alam terhadap karet sintetis. Komponen terpenting kedua dari ban adalah karbon hitam. Karbon hitam terutama digunakan untuk meningkatkan kekakuan pada tapak ban untuk meningkatkan daya tarik, mengendalikan getaran dan mengurangi aquaplaning; di dinding samping untuk menambahkan fleksibilitas dan untuk mengurangi panas (Shulman. 2000).

Tabel 1. Perbandingan ban mobil penumpang dan truk

Material	Car	Truk
Rubber/Elastomers	48%	45%
Carbon Black	22%	22%
Metal	15%	25%
Textile	5%	-
Zinc Oxide	1%	2%
Sulphur	1%	1%
Additives	8%	5%

Crumb Rubber adalah produk karet daur ulang yang ramah lingkungan karena diperoleh dari daur ulang limbah berbahan dasar karet ban bekas. *Crumb Rubber* memiliki kelebihan seperti : daya lekat yang bagus, kokoh, awet dan tahan lama, lebih tahan terhadap bensin dan minyak pelumas serta tahan terhadap cuaca.

Crumb Rubber bisa didapatkan dengan proses pengolahan daur ulang *ambient grinding*. *Ambient grinding* adalah suatu metode proses dimana ban bekas diparut, digiling yang diproses pada temperatur ruang. Bahan utama dari *Crumb Rubber* pada umumnya berasal dari limbah karet ban bekas.



Gambar 1. Butiran *crumb rubber* (Suhaemi (2013))

Pada penelitian yang dilakukan Lievana Emililiano Julian (2005), kandungan kimia *Crumb Rubber* memiliki unsur unsur penyusun yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi zat ban (Lievana Emililiano Julian, 2005)

Bahan	Zat Ban Kendaraan (%)
Karet	48
Karbon <i>black</i>	22
Logam	15
Tekstil	5
Zinc Oksida	1
Sulfur	1
Bahan Aditif	8

Batu Laterit dan Pasir Mahakam

Batu laterit adalah tanah yang mengeras menyerupai batu dari hasil pengendapan zat-zat seperti nikel dan besi. Laterit sendiri terbentuk secara alami yang didalamnya banyak terkandung unsur dan zat-zat hara yang membentuk lapisan tanah tersebut mengeras seperti batu. Dahulu kala batu laterit sering dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bata karena ketika lembab laterit mudah dipotong, namun setelah terkena udara dalam waktu yang lama akan mengeras seperti batu. Laterit banyak ditemui di wilayah beriklim tropis yang panas dan lembab. akibat dari kandungan oksida besi dan nikel yang begitu banyak sehingga menjadikan tanah laterit mengeras menyerupai batu. Komposisi mineral dan kimia di dalam batu [laterit](#) sangat berpengaruh pada batuan induknya, laterit umumnya mengandung sejumlah besar kwarsa dan oksida titanium, zirkon, besi, timah, mangan dan aluminium, yang tertinggal dari dari proses pengausan (Inco, 2005). Gambar 2 memperlihatkan batu laterit Kalimantan Timur.



Gambar 2. Batu laterit Kalimantan Timur

Menurut Yves Tardy, peneliti dari *French Institut National Polytechnique De Toulouse And The Centre National De La Recherche Scientifique*, memperkirakan bahwa jenis laterit menutupi sekitar sepertiga dari seluruh daratan di dunia. Lapisan ini adalah sublapisan dari hutan-hutan di [khatulistiwa](#), sabana-sabana di wilayah tropis yang lembab. Negara-negara yang kaya akan jenis laterit adalah Brazil, Australia, Guatemala, Kolombia, Eropa Tengah, Myanmar, Kuba, [Indonesia](#) dan Filipina. Beberapa penemuan geografis menunjukkan bahwa deretan batu laterit banyak digunakan sebagai fondasi kuil-kuil di Kamboja pada abad ke-9 dan ke-12. Indonesia adalah salah satu penghasil laterit terbesar di dunia dengan total 1,063,843,000 ton dari hasil pemetaan tahun 2004 dimana 50% terdapat di [Pulau Kalimantan](#). Diprediksi hampir 70% jenis batu laterit yang ada di Kalimantan adalah yang kualitas baik dan dapat dimanfaatkan untuk bahan-bahan pembuatan [elemen konstruksi](#) bangunan sehingga dapat bernilai ekonomis dan dapat dijadikan mata pencarian warga sekitar yang memiliki gunung laterit.

Pasir berasal dari sungai Mahakam, Tenggarong Kalimantan yang berada pada daerah pertambangan sehingga mengandung partikel berwarna hitam yang berasal dari batubara, akan tetapi bentuknya masih menyerupai pasir biasa seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pasir Mahakam

Karakteristik Mekanik Campuran Beraspal

Kekakuan

Modulus kekakuan merupakan indikator kinerja penting untuk campuran aspal terutama lapisan pengikat dan bahan dasar. Kekakuan elastis di perkerasan adalah ukuran kemampuan material untuk menyebarkan pemuatan lalu lintas di suatu area. Campuran dengan kekakuan elastis tinggi menyebar melebihi area yang lebih luas yang mengurangi tingkat regangan suhu lebih rendah pada struktur perkerasan, bergantung pada suhu dan frekuensi pemuaian. Kekakuan material bitumen dapat digunakan dalam perhitungan ketebalan lapisan yang dibutuhkan pada desain perkerasan. Parameter kekakuan umumnya dievaluasi sebagai rasio antara tegangan maksimum dan regangan maksimum (persamaan 1).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

Dimana:

E = *elastic stiffness* (MPa)

σ = *stress* (N/mm²)

ε = *strain*

Modulus elastisitas untuk suatu benda mempunyai batas regangan dan tegangan elastisitasnya. Batas elastisitas suatu bahan bukan sama dengan kekuatan bahan tersebut menanggung tegangan atau regangan, melainkan suatu ukuran dari seberapa baik suatu bahan kembali ke ukuran dan bentuk aslinya. Nilai elastisitas diperoleh dari tegangan yang dibagi dengan regangan yang diperoleh dari material yang diuji.

Fatigue

Kelelahan dapat didefinisikan sebagai tekanan berulang atau berfluktuasi yang memiliki nilai maksimum umumnya kurang dari kekuatan tarik material. Ini terdiri dari dua fase utama, inisiasi retak dan perambatan retak, dan disebabkan oleh tegangan tarik yang dihasilkan di perkerasan dengan tidak hanya pemuatan lalu lintas tetapi juga variasi suhu (Baca, 1996; Rao et al, 1990). Karakteristik kelelahan campuran aspal biasanya ditunjukkan dalam bentuk tegangan atau regangan awal dan jumlah pengulangan beban terhadap kegagalan dan dapat dinyatakan sebagai berikut (Monismith et al. 1985) :

$$N_f = A \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^b \left(\frac{1}{S_{max}}\right)^c \quad (2)$$

Dimana :

N_f = jumlah repetisi beban terhadap kegagalan

ε_t = regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan

S_{max} = kekakuan campuran

A, b, c = koefisien yang ditentukan secara eksperimen

Model Retak The Asphalt Institute (1982)

Persamaan retak fatik perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan adalah :

$$N_f = 0.0796 (\varepsilon_t)^{-3.291} (E)^{-0.854} \quad (3)$$

Dimana :

N_f = jumlah repetisi beban

ε_t = regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan

EAC = modulus elastis lapis permukaan

Model Retak Shell Pavement Design Manual

Berdasarkan hasil AASHTO road test, manual perencanaan perkerasan Shell mengembangkan persamaan yaitu :

$$N_f = 0.0685 (\epsilon_t)^{-5.671} (E_1)^{-2.363} \quad (4)$$

Dimana :

N_f = jumlah beban 18-kip ESALs

ϵ_t = regangan tarik di bawah lapisan aspal (AC)

E_1 = modulus resilient lapisan AC-BC

Model Retak Finn *et al*

Persamaan untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan adalah :

$$\log NF = 15,947 - 3,291 \log \left(\frac{\epsilon_t}{10^{-6}} \right) - 0,854 \log \left(\frac{E}{10^3} \right) \quad (5)$$

Dimana :

N_f = jumlah repetisi beban

ϵ_t = regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan

E = modulus elastis lapis permukaan

METODE PENELITIAN

Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan/material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Agregat kasar batu Laterit dan agregat halus pasir mahakam dan *filler* pasir mahakam
2. Crumb rubber yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 2-8 mm dan diayak untuk mendapatkan dua fraksi ukuran tunggal; melewati 6,3 mm dan bertahan pada 3,35 mm, dan melewati 3,35 mm dan bertahan pada 0,3 mm. Karena sebagian besar butiran Crumb rubber kurang dari 3,35 mm, kedua fraksi tersebut tidak ditempatkan dalam jumlah yang sama tetapi terdiri dari 20% < 6,3 mm dan > 3,35 mm dan 80% < 3,35 mm dan > 0,3 mm.
3. Aspal, yaitu aspal Pertamina penetrasi 40/60, 60/70, 160/220 yang diperoleh dari Polnes Samarinda.

Rancangan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, yang perlu dilakukan adalah membuat urutan atau prosedur kerja yang akan dilakukan. Prosedur kerja berfungsi sebagai pemandu dalam melakukan penelitian sehingga tidak ada tahapan yang terlewat. Langkah pertama yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah persiapan material, seperti agregat kasar (batu pecah), agregat halus (pasir) dan *filler*, aspal penetrasi 60/70 dan bahan pengganti agregat yaitu *crumb rubber* lolos saringan 6,3 mm. Langkah selanjutnya adalah melakukan pemeriksaan dan proporsi agregat untuk memperoleh agregat yang memenuhi spesifikasi laston AC-BC. Untuk aspal dilakukan pengujian sesuai spesifikasi aspal penetrasi 60/70. Untuk bahan pengganti agregat (*crumb rubber* lolos saringan 6,3 mm) dilakukan pengujian berat jenis dan titik lembek. Berdasarkan proporsi agregat dicari nilai persentase kadar aspal dalam campuran dan dibuat rancangan benda uji. Setelah benda uji terbentuk, pekerjaan dilanjutkan dengan pengujian *Marshall*. Dari pengujian *Marshall* didapatkan data yang menghasilkan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum ini digunakan untuk campuran dengan menggunakan bahan pengganti (*crumb rubber* lolos saringan 6,3 mm). Kemudian didapatkan data yang akan dianalisis dan ditarik kesimpulan. Metode yang digunakan adalah penelitian di laboratorium, dengan mengacu pada :

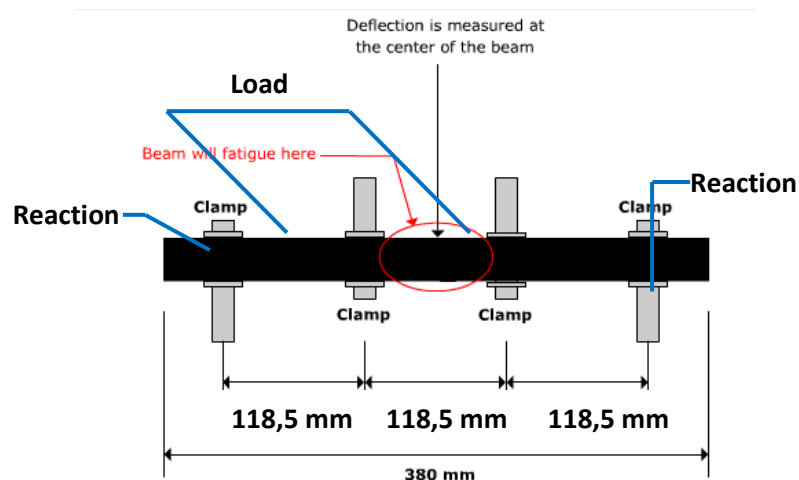
1. Standar Nasional Indonesia (SNI).
2. *American Association for Testing and Material (ASTM)*.
3. *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*.
4. *Strategic Highway Research Program (SHRP-A-383)*.

Pengujian Benda Uji

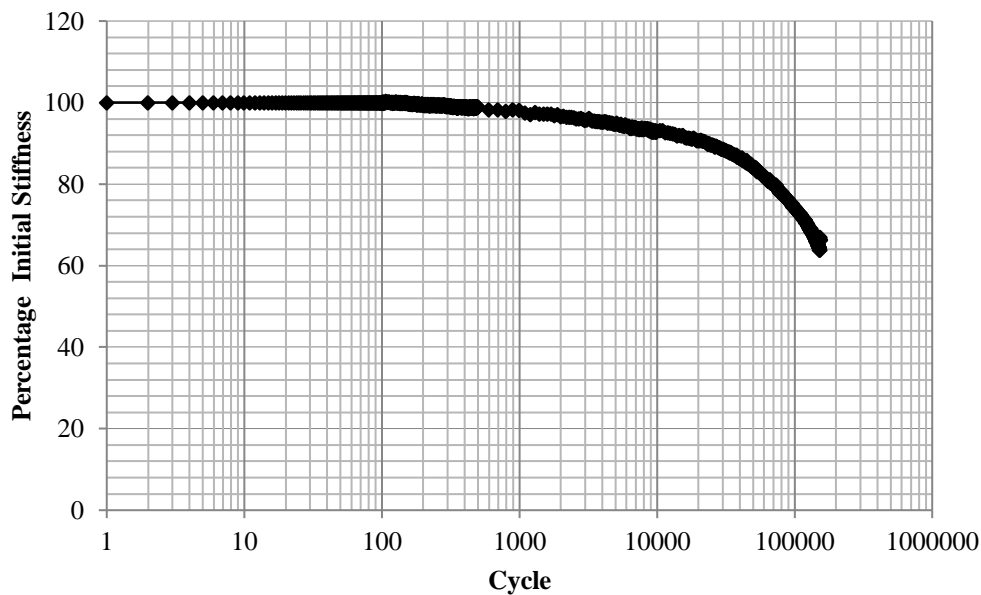
Alat uji yang digunakan untuk mengetahui pengaruh pembebanan berulang pada campuran beton aspal dalam penelitian ini, yaitu *Four Point Bending Beam Machine*. Dari pengujian pembebanan berulang tersebut, maka akan diketahui umur lelah suatu campuran beton aspal. Pada suatu desain perkerasan aspal yang baik, regangan yang dihasilkan akan rendah sehingga kelelahan bukan menjadi suatu masalah. Namun, ketika perkerasan mengalami pembebanan berulang kali akibat beban lalu lintas ataupun *overloading* yang sering terjadi di jalan akan mengakibatkan regangan yang cukup tinggi sehingga akan timbul keretakan akibat kelelahan campuran dan bertambahnya waktu akan menyebabkan kerusakan yang lebih pada suatu campuran beton aspal (Pavement Interactive, 2011).



Gambar 4. Alat uji four point bending beam machine



Gambar 5. Prinsip pengujian alat four point bending beam machine (Pavement Interactive, 2011)



Gambar 6. Hubungan modulus kekakuan dan siklus pembebanan dari alat uji

Dari pengujian menggunakan alat ini maka akan diperoleh gambaran grafik hubungan antara modulus kekakuan dengan jumlah siklus pembebanan campuran AC-WC hingga benda uji mengalami keruntuhan (modulus kekakuan berkurang 50% dari nilai modulus kekakuan awal) seperti terlihat pada Gambar 13. Umur kelelahan merupakan jumlah pengulangan pembebanan yang menyebabkan benda uji mengalami keruntuhan, sehingga dari grafik tersebut juga akan digambarkan bagaimana pengaruh pembebanan berulang terhadap kinerja campuran AC-WC.

Pengujian ini menggunakan standar sesuai dengan AASHTO T 321:07 Determining The Fatigue Life of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending.

HASIL YANG DIHARAPKAN

Penelitian mengenai campuran AC-BC sebagai konstruksi jalan telah banyak dilakukan, namun kebanyakan hanya menitik beratkan pada variasi agregat dan variasi temperatur, penelitian mengenai Crumb Rubber telah dilakukan sebelumnya dan lebih menitik beratkan pada karakteristik campuran perkerasan (stabilitas dan durabilitas), penelitian yang menitik beratkan pada stiffness, fatigue and rutting resistance untuk Crumb Rubber aspal terhadap beban berulang belum ada. Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Purnomo tahun 2012 dengan judul "Perancangan Laboratorium Campuran Perkerasan HRS-WC dengan Crumb Rubber sebagai Filler"
2. Penelitian yang dilakukan oleh Nurhidayat Delfianto tahun 2012 dengan judul "Tinjauan Durabilitas Campuran HRS-WC yang Menggunakan Limbah Crumb Rubber sebagai Pengganti Filler".
3. Pada dua penelitian diatas telah dilakukan pengujian terhadap karakteristik dan durabilitas aspal pen 60/70 yang telah dimodifikasi menggunakan Crumb Rubber dengan kadar 3%. Dengan campuran aspal yang digunakan adalah Hot Rolled Sheet sebagai wearing coarse.
4. Penelitian yang dilakukan oleh Berry Evaldo tahun 2014 dengan Judul "Kajian Laboratorium pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Crumb Rubber pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) terhadap Nilai Properties Marshall dan ITS" Pada penelitian ini didapatkan karakteristik properties Marshall dan ITS pada berbagai kadar tambahan Crumb Rubber. Properties Marshall dan ITS optimum didapatkan pada kadar penambahan Crumb Rubber 5% dan 10%.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), 1998a, Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing Part I : Specifications. 19th edition, Washington D.C.
- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), 1998b, Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing Part II : Tests. 19th edition, Washington D.C.
- AASHTO T 245-97 (ASTM D 1559-76). Resistance Plastic of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. American Society for Testing and Materials.
- Affandi F. (2006). Hasil pemurnian Asbuton Lawele sebagai bahan pada campuran aspal untuk perkerasan jalan. *Jurnal jalan – jembatan*, Vol. 23 No. 3, hal. 6 – 28.
- Affandi F. (2008). Karakteristik bitumen Asbuton butir pada campuran beraspal panas. *Jurnal jalan – jembatan*, Vol. 25 No. 3, hal. 350 – 368.
- Affandi F. (2008). Pengaruh Asbuton Semi Ekstraksi Pada Campuran Stone Mastic Asphalt. Bandung : Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Al-Hdabi A., Nageim H. A., Ruddock F., & Seton L. Laboratory Studies to Investigate The Properties of Novel Cold-Rolled Asphalt Containing Cement and Waste Bottom Ash. *Road Materials and Pavement Design*, Volume 15, Issue 1.
- Ali N., Samang L., Tjaronge, M.W., & Ramli M.I. (2012). Experimental study on effects of flood puddle to durability of asphaltic concrete containing Refined Butonic Asphalt. *Journal of The Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 9: 1364-1375.
- ASTM D 1559-89. Standard test method for resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall Apparatus.
- ASTM D6931 – 12, Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures.
- Birgisson B. et al. (2007). Determination and prediction of crack patterns in hot mix asphalt (HMA) mixtures. *Science Direct, Construction and Building Materials* : 664 -673.
- Budiamin, Tjaronge M.W., Aly S.H., & Djamaluddin R. (2015). Mechanical characteristics of hotmix cold laid containing Buton Granular Asphalt (BGA) and flux oil as wearing course. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(12): 5200-5205.**
- Gaus A., Tjaronge M.W., Ali N., & Djamaluddin R. (2015) Compressive strength of asphalt concrete binder corse (AC-BC) mixture using Buton Granular Asphalt (BGA). *Procedia Engineering, The 5th International Confrence of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)*, 125: 657-662.**
- Israil, M.W. Tjaronge, Nur Ali, Rudy Djamaluddin (2016). Extraction of Bitumen Asbuton as Asphalt Emulsion in Cold Asphalt Mix Ac-Wc. *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.

PENGARUH LIMBAH PLASTIK PET (*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*) TERHADAP NILAI KADAR ASPAL OPTIMUM CAMPURAN AC-WC

Franky E. P. Lopian¹, M. Isran Ramli², Mubassirang Pasra³ dan Ardy Arsyad⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: lapianedwin@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: muhisran@yahoo.com

³ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: mubapasra@gmail.com

⁴ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: ardysyad@gmail.com

ABSTRAK

Berdasarkan hasil penelitian World Bank disebutkan bahwa Indonesia merupakan penyumbang sampah laut terbesar ke-2 di dunia setelah Tiongkok (Jambeck, 2015). Sebagian besar sampah laut yang masuk ke laut (*marine debris*) adalah sampah plastik. Temuan dalam penelitian tersebut membuat Indonesia tersadar untuk memulai aksi nyata mengurangi sampah plastik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai kadar aspal optimum campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang divariasikan. Penelitian ini berbentuk uji eksperimental di laboratorium. Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55 digunakan sebagai bahan pengikat. Kadar Asbuton modifikasi yang digunakan adalah 5,0, 5,5, 6,0, 6,5, 7,0 dan 7,5% sedangkan variasi kadar limbah plastik yang digunakan adalah 0,0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 dan 2,5% sebagai bahan tambah dari berat total agregat. Pengujian karakteristik Marshall digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran AC-WC yang terdiri dari stabilitas, flow, Marshall quotient, VIM, VMA dan VFB.

Kata kunci: limbah plastik PET (Polyethylene Therephthalate), kadar aspal optimum, karakteristik Marshall

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki aspal alam dikenal dengan nama Asbuton (Aspal alam Buton), karena lokasi deposit Asbuton tersebut berada di pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton merupakan material hydrocarbon yang terdeposit secara alami. Kandungan bitumen Asbuton bervariasi dari 10 hingga 40%, selebihnya merupakan mineral. Deposit Asbuton cukup besar sekitar 600 juta ton (Affandi, 2006). Deposit Asbuton diperkirakan setara dengan 24 juta aspal minyak (Suryana, 2003; Tjaronge & Irmawaty, 2012).

Berdasarkan hasil penelitian World Bank disebutkan bahwa Indonesia merupakan penyumbang sampah laut terbesar ke-2 di dunia setelah Tiongkok (Jambeck, 2015). Sebagian besar sampah laut yang masuk ke laut (*marine debris*) adalah sampah plastik. Temuan dalam penelitian tersebut membuat Indonesia tersadar untuk memulai aksi nyata mengurangi sampah plastik.

Dalam usaha meningkatkan penggunaan aspal Buton, pada tahun 2006, melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 35/PRT/M/2006 tentang Peningkatan Pemanfaatan Aspal Buton untuk Pemeliharaan dan Pembangunan Jalan meyakinkan bahwa setelah melalui uji coba lapangan dan laboratorium, pemanfaatan Asbuton dalam pemeliharaan dan pembangunan jalan cukup layak secara teknis dan ekonomi, dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan jalan.

Pengembangan teknologi aspal Buton terus dilakukan hingga saat ini. Asbuton modifikasi (retona) merupakan campuran antara aspal alam Buton dengan aspal minyak yang diolah menjadi satu

menggunakan alat dengan spesifikasi yang memenuhi persyaratan aspal Buton modifikasi. Asbuton modifikasi memiliki kestabilan, ketahanan, *workability*, stabilitas dan usia pelayanan yang lebih baik dibanding dengan jenis aspal lainnya.

Suatu lapis permukaan perkerasan jalan memiliki kemampuan sebagai lapis aus dan juga ketika tidak terjadi perubahan bentuk yang tetap dalam masa layan. Salah satu penyebab kerusakan atau tidak mencapainya umur layanan jalan tersebut adalah bertambahnya tingkat kepadatan lalu lintas. Menurut Tayfur *et al.*, 2005 dan Birgisson *et al.*, 2007 pengulangan beban lalu lintas sebagai akibat dari kepadatan lalu lintas menyebabkan terjadinya akumulasi deformasi permanen pada campuran beton aspal sehingga mengalami penurunan kinerja jalan dalam masa layan. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan bahan tambah (*additive*) ke dalam campuran.

Bertambahnya beban lalu lintas baik dari segi jumlah dan beban sumbu serta ditambah dengan pengaruh lingkungan dimana Indonesia beriklim tropis menjadi alasan banyak ditemukannya kerusakan dini dari perkerasan jalan. Berbagai macam modifikasi untuk meningkatkan mutu perkerasan jalan terus dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Peningkatan mutu perkerasan beraspal dapat diperoleh dengan cara memodifikasi aspal sehingga menjadi lebih *superior* atau dengan cara menambahkan suatu bahan tambah pada campuran beraspal.

Salah satu bahan tambah yang umum digunakan adalah polimer. Plastik yang sering kita gunakan sehari-hari mengandung polimer yang bersifat *plastomer* dan berpotensi untuk digunakan sebagai bahan tambah perkerasan jalan. Oleh sebab itu dalam penelitian ini dikaji kinerja campuran beraspal yang menggunakan bahan tambah limbah plastik berdasarkan percobaan di laboratorium. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi campuran beraspal yang menggunakan plastik sebagai bahan tambah.

Ahmadinia E. *et al.*, 2011 melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penggabungan limbah botol plastik (*Polyethylene Terephthalate* (PET)) pada sifat rekayasa batu pecah di dalam campuran aspal (SMA). Sifat volumetrik dan mekanis campuran aspal yang mencakup berbagai persentase PET (0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%) dihitung dan dinilai dengan menggunakan uji laboratorium. Jumlah PET yang sesuai ditemukan 6% dari berat aspal. Hasilnya secara statistik dianalisis dan penentuan signifikansi pada batas kepercayaan tertentu dilakukan dengan analisis varians dua faktor (ANOVA). Apalagi beberapa penelitian dilakukan terhadap polyethylene yang dimodifikasi campuran aspal juga telah dipertimbangkan dalam penelitian ini. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan penambahan PET memiliki efek positif yang signifikan pada properti SMA dan dapat mempromosikan penggunaan kembali limbah bahan dalam industri dengan cara yang ramah lingkungan dan ekonomis.

Liu F. *et al.*, 2014 melaporkan studi eksperimental pada beton plastik daur ulang (RPC) yang menggunakan acrylonitrile-butadiene-styrene daur ulang/polycarbonate copolymer (ABS/PC) partikel plastik untuk menggantikan 5, 10, 15, dan 20% (dalam volume) pasir agregat halus. Partikel plastic yang digunakan dalam penelitian ini adalah daur ulang dari plastik bekas. Sifat mekanik statis dan dinamis dari spesimen terbuat dari 5, 10, 15, dan 20% agregat plastik dalam volume diukur pada mesin uji mekanik. Kekuatan kubus, kekuatan tekan aksial, dan tegangan statis hubungan spesimen RPC dengan konten plastik berbeda diperoleh. Kekuatan tekan ultimat, regangan ultimat, dan hubungan tegangan-regangan dinamis dari spesimen-spesimen ini diukur dengan perangkat pressure bar Hopkinson yang terbelah di bawah empat strain yang berbeda. Kurva tegangan-regangan dan penyerapan energi dari spesimen RPC dengan kandungan plastik yang berbeda diperoleh di bawah empat tingkat regangan yang berbeda. Pengaruh kadar plastik dan tingkat regangan pada sifat mekanik RPC dianalisis. Hasil menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan energi RPC lebih tinggi dari beton normal dan meningkat dengan kandungan plastik. Kinerja ketahanan dampak bahan RPC lebih unggul dari beton normal.

Farhan A. H. *et al.*, 2016 menyelidiki sifat tarik semen murni dan karet campuran granular terikat. Ini dilakukan dengan menggunakan uji tarik tidak langsung dengan perpindahan lateral pengukuran, pengujian frekuensi resonansi tak rusak, CT sinar-X dan penilaian kuantitatif untuk

pola retak menggunakan analisis fraktal. Properti yang diselidiki adalah densitas, compacity, kekuatan tarik tidak langsung (ITS), modulus statis tarik tidak langsung, ketangguhan, modulus dinamis elastisitas, dinamis modulus kekakuan, rasio racun dinamis, dimensi fraktal, dan energi fraktur. Empat persentase penggantian volumetrik (0%, 15%, 30% dan 45%) dari ukuran fraksi 6 mm digunakan. Temuan terakhir didukung oleh penilaian kuantitatif dari pola retak yang mengungkapkan lebih banyak tortuosity dan dimensi fraktal yang lebih tinggi sebagai akibat dari kadar karet yang meningkat. Mekanisme kegagalan untuk jenis campuran ini disarankan dan didukung dengan memeriksa struktur internal sampel gagal menggunakan X-ray CT. Secara keseluruhan, konstruksi semen stabil agregat dasar dengan persentase kecil dari karet remah ditambahkan dapat memastikan lebih berkelanjutan dan bahan perkerasan ramah lingkungan dan pada saat yang sama, meningkatkan sifat stabil lapisan. Namun, perilaku campuran ini di bawah pembebanan siklik dan evaluasi durabilitasnya harus dinilai untuk sepenuhnya memvalidasi penggunaannya.

Modarres A., 2013 menyelidiki pengaruh suhu pada indeks ketangguhan dan sifat kelelahan campuran aspal SBS yang dimodifikasi. Memanfaatkan alat UTM yang dilengkapi dengan ruang kontrol suhu, kekuatan tarik tidak langsung dan uji kelelahan tarik tidak langsung dilakukan pada tiga pengujian suhu 10, 20 dan 50°C. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada indeks ketangguhan suhu yang lebih rendah sangat berkurang menunjukkan fleksibilitas yang lebih rendah dari campuran yang diteliti. Namun, indeks ketangguhan campuran dimodifikasi untuk beberapa jauh lebih tinggi daripada campuran konvensional. Hasil yang diperoleh menegaskan bahwa pada kondisi pemuatan tinggi, kegagalan kelelahan akan lebih kritis pada suhu rendah hingga sedang. Sebaliknya, pada pemuatan yang lebih rendah kondisi di mana nilai regangan kurang dari sekitar 200-250 mikrostrain kegagalan kelelahan tidak kritis pada suhu rendah.

Hasan M. R. M. *et al.*, 2016 mengevaluasi kinerja pengikat aspal modifikasi e-waste. Pengubah limbah elektronik *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Acrylonitrile Butadiene Styrene-Polycarbonate* (ABS-PC) dan *High Impact Polystyrene* (HIPS) digunakan setelah 100% material melewati saringan # 50. Pengikat aspal konvensional, pengikat PG58-28, digunakan sebagai kontrol. E-waste dicampur dengan pengikat kontrol sebagai pengikat yang tidak dirawat (UT) dan yang dimodifikasi secara kimia (T). Diolah secara kimia (T) pengubah diproses dengan cumene hydroperoxide sebelum dicampur ke PG58-28, untuk dipromosikan dengan ikatan molekul kovalen antara plastik e-waste dan aspal. Hasil menunjukkan bahwa limbah yang tidak menggunakan pengikat aspal yang dimodifikasi lebih kaku dan lebih elastis daripada campuran kontrol, tetapi ketika plastik limbah elektronik yang sama ini pertama kali dirawat dengan cumene hydroperoxide, peningkatannya sangat signifikan lebih tinggi.

Deshmukh R. S. *et al.*, 2015 menyelidiki penggunaan limbah plastik dan ban bekas pada campuran serta mengurangi masalah lingkungan dari bahan yang tidak dapat terurai sendiri. Menggunakan pengujian laboratorium. Menggunakan bahan tambah limbah plastik dan ban bekas. Plastik diparut dengan menggunakan mesin hingga dapat lolos pada saringan ukuran 4,75 - 2,36 mm, sedangkan ban bekas dipotong dengan mesin hingga dapat lolos saringan 22,4 - 6 mm. Persentase ban bekas yang ditambahkan dalam campuran yaitu 10, 15, dan 20 % dari berat agregat. Sedangkan persentase plastik yaitu 8, 10, dan 12 % dari berat aspal. Menggunakan metode pencampuran secara kering. Plastik dicampur hingga menyelimuti agregat. Penambahan limbah plastik dan ban bekas dapat menambah masa umur layanan jalan. Penggunaan limbah plastik dapat meningkatkan titik leleh aspal. Kadar optimum dari penggunaan limbah yaitu 5 - 20%. Masalah keretakan dan deformasi permanen dapat dikurangi pada daerah dengan temperatur yang panas. Dengan penambahan limbah plastik dan ban bekas dapat meningkatkan kinerja dan kualitas dari campuran beton aspal. Penambahan ban bekas pada campuran dapat mengurangi polusi suara pada jalan dengan lalu lintas berat.

Kulkarni S. J., 2015 memaparkan beberapa ringkasan dari penelitian penggunaan limbah plastik ke dalam perkerasan aspal. Masalah limbah plastik dapat diminimalisasi dengan penambahannya ke dalam perkerasan aspal dan meningkatkan kinerja aspal.

Mohammed E. M. *et al.*, 2014 mengevaluasi penambahan beberapa jenis polimer pada beton aspal. Metode pengujiannya menggunakan uji laboratorium untuk pengujian bahan dan karakteristik Marshall. Menggugurkan pengujian *Indirect Tensile Strength*. Kadar plastik yang ditambahkan ke dalam campuran beton aspal, yaitu 0, 2, 4 dan 6% dari berat aspal. Persentase optimum PVC, kantong plastik, dan *novolac* adalah 4% dan untuk HDPE adalah 5% dari berat bitumen aspal. Penambahan persentase dalam keadaan optimum meningkatkan viskositas kinematik, stabilitas, *indirect tensile strength*, dan mengurangi penetrasi.

Kumar D. O. D., 2014 menyelidiki pengaruh perkerasan lentur menggunakan limbah plastik. Menggunakan pengujian laboratorium. Jenis limbah plastik yang digunakan adalah *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), dan *polystyrene* (PS) dengan ukuran antara 2,36 mm dan 4,75 mm. Kadar plastik yang digunakan yaitu 0 - 3%. Menggunakan metode pencampuran plastik dengan aspal dengan cara kering. Hasil penelitiannya bahwa dengan penggunaan limbah plastik ke dalam perkerasan lentur dapat memperkuat perkerasan, mengurangi terjadinya kerusakan seperti lubang dan alur, dapat menahan pembebanan berat, mengurangi konsumsi aspal dalam campuran sehingga biaya konstruksi berkurang, menambah umur jalan.

Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya atau in-situ, beban diterapkan tiga dimensi. Sejumlah pengujian yang telah disederhanakan untuk dapat menguji sejumlah aspek-aspek tertentu dari perilaku in-situ. Pengujian tersebut dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok pengujian pertama adalah pengujian dasar uji beban berulang triaksial (*repeated load triaxial test*), uji tekan statik untuk rangkai (*unconfined static uniaxial creep compression test*), uji beban tarik berulang (*repeated load indirect tensile test*), uji dinamik kekakuan dan kelelahan (*dynamic stiffness and fatigue tests*). Kelompok pengujian kedua adalah pengujian simulasi di laboratorium (*simulative*) : Uji Roda-pelacakan (*wheel-tracking test*) dan kelompok pengujian yang ketiga adalah pengujian empiris dengan uji Marshall (*marshall tests*), (*Shell Bitumen Handbook*, 2015).

Selain dari pengujian empirik yang digunakan untuk mengevaluasi campuran beraspal, dapat juga digunakan pengujian yang bersifat semikuantitatif dari benda uji. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*). Pengujian XRD dilakukan untuk mengidentifikasi unsur/senyawa/fasa dan struktur kristal yang terbentuk secara kualitatif. Pada dasarnya, atom yang tersusun membentuk struktur kristal dan struktur mikro/fasa dapat dianalisis melalui teknik eksperimental yang berbasis difraksi. Pada eksperimen difraksi, gelombang yang ditembakkan akan membentur pada material dan ditangkap oleh detektor. Detektor mengidentifikasi arah dan intensitas gelombang yang terdifraksi/terpancar keluar dari material. Interferensi gelombang terjadi pada gelombang yang diemisikan atom yang berbeda jenis dan posisinya. Geometri yang direpresentasikan melalui arah gelombang membentuk pola difraksi yang dapat digunakan untuk menentukan sel satuan pada struktur kristal dan senyawa (Fultz, 2013; Cullity, 1956).

Namun pada umumnya metode eksperimen yang digunakan pada penelitian tersebut adalah dengan mengevaluasi pengaruh suatu faktor dalam satu kali eksperimen. Faktor tersebut kemudian dilevelkan menjadi beberapa variasi. Dalam istilah penelitian ini dinamakan *single factor experiment* (eksperimen faktor tunggal). Kelemahan dari metode eksperimen tersebut adalah kesimpulan yang didapat hanya berhubungan dengan faktor yang diamati saja. Sementara dalam kenyataannya mutu suatu produk yang diteliti tidak hanya dipengaruhi oleh satu faktor saja, melainkan oleh beberapa faktor seperti kadar Asbuton modifikasi dan kadar limbah plastik. Proporsi bahan-bahan tersebut memiliki interaksi antara satu dan lainnya yang sangat berpengaruh terhadap kualitas campuran AC-WC yang dihasilkan.

Agar dapat mengoptimalkan permasalahan dari eksperimen faktor tunggal tersebut, banyak metode statistik yang dapat digunakan. Salah satu metode statistik yang bisa digunakan yaitu *Response Surface Methodology* (RSM). Metode statistik ini dapat memperhitungkan kontribusi dua atau lebih faktor dalam sebuah eksperimen. Metode ini juga bisa memperkirakan interaksi antara faktor-faktor yang diamati. Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis nilai kadar aspal optimum campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang divariasikan.
2. Merumuskan model hubungan antara antara nilai stabilitas campuran AC-WC dengan kadar limbah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan kadar aspal.
3. Menemukan kondisi optimum kadar Asbuton modifikasi dan kadar limbah plastik dalam campuran AC-WC sistem model, menggunakan RSM.
4. Menemukenali efisiensi proses peningkatan mutu konstruksi perkerasan jalan campuran AC-WC.

TINJAUAN PUSTAKA

Plastik

Pada awalnya plastik terbuat dari minyak dan gas sebagai sumber alami. Namun dalam perkembangannya digantikan dengan bahan-bahan sintetis sehingga dapat diperoleh sifat-sifat plastik yang diinginkan dengan cara kopolimerisasi, laminasi dan ekstrusi. Plastik merupakan polimer yang mempunyai keunggulan yaitu sifatnya yang kuat tapi ringan, tidak karatan dan bersifat termoplastis serta dapat diberi warna.

Erliza dan Sutedja (1987), plastik dapat dikelompokkan atas dua tipe, yaitu termoplastik dan *thermoset*. Termoplastik adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali dengan menggunakan panas, antara lain *polyethylene*, *polypropylene*, *polystyrene* dan *polyvinyl chloride*. Sedangkan *thermoset* adalah plastik yang tidak dapat dilunakkan oleh pemanasan, seperti *formaldehid* dan *urea formaldehid*. Suparna (2002), mengelompokkan beberapa jenis plastik yang biasa digunakan yaitu:

1. HDPE (*High Density Polyethylene*) umumnya digunakan untuk botol susu cair, botol obat dan botol kosmetik.
2. LDPE (*Low Density Polyethylene*) digunakan untuk tutup plastik, plastic pembungkus daging dan berbagai jenis plastik tipis.
3. PE (*Polyethylene*).
4. PP (*Polypropylene*) digunakan untuk tutup botol dari plastik, mainan anak-anak dan wadah margarin.
5. PS (*Polystyrene*) digunakan untuk membuat garpu dan sendok plastik, tempat makan dari styrofoam dan tempat makan dari plastik yang transparan.
6. Vinyl (*Polyvinyl Chloride*).
7. PET (*Polyethylene Terephthalate*) digunakan untuk botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, botol obat dan botol kosmetik.

Sampah (limbah) plastik akan berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat. Menurut Rajkumar (2015) sejumlah besar plastik yang digunakan menjadi limbah dalam waktu yang singkat. Persentase yang tinggi dari plastik yang diproduksi berakhir di sungai dengan cepat dan akhirnya kelaut. Sebagian besar plastik yang digunakan pada sektor kemasan, bahkan hampir 52% dari semua plastik yang digunakan dalam bentuk kemasan (kantong). Limbah plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat saluran drainase, selokan dan sungai sehingga dapat menyebabkan banjir. Limbah plastik yang dibakar dapat mengeluarkan zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan manusia seperti: zat karbon monoksida, dioksin, volatile dan zat-zat berbahaya lainnya.

Pengolahan limbah plastik dapat dilakukan secara manual dengan diolah langsung oleh manusia, dan juga dapat diolah oleh pabrik. Limbah plastik yang diolah secara manual biasanya berbentuk kreasi dan produk yang diolah dengan ide-ide kreatif. Limbah plastik yang diolah oleh pabrik biasanya akan menjadi produk yang sama seperti barang yang telah di daur ulang sebelumnya.

Di Indonesia, limbah plastik sebagian besar dimanfaatkan kembali sebagai produk semula dengan kualitas yang lebih rendah. Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan konstruksi masih sangat

jarang ditemui. Pada tahun 1980-an, di Inggris dan Italia limbah plastik digunakan untuk membuat tiang telepon sebagai pengganti tiang-tiang kayu dan besi. Di Swedia limbah plastik dimanfaatkan sebagai bata plastik untuk membuat bangunan bertingkat, karena ringan serta lebih kuat dibandingkan dengan bata yang umum dipakai (Abdul Syukur, 2014).

Menurut Shemila (2015), selain penggunaan limbah plastik sebagai bahan daur ulang, sejumlah besar limbah plastik juga dapat digunakan dalam industri konstruksi. Limbah plastik dalam industri konstruksi digunakan sebagai :

1. Agregat untuk campuran beton ringan.
2. Agregat sebagai bahan campuran beraspal.
3. Serat untuk penguatan campuran beton.
4. Agregat sintesis atau pengikat beton (oleh pencairan).
5. Penguatan plastik plester.

Plastik adalah bahan yang sangat serbaguna dan banyak digunakan untuk keperluan sehari-hari. Saat ini plastik menjadi bahan baku yang lebih murah dan efektif. Setiap sektor dari kehidupan manusia banyak menggunakan plastik mulai dari kemasan, mobil, elektronik, listrik, konstruksi bangunan, komunikasi, dll. Plastik bersifat *non-biodegradable* sehingga limbah plastik tidak dapat terdegradasi selama 4.500 tahun. Akibatnya lingkungan menjadi tercemar apabila limbah plastik tersebut tidak ditangani secara benar.

Salah satu *modifier*, yang banyak digunakan untuk meningkatkan kualitas campuran beraspal adalah polimer. Sementara plastik merupakan bahan yang mengandung senyawa polimer. Dengan demikian limbah plastik berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal.

Isu Penggunaan Limbah Plastik Pada Campuran Beraspal

Bertambahnya beban lalu lintas baik dari segi jumlah dan beban sumbu serta ditambah dengan pengaruh lingkungan dimana Indonesia beriklim tropis menjadi alasan banyak ditemukannya kerusakan dini dari perkerasan jalan. Berbagai macam modifikasi untuk meningkatkan mutu perkerasan jalan terus dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Selain masalah kerusakan struktur jalan, masalah limbah plastik juga muncul. Kedua masalah ini merupakan suatu tantangan bagi peneliti untuk melakukan penelitian yang bersifat aplikatif agar masalah tersebut dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penggunaan limbah plastik dapat dijadikan bahan tambah dalam campuran beraspal, khususnya pada campuran AC-WC.

Plastik adalah suatu polimer (material sintetik buatan manusia) yang mudah dibentuk, dicetak, mempunyai sifat unik dan luar biasa. (Mujiarto, 2005). Plastik merupakan material yang baru secara luas dikembangkan dan digunakan sejak abad ke-20 yang berkembang secara luar biasa penggunaannya dari hanya beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, menjadi 150 juta ton/tahun pada tahun 1990-an dan 220 juta ton/tahun pada tahun [2005](#) (Wikipedia, 2016 a).

Selain itu, pada tanggal 5 Agustus 2017 Kementerian PUPR telah mengeluarkan surat edaran nomor SP.BIRKOM/VIII/2017/383 tentang inovasi teknologi dukung percepatan pembangunan infrastruktur PUPR. Salah satu isi dari surat edaran tersebut adalah penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambah dalam campuran beraspal. Belum lama ini, Kementerian PUPR juga telah menggelar uji coba aspal plastik sepanjang 700 meter yang bertempat di Universitas Udayana, Bali. Pemanfaatan limbah plastik sebagai aspal tersebut merupakan salah satu solusi bagi permasalahan sampah plastik, dengan kebutuhan limbah plastik sebanyak 2,5 hingga 5 ton untuk setiap 1 kilometer jalan dengan lebar 7 meter.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, melalui Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VIII Surabaya, yang terpilih sebagai salah satu Proyek Percontohan (*Pilot Project*) campuran beraspal panas menggunakan limbah plastik, pada paket preservasi dan rekonstruksi jalan Gempol-Bangil-Pasuruan-Probolinggo (Long Segmen, KM 35+700 s/d 36+800, PPK 03 – Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah I Provinsi Jawa Timur telah melaksanakan uji coba

campuran beraspal panas menggunakan limbah plastik, yang digelar di atas pondasi daur ulang (recycling). Hal ini merupakan terobosan dari Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat untuk menyelesaikan masalah sampah plastik dalam penerapan skala penuh teknologi aspal limbah plastik.

Selain dari uji coba campuran beraspal yang menggunakan limbah plastik di Bali telah digunakan pula di Tahun 2018 di Provinsi Sulawesi Selatan yaitu di jalan Bandara lama Sultan Hasanuddin di Maros. Tahun ini, di Provinsi Sulawesi Selatan digunakan pula limbah plastik PP sebagai bahan tambah pada campuran AC-WC yang diterapkan di Jalan Poros Bukumba-Bira melalui dana APBN.

Pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal yang tengah dikembangkan oleh Balitbang Kementerian PUPR, merupakan salah satu solusi bagi permasalahan sampah plastik. Balitbang Kementerian PUPR hingga saat ini telah melakukan uji gelar aspal plastik pada beberapa lokasi. Berdasarkan hasil pengujian, aspal yang dihasilkan lebih lengket jika dibandingkan dengan aspal yang tidak menggunakan plastik sebagai campuran. Ini berarti stabilitas aspal dan ketahanannya lebih baik.

Uji gelar pada berbagai lokasi dengan kondisi lalu lintas kendaraan yang berbeda dan daerah-daerah yang berbeda agar dapat diketahui bagaimana ketahanan aspal plastik ini pada berbagai kondisi. Uji aspal juga telah dilakukan di beberapa lokasi termasuk di lingkungan Kampus PUPR jalan Pattimura :

1. KSPN Toraja – Sulawesi Selatan.
2. KSPN Toba – Humbang Hasundutan.
3. Jalan Sultan Agung – Bekasi.
4. Rest Area KM 42 Tol Tangerang – Merak Banten.
5. KSPN Toba: Ruas Jalan Sipinsur – Bakara (Depan pintu gerbang Taman Wisata Sipinsur), Humbang Hasundutan, Sumatera Utara.
6. KSPN Toraja: Ruas Jalan Bandara Pongtiku, Toraja, Sulawesi Selatan.
7. KSPN Borobudur.
8. KSPN Labuan Bajo: Ruas jalan bandara dari bukit cinta ke jalur lintas utara.
9. KSPN Lombok: Mataram (ruas jalan daerah Sembalun).
10. KSPN Bromo: Lawean – Sukapura.
11. KSPN Borobudur Kulon Progo: Ruas Jalan Sentolo-Dekso-Klangon.

Karakteristik Marshall

Berdasarkan Spesifikasi 2010 Revisi 3 yang dimaksud dengan karakteristik volumetrik campuran beraspal adalah VIM, VMA dan VFB dan karakteristik Marshall adalah karakteristik stabilitas adalah stabilitas, flow dan Marshall Quotient (MQ).

Void in The Mix (VIM)

Analisa rumus VIM berdasarkan Buku 5 pemanfaatan Asbuton campuran beraspal dingin dengan asbuton butir peremaja emulsi adalah :

$$\text{VIM (\%)} = V - \left\{ \left(\frac{KA \times 100}{L} \right) + \left(\frac{100 + AR + KA}{G} \right) \right\} \quad (1)$$

- A_R = Kadar residu dalam campuran (%)
 G = BJ Bulk - berat benda uji (gr)
 L = Berat benda uji setelah oven (gr)
 K_A = Kadar air (%)

Void in Mineral Aggregate (VMA)

Analisa rumus VMA berdasarkan Buku 5 pemanfaatan Asbuton campuran beraspal dingin dengan asbuton butir peremaja emulsi adalah :

$$VMA (\%) = V - \left\{ \left(\frac{KA \times 100}{L} \right) + \left(\frac{100 + AR + KA}{G} \right) \right\} \quad (2)$$

- A_R = Kadar residu dalam campuran (%)
 G = BJ Bulk - berat benda uji (gr)
 L = Berat benda uji setelah oven (gr)
 K_A = Kadar air (%)

Void Filled Bitumen (VFB)

Kadar aspal dan tebal film aspal secara volumetrik dapat dinyatakan dalam besaran volume aspal dalam campuran (VFB). Campuran dengan volume aspal yang tinggi mempunyai keawetan yang tinggi pula. Dengan demikian untuk mendapatkan campuran yang awet perlu disyaratkan VFB minimum tertentu yang harus dipenuhi. VFB adalah persen rongga yang terdapat di antara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus VFB adalah :

$$VFB = 100 (VMA - VIM)/VMA \quad (3)$$

Keterangan:

- VFB = Rongga terisi aspal, persen VMA
VMA = Rongga di antara mineral agregat, persen volume *bulk*
VIM = Rongga di dalam campuran, persen total campuran

Pengaruh utama VFB adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum. Sehingga kriteria VFB membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima. VFB juga dapat membatasi kadar rongga campuran yang diizinkan yang memenuhi kriteria VMA minimum. Campuran rencana untuk lalu lintas rendah tidak akan memenuhi kriteria VFB bila kadar rongga relatif tinggi, walaupun rentang kadar rongga terpenuhi. Penyesuaian ini bertujuan mencegah berkurangnya keawetan campuran pada lalu lintas ringan.

1. Stabilitas

Kemampuan menahan beban dengan deformasi yang kecil diperlihatkan dengan nilai stabilitas yang tinggi.

2. Kelelahan (Flow)

Kelelahan (*Flow*) merupakan besarnya deformasi vertikal yang dinyatakan dalam satuan millimeter (mm) yang terjadi pada benda uji padat dari campuran aspal hingga mencapai titik beban maksimum pada saat pengujian stabilitas Marshall.

3. Marshall Quetiont (MQ)

Nilai MQ merupakan indikator bahwa campuran aspal tahan terhadap deformasi. Analisa rumus MQ berdasarkan Buku 5 pemanfaatan Asbuton campuran beraspal dingin dengan Asbuton butir peremaja emulsi adalah :

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (1)$$

Dimana :

- MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)
S = Stabilitas (kg)
F = Nilai *flow* (mm)

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan Juni 2019 sampai Bulan September 2019.

Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan atau material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material agregat kasar, agregat halus dan abu batu diambil dari sungai Bili-Bili kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Aspal minyak dengan penetrasi 60/70 diperoleh dari salah satu produsen aspal minyak di Indonesia.
3. Parutan limbah plastik (lolos saringan no.4 dan tertahan di saringan no.50) diperoleh dari hasil parutan botol plastik jenis PET dengan alat pamarut manual.

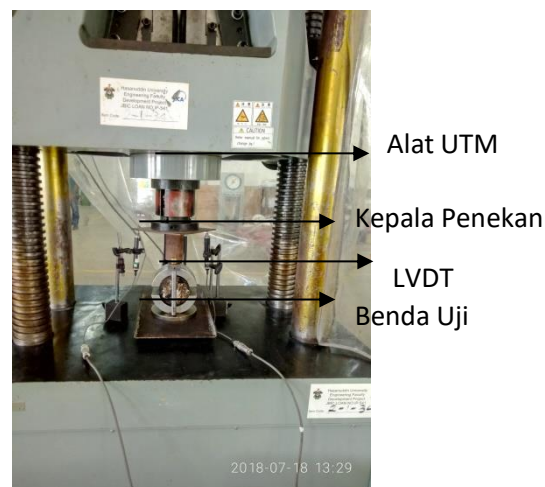
Rancangan Penelitian

Pembuatan sampel (briket) untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan variasi kadar Asbuton modifikasi berdasarkan hasil perhitungan kadar aspal perkiraan untuk masing-masing variasi kadar limbah plastik yang digunakan (0,0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 dan 2,5%). Dibuat sampel perkerasan aspal dengan bahan pengikat berupa Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55. Pembuatan sampel dilakukan berdasarkan SNI 06-2489-1991 dengan kadar bitumen yang berbeda-beda berdasarkan perhitungan kadar aspal efektif. Setelah nilai KAO didapatkan untuk masing-masing kadar limbah plastik selanjutnya dibuat benda uji berdasarkan KAO tersebut. Limbah plastik yang digunakan yaitu PET. Selanjutnya sampel akan diberikan perlakuan normal sesuai SNI 06-2489-1991.

Setelah benda uji dinyatakan siap yaitu benda uji dalam kondisi KAO dan telah mengandung limbah plastik sebagai bahan tambah, kemudian dilakukan pengujian-pengujian ; karakteristik Marshall, kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*), XRF dan XRD (komposisi senyawa kimia yang dominan) dan pengujian statistik (uji-t) untuk mengetahui karakteristiknya.

Pengujian Karakteristik Marshall

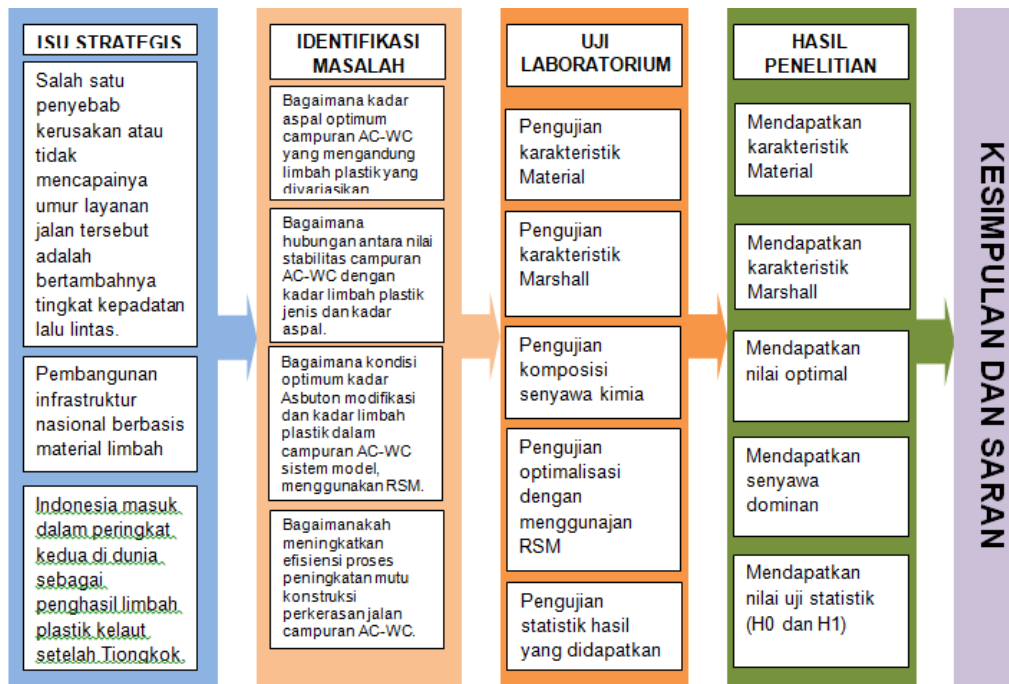
Metode pengujian campuran aspal dengan alat Marshall mengacu pada SNI 06-2489-1991 tentang metode pengujian campuran aspal dengan alat Marshall. Gambar 1 menunjukkan alat pengujian *Marshall* yang dapat digunakan untuk mengukur stabilitas dan *flow* sehingga dapat menunjukkan ukuran ketahanan benda uji dalam menerima beban.



Gambar 1. Alat pengujian *Marshall*

Kerangka Pikir Penelitian

Gambar 2 memperlihatkan kerangka pikir penelitian.



Gambar 2. Kerangka pikir penelitian

HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah :

- Pemanfaatan limbah plastik jenis PET sebagai bahan tambah dalam campuran AC-WC.
- Mendapatkan nilai kadar aspal optimum untuk masing-masing kadar limbah plastik yang digunakan.
- Mengetahui kondisi optimum kadar Asbuton modifikasi dan kadar limbah plastik dalam campuran AC-WC sistem model, menggunakan RSM.
- Merumuskan model hubungan antara nilai stabilitas dengan kadar limbah plastik jenis PET.
- Mendapatkan efisiensi proses peningkatan mutu konstruksi perkerasan jalan campuran AC-WC.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadinia E. *et al.* 2011. Using Waste Plastic Bottles as Additive for Stone Mastic Asphalt. *Materials and Design* 32 (2011): 4844 – 4849.
- ASTM D6931 – 12, Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures.
- Birgisson, B., A. Montepara, E. Romeo, R., Roncella, J. A. L., Napier, G., Tebaldi., 2008. Determination and prediction of crack patterns in hot mix asphalt (HMA) mixtures. *Science Direct, Construction and Building Materials*, hal. 664 -673.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2000. Buku 1. Pemanfaatan Asbuton. Umum No : 001-01/BM/2006. Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2006.
- Erliza & Sutedja. 1987. Pengantar Pengemasan. Laboratorium Pengemasan, Jurusan TIP. IPB. Bogor.
- Jambeck R. J. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. www.sciencemag.org.

- Mote VD, Y Purushotham, BN Dole, "Williamson-Hall analysis in estimation of lattice strain in nanometer-sized ZnO particles" in *Journal of Theoretical and Applied Physics* 2012,6:6.
- SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Spesifikasi Umum Bina marga Divisi 6. (2010). Perkerasan Aspal. Direktorat Jendral Bina marga.
- Suryana A., Inventory on Solid Bitumen Sediment Using 'Outcrop Drilling' in Southern Buton Region, Buton Regency, Province Southeast Sulawesi, Colloquium on Result Activities of Mineral Resources Inventory. - DIM, the TA. 2003, Directorate Mineral (Bandung, in Indonesian).
- Tayfur S., Ozen H., Aksoy A., 2005. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. ScienceDirect, Construction and Building Materials, hal. 328-337.
- Tjaronge, M.W. and Rita Irmawaty. 2012. Influence of Water Immersion on Physical Properties of Porous Asphalt Containing Liquid Asbuton as Bituminous Asphalt Binder.
- Wikipedia. 2016 a. Plastik, (Online), (<https://id.wikipedia.org/wiki/Plastik>) diakses pada 18 Agustus 2016).

STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-BC MENGGUNAKAN ASBUTON MODIFIKASI TIPE RETONA BLEND 55 SEBAGAI BAHAN PENGIKAT

D. S. Mabui¹, Irianto²

¹Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua, Jln. Dr Samratulangi No 11, Dok V atas Jayapura Papua, Email: didik.mabui90@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua, Jln. Dr Samratulangi No 11, Dok V atas Jayapura Papua, Email: irian.anto@gmail.com

ABSTRAK

Aspal beton (AC) atau lapis aspal beton (laston) salah satu jenis perkerasan fleksibel yang banyak diterapkan di Indonesia. Laston yang dikenal di Indonesia terdiri dari *asphalt concrete wearing course*, *asphalt concrete binder course* (AC BC), dan *asphalt concrete base* (AC base). Campuran aspal AC BC merupakan lapis pengikat dengan gradasi yang lebih kasar dari AC WC tetapi lebih halus daripada AC base. Laston biasanya digunakan pada daerah yang mengalami deformasi tinggi seperti daerah pegunungan, gerbang tol atau pada daerah dekat lampu lalu lintas dan daerah dengan lalu lintas berat. terdiri dari agregat, asbuton butir, bahan peremaja dan bahan tambah lain bila diperlukan sesuai dengan ketentuan spesifikasi, yang dihampar dan dipadatkan pada temperatur udara. Pencampuran panas dilakukan secara fabrikasi kemudian dipasarkan dalam bentuk kemasan. Sedangkan penghamparan dan pemadatan dilakukan secara dingin (temperatur udara). Sehingga produk ini juga bisa menjadi alternatif pilihan terutama untuk pembangunan jalan di daerah yang memiliki keterbatasan Unit Pencampur Aspal seperti di daerah-daerah terpencil dan pulau-pulau kecil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar Asbuton modifikasi pada karakteristik Marshall campuran panas lapis pengikat (Asphalt Concrete Binder Course) AC-BC. Berdasarkan hubungan antara kandungan kadar asbuton modifikasi dan kuat tekan maka didapatkan kandungan kadar aspal optimum berada pada kadar 5,5%. Nilai hasil pengujian ini sesuai dengan spesifikasi penentuan kadar aspal efektif oleh Departemen Pekerjaan Umum tahun 2006. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Stabilitas Marshall yang diperoleh pada kandungan kadar asbuton modifikasi 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6%, dan 6,5% sebesar 1218,57 kg, 1415,22 kg, 2251,01 kg, 1548,67 kg, dan 1243,15 kg. Dari hasil ini yang paling optimal adalah kandungan kadar asbuton modifikasi 5,5% dan yang paling kecil kandungan kadar asbuton modifikasi 4,5%.

Kata Kunci : *Asphalt Mixing Plant, Retona Blend 55, Karakteristik Marshall*

PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan jalan di Indonesia akhir-akhir ini mengalami peningkatan. Hal ini mengakibatkan kebutuhan akan aspal yang merupakan salah satu bahan yang digunakan dalam campuran perkerasan juga ikut meningkat. Aspal beton (AC) atau lapis aspal beton (laston) salah satu jenis perkerasan fleksibel yang banyak diterapkan di Indonesia. Laston yang dikenal di Indonesia terdiri dari *asphalt concrete wearing course*, *asphalt concrete binder course* (AC BC), dan *asphalt concrete base* (AC base). Campuran aspal AC BC merupakan lapis pengikat dengan gradasi yang lebih kasar dari AC WC tetapi lebih halus daripada AC base.

Refinery buton asphalt (retona) adalah asbuton Kabungka atau Lawele yang telah dikurangi jumlah mineral di dalamnya (dengan cara semiekstraksi menggunakan bahan kimia) dan dicampur dengan aspal minyak. Selanjutnya, siap untuk dicairkan di dalam tangki aspal AMP dengan atau tanpa tambahan aspal minyak lagi untuk dipompa ke dalam *pugmilly* yang berisi agregat. (Soehartono,

2015). Aspal Buton Tipe Retona Blend 55 merupakan aspal alam buton dengan aspal minyak yang diolah menjadi satu menggunakan alat dengan spesifikasi berupa bitumen minimal 90% dan mineral maksimal 10%. Pada penelitian ini kami menggunakan jenis aspal alam mutu tinggi (*Retona Blend 55*) yang didapat dari PT. Olah Bumi Mandiri-Jakarta. Retona merupakan gabungan antara asbuton butir yang telah diekstraksi sebagian dengan aspal keras pen 60 atau pen 80 yang pembuatannya dilakukan secara fabrikasi.

Perkembangan jumlah beban lalu lintas yang akan diterima oleh jalan mengakibatkan masa layanan dari lapisan perkerasan akan berkurang. Beban tekan dan beban tarik adalah dua pembebanan yang dialami oleh suatu lapisan perkerasan jalan. Untuk beban tekan dapat diperoleh besarnya nilai dengan pengujian Marshall secara langsung. Sejumlah aturan telah dikeluarkan oleh Bina Marga untuk mengetahui karakteristik dari campuran beraspal baik campuran beraspal panas maupun campuran beraspal dingin, khususnya campuran aspal emulsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar Asbuton modifikasi pada karakteristik Marshall campuran panas lapis pengikat (*Asphalt Concrete Binder Course*) AC-BC.

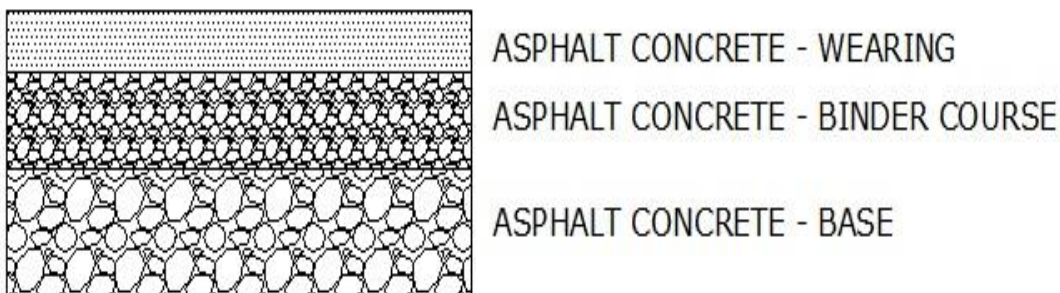
TINJAUAN PUSTAKA

Umum

Perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Lapis permukaan biasanya dibagi menjadi lapis aus dan lapis pengikat yang diletakkan secara terpisah. Lapis pondasi dan lapis pondasi bawah juga dapat diletakkan dalam bentuk komposit yang terdiri dari material-material yang berbeda, yaitu pondasi atas (*upper base*) dan pondasi bawah (*lower base*), atau pondasi bawah bagian atas (*upper subbase*) dan pondasi bawah bagian bawah (*lower subbase*).

Aspal Beton (AC) adalah campuran untuk perkerasan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*) dan aspal dengan proporsi tertentu. Lapisan ini harus bersifat kedap air, memiliki nilai struktural dan awet. Lapisan Aspal Beton (*Asphalt Concrete*) dapat dibagi kedalam 3 macam campuran sesuai dengan fungsinya, yaitu (Sukirman,2003) :

1. Laston Lapis aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course, AC-WC*)
2. Laston Lapis Permukaan Antara (*Asphalt Concrete-Binder Course, AC-BC*)
3. Laston Lapis Pondasi (*Asphalt Concrete-Base, AC-Base*)



Gambar 1. Konstruksi Lapisan Pondasi Atas (*Base*), Lapisan Pengikat (*Binder Course*) dan Lapisan Permukaan (*Wearing Course*)

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran								
	Latasir (SS)		Lataston (HRS)				Laston (AC)		
	Kelas A	Kelas B	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang		WC	BC	Base
			WC	Base	WC	Base			
37,5									100
25							100		90-100
19	100	100	100	100	100	100	100	90-100	76-90
12,5			90-100	90-100	87-100	90-100	90-100	75-90	60-78
9,5	90-100		75-85	65-90	55-88	55-70	77-90	66-82	52-71
4,75							53-69	46-64	35-54
2,36		75-100	50-72	35-55	50-62	32-44	33-53	30-49	23-41
1,18							21-40	18-38	13-30
0,600			35-60	15-35	20-45	15-35	14-30	12-28	10-22
0,300					15-35	5-35	9-22	7-20	6-15
0,150							6-15	5-13	4-10
0,075	10-15	8-13	6-10	2-9	6-10	4-8	4-9	4-8	3-7

Sumber : Buku VI Spesifikasi Umum 2010 Perkerasan Aspal

Agregat

Agregat yang merupakan bahan utama untuk struktur jalan, adalah sekumpulan butir-butir batu pecah dan pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan. Lapis perkerasan mengandung 90-95% agregat berdasarkan persen berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persen volume. Agregat yang digunakan harus dalam keadaan bersih dari kotoran, bahan-bahan organik atau bahan lain yang tidak dikehendaki, karena akan mengurangi kinerja campuran. (Hary C., 2015)

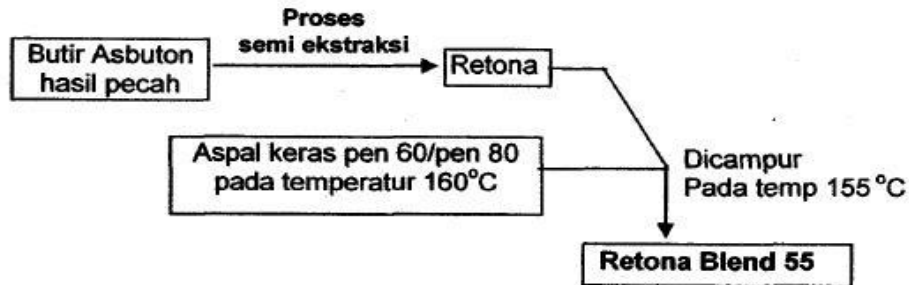
Agregat atau batu, atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam prasarana transportasi, khususnya dalam hal ini pada perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan sebagian besar oleh karakteristik agregat yang digunakan. Pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi persyaratan akan sangat menentukan dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan. Kualitas suatu agregat sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat yang dikandungnya. Diantara sifat-sifat yang ada yaitu *strength* atau kekuatan, *durability* atau keawetan, *adhesiveness* atau daya rekat terhadap aspal dan *workability* atau kemudahan dalam pelaksanaan.

Asbuton Modifikasi (Retona)

Refinery buton asphalt (retona) adalah asbuton Kabungka atau Lawele yang telah dikurangi jumlah mineral di dalamnya (dengan cara semiekstraksi menggunakan bahan kimia) dan dicampur dengan aspal minyak. Selanjutnya, siap untuk dicairkan di dalam tangki aspal AMP dengan atau tanpa tambahan aspal minyak lagi untuk dipompa ke dalam *pugmilly* yang berisi agregat. (Soehartono, 2015)

Aspal Buton Tipe Retona Blend 55 merupakan aspal alam buton dengan aspal minyak yang diolah menjadi satu menggunakan alat dengan spesifikasi berupa bitumen minimal 90% dan mineral maksimal 10%.

Pada penelitian ini kami menggunakan jenis aspal alam mutu tinggi (*Retona Blend 55*) yang didapat dari PT. Olah Bumi Mandiri-Jakarta. Retona merupakan gabungan antara asbuton butir yang telah diekstraksi sebagian dengan aspal keras pen 60 atau pen 80 yang pembuatannya dilakukan secara fabrikasi dengan proses seperti diperlihatkan pada bagan alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur proses pembuatan asbuton modifikasi *Blend 55* secara fabrikasi

Pengujian Aspal dengan Metode *Marshall*

Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce *Marshall*, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Prinsip dasar metode *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin pengujian) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *Marshall* berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). Prosedur pengujian *Marshall* mengikuti SNI 06-2489-1991, AASHTO T 245-90 atau ASTM D 1559-76. Secara garis besar pengujian *Marshall* meliputi : persiapan benda uji, penentuan berat jenis bulk dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*, dan perhitungan sifat volumetrik benda uji. Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain :

1. Jumlah benda uji yang disiapkan.
2. Persiapan agregat yang akan digunakan.
3. Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
4. Persiapan campuran aspal beton.
5. Pemadatan benda uji.
6. Persiapan untuk pengujian *Marshall*.

METODOLOGI PENELITIAN

Umum/Ringkasan Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah metode eksperimen di laboratorium. Campuran aspal panas diproduksi dengan menggunakan Asbuton modifikasi tipe *Retona Blend 55*. Kemudian dilakukan pengkajian dan pengujian stabilitas dengan *Marshall Test*. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Laboratorium Balai Besar Jalan Nasional Abepura, Jayapura. Penelitian ini rencana dilaksanakan selama 2 bulan dimulai dari bulan Januari sampai Maret 2018.

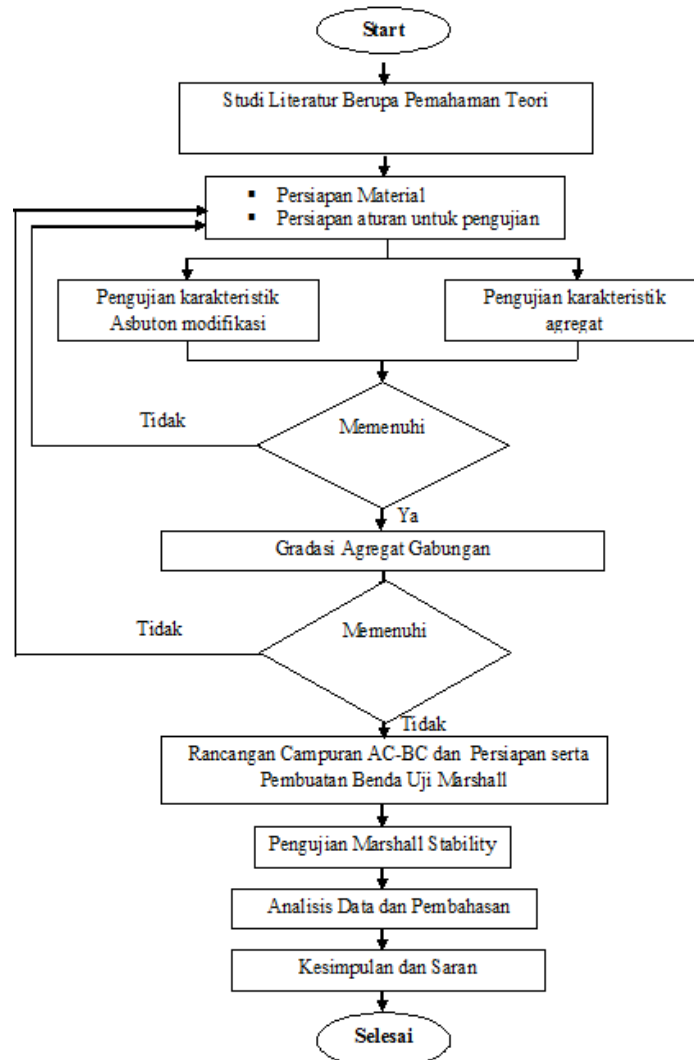
Material Penelitian

Adapun bahan/material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Material agregat kasar, agregat halus dan abu batu diambil dari pemecah batu yang ada di sekitar Abepura, Jayapura.
- b. Asbuton modifikasi tipe *Retona Blend 55* diperoleh dari salah satu produsen aspal emulsi di Indonesia.

Diagram Alir Penelitian

Gambar 3 memperlihatkan diagram alir penelitian ini



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji mengacu pada SNI 03-6758-2002 yang mengadopsi ASTM D 1074-02, diawali dengan penimbangan komponen penyusun campuran, yaitu agregat dan asbuton modifikasi sesuai rancangan *mix design*.

Gabungan agregat dipanaskan pada suhu 124-127⁰C, dan aspal dipanaskan dengan tempat terpisah pada suhu 110⁰C. Setelah mencapai suhu tersebut, agregat dan asbuton modifikasi dicampur sambil diaduk secara basah selama paling sedikit 90 detik atau paling lama 120 detik.

Selanjutnya, campuran dimasukkan ke *mould* silinder yang telah dilapisi kertas saring di kedua sisinya. Proses ini dilakukan dengan menuangkan campuran sebanyak 3 lapisan, dimana setiap lapisan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali (15 kali di bagian tepi dan 10 kali di bagian tengah). Kemudian proses pemadatan campuran pada suhu 110⁰C dilakukan dengan alat penumbuk (berat 4,5 kg dan tinggi jatuh 45,7 cm) dengan jumlah tumbukan 75 kali untuk setiap bidang. Setelah kondisi dingin, benda uji yang telah dipadatkan dikeluarkan dari *mould* dengan menggunakan

ejector. Setelah dikeluarkan dari mould maka benda uji siap diberikan perlakuan sesuai dengan aturan Bina Marga ntuk penentuan KAO.

Pengujian Karakteristik Agregat

Jenis pengujian dan metode pengujian agregat kasar (*chipping*), abu batu, serta *filler* ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Metode Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian	Metode Pengujian
Penyerapan Air	SNI 03-1969-1990
Berat Jenis	SNI 03-1969-1990
Indeks Kepipihan	RSNI T-01-2005
Keausan Agregat	SNI 2417-2008

Tabel 2. Metode Pengujian Karakteristik Abu Batu dan *Filler*

Pengujian	Metode Pengujian
Penyerapan Air	SNI 03-1970-1990
Berat Jenis	SNI 03-1970-1990
Sand Equivalent	SNI 03-4428-1997

Gradasi Campuran dan *Mix Design* Agregat

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal Laston Lapis Antara (AC-BC), ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran								
	Latasir (SS)		Lataston (HRS)				Laston (AC)		
	Kelas A	Kelas B	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang		WC	BC	Base
			WC	Base	WC	Base			
37,5									100
25								100	90-100
19	100	100	100	100	100	100	100	90-100	76-90
12,5			90-100	90-100	87-100	90-100	90-100	75-90	60-78
9,5	90-100		75-85	65-90	55-88	55-70	77-90	66-82	52-71
4,75							53-69	46-64	35-54
2,36		75-100	50-72	35-55	50-62	32-44	33-53	30-49	23-41
1,18							21-40	18-38	13-30
0,600			35-60	15-35	20-45	15-35	14-30	12-28	10-22
0,300					15-35	5-35	9-22	7-20	6-15
0,150							6-15	5-13	4-10
0,075	10-15	8-13	6-10	2-9	6-10	4-8	4-9	4-8	3-7

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji mengacu pada SNI 03-6758-2002 yang mengadopsi ASTM D 1074-02, diawali dengan penimbangan komponen penyusun campuran, yaitu agregat dan asbuton modifikasi sesuai rancangan *mix design*.

Rencana jumlah benda uji yang akan dibuat dalam penelitian ini yaitu sebanyak 15 buah, dengan rincian pada Tabel 4.

Tabel 4. Rencana Pembuatan Benda Uji

Pengujian	Kadar Asbuton modifikasi	Jumlah Benda Uji	Standar Pengujian
Marshall (<i>Marshall Test</i>)	4,5%	5	SNI 06-2489-1992 Tentang Pengujian Campuran Beraspal Dengan Metode Marshall
	5%	5	
	5,5%	5	
	6%	5	
	6,5%	5	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pemeriksaan karakteristik agregat dilakukan untuk menentukan kelayakan agregat digunakan. Tabel 5 sampai dengan Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian karakteristik agregat yang telah dilakukan. Berdasarkan dari hasil pengujian karakteristik agregat kasar dan halus terlihat bahwa agregat yang digunakan memenuhi spesifikasi Bina Marga untuk bahan jalan yang disyaratkan.

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan	(Batu Pecah)	
	0,5 - 1 (cm)	1 - 2 (cm)
Penyerapan air, %	2.071	2.08
Berat jenis bulk	2.622	2.627
Berat jenis Saturated Surface Dry (SSD)	2.677	2.682
Berat jenis semu	2.773	2.779
Indeks kepipihan, %	20.1	9.38
Keausan agregat, %	25.72	24.36

Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Abu Batu

Penyerapan air, %	2.792	
Sand Equivalent, %	89.66	
Berat jenis bulk	Berat jenis Saturated Surface Dry (SSD)	Berat jenis semu
2.449	2.518	2.629

Tabel 7. Hasil Pemeriksaan Filler

Penyerapan air, %	2.283	
Sand Equivalent, %	69.57	
Berat jenis bulk	Berat jenis Saturated surface dry (SSD)	Berat jenis semu
2.595	2.654	2.758

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Asbuton Modifikasi Retona Blend 55

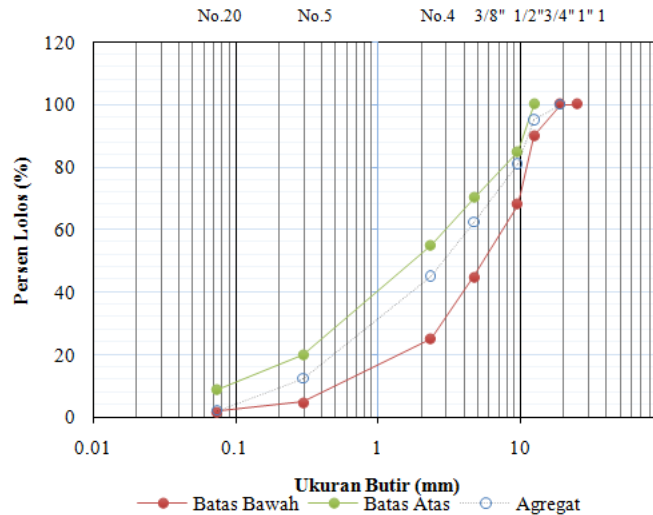
Asbuton modifikasi merupakan bahan pengikat yang digunakan pada penelitian kali ini. Pemeriksaan karakteristik aspal dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik aspal yang berkaitan dengan kinerja dari aspal itu sendiri. Tabel 8 berikut ini akan menampilkan hasil pengujian yang telah dilakukan :

Tabel 8. Karakteristik aspal emulsi CSS-1h EA-60

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	
			Min	Max
1	Penetrasi Sebelum Kehilangan Berat (mm)	78,6	60	79
2	Titik Lembek (°C)	52	48	58
3	Daktalitas pada 25°C, 5cm/menit (cm)	114	100	-
4	Titik Nyala (°C)	280	200	-
5	Berat Jenis	1,12	1	-
6	Penurunan Berat (%)	0.3	-	0,8
7	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat (mm)	86	54	-

Penentuan Gradasi Campuran

Proporsi agregat gabungan diperoleh melalui nilai perbandingan komposisi agregat rencana dikalikan dengan nilai persen lolos pada analisa saringan. Dari hasil yang diperoleh untuk semua komponen yaitu batu pecah 1-2 cm, batu pecah 0.5-1 cm dan abu batu lalu dijumlahkan dan dilakukan analisa saringan hingga mendapatkan presentase gabungan yang diharapkan. Gradasi agregat gabungan diperlihatkan pada Gambar 4. Perbandingan komposisi agregat antara agregat kasar batu pecah 1-2 cm, agregat kasar batu pecah 0,5-1 cm dan abu batu adalah 19% : 54% : 27% terhadap komposisi agregat., proporsi agregat gabungan yang telah diperoleh tersebut di sesuaikan dengan nilai interval spesifikasi Direktorat Bina Marga 2010. Rancangan agregat gabungan berada diantara ambang atas dan ambang bawah dalam interval spesifikasi Direktorat Bina Marga untuk bahan jalan sehingga diperoleh campuran yang optimal.



Gambar 4. Gradasi agregat gabungan

Hasil Pengujian Campuran AC-BC Menggunakan Asbuton Modifikasi Tipe Retoan Blend 55 Sebagai Bahan Pengikat Dengan Metode Marshall

Pengujian dengan masing-masing variasi kandungan kadar Asbuton modifikasi menggunakan pemadat *Marshall* dengan jumlah tumbukan 75 kali untuk masing-masing bidang. Parameter yang didapatkan yaitu stabilitas dan kelenturan atau kelelahan (*flow*) yang menunjukkan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban diperoleh dari hasil analisis terhadap pengujian *Marshall*. Selain itu, nilai volumetrik yang terdiri rongga diantara agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFB), dan rongga dalam campuran (VIM) juga merupakan karakteristik *Marshall*.

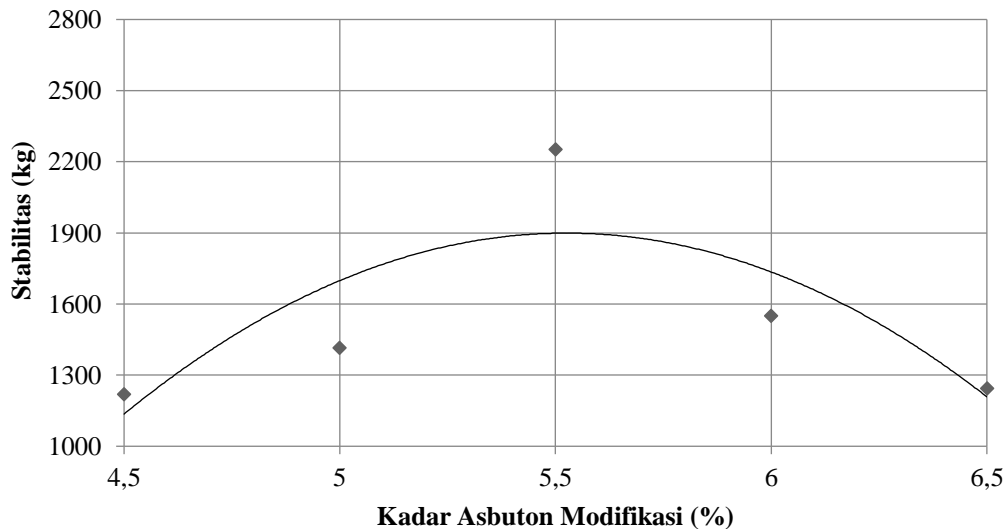
Dari Tabel 9 menunjukkan bahwa tidak semua hasil pengujian masuk dalam spesifikasi karakteristik campuran AC-WC sesuai dengan Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan oleh Bina Marga tahun 2010. Dari Tabel 9 dibuat grafik karakteristik campuran AC-WC untuk semua parameter Marshall baik parameter stabilitas maupun parameter volumetrik tanpa penambahan abu terbang sebagai filler terhadap variasi kadar aspal yang telah ditentukan sebelumnya untuk memperoleh kadar aspal optimum.

Tabel 9. Hasil pengujian karakteristik Marshall untuk seluruh parameter

No	Kadar Asbuton modifikasi (%)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	4,50	16,57	7,98	56,72	1218,57	3,83	318,61
2	5,00	16,61	6,84	59,87	1415,22	3,02	469,62
3	5,50	16,62	5,65	66,05	2251,01	2,73	826,48
4	6,00	16,73	4,56	73,67	1548,67	2,80	596,04
5	6,50	17,05	3,71	79,77	1243,15	3,67	340,27
7	Spesifikasi	15% <	3-5%	65 % <	800 kg <	2- 4 mm	Min.250

Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan Stabilitas

Hasil pengujian memperlihatkan ketika kandungan kadar aspal meningkat maka nilai stabilitas juga meningkat hingga mencapai suatu nilai optimum ketika kandungan kadar aspal berada pada kandungan kadar aspal optimum maka nilai stabilitas tertinggi terjadi pada campuran tersebut, dan ketika kandungan kadar aspal melewati kandungan kadar aspal optimum maka secara perlahan nilai stabilitas juga menurun, bisa di lihat pada grafik dibawah ini



Gambar 5. grafik karakteristik campuran AC-WC untuk semua parameter Marshall

Nilai stabilitas yang diperoleh memenuhi semua spesifikasi yang ditetapkan oleh Spesifikasi 2010 Revisi 3, Bina Marga divisi 6 campuran beraspal, yaitu sebesar ≥ 800 kg dan tidak boleh kurang dari $800 \geq$ akan mempengaruhi nilai stabilitas. Nilai stabilitas terendah yaitu pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 4,5%, dengan nilai stabilitas 1218,57 kg dan nilai stabilitas tertinggi pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 5,5% dengan nilai stabilitas 2251,01 kg. Campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 5,0% memiliki nilai stabilitas 1415,22 kg yang hampir sama dengan kandungan Asbuton modifikasi 6,0% dengan nilai stabilitas 1548,67 kg dan campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 6,5% dengan nilai stabilitas 1243,15 kg. Dengan demikian, dapat kita diketahui bahwa kandungan kadar Asbuton modifikasi optimum berada diantara kandungan kadar Asbuton modifikasi 5,0% dan 6,0%. Selain dari parameter stabilitas, parameter yang lainnya juga seperti flow, *Marshall quotient* (MQ), VIM, VMA dan VFB yang merupakan parameter volumetrik diketahui untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dalam penelitian ini.

Nilai *flow* yang diperoleh belum memenuhi semua spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga, yaitu 2 mm sampai 4 mm. Nilai *flow* terendah yaitu pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 5,5%, dengan nilai *flow* 2,73 mm dan nilai *flow* tertinggi pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 4,5% dan 6,5% dengan nilai *flow* masing-masing sebesar 3,83 mm dan 3,67 mm. Campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 5,0 % memiliki nilai *flow* 3,02 mm yang relatif lebih besar dibanding campuran dengan kandungan Asbuton modifikasi 6,0% dengan nilai *flow* 2,80 mm. Bertambahnya rongga antar campuran dan penggunaan kandungan kadar Asbuton modifikasi yang tinggi dapat menyebabkan nilai kelelahan plastis (*flow*) meningkat.

Nilai *Marshall quotient* yang diperoleh sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga, yaitu minimal 250 kg/mm. Nilai *Marshall quotient* terendah yaitu pada campuran dengan kadar kandungan Asbuton modifikasi 4,5% sebesar 318,61 kg/mm, dan nilai *Marshall quotient* tertinggi pada campuran dengan kadar kandungan Asbuton modifikasi 5,5% sebesar 826,48 kg/mm.

Campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 6,5% memiliki nilai *Marshall quotient* 340,27 kg/mm sedangkan kandungan Asbuton modifikasi 6,0% dengan nilai *Marshall quotient* 596,04 kg/mm dan campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 5,0% dengan nilai *Marshall quotient* 469,02 kg/mm.

Rendahnya nilai *Marshall Quetiont* campuran Asbuton modifikasi dikarenakan stabilitas yang terjadi kecil serta *flow* yang besar dan agregat yang terselimuti menjadi tebal dan perubahan mudah terjadi pada akhirnya akan mengurangi daya ikat antar agregat dalam campuran pada saat dibebani. Berkurangnya ikatan antar agregat akan mengurangi stabilitas campuran yang mengarah pada nilai *flow* yang naik.

Hubungan antara kadar Asbuton modifikasi dengan nilai VIM. Nilai VIM yang dipersyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2010, revisi 3 adalah sebesar 3% sampai dengan 5%. Terlihat pada kadar Asbuton modifikasi 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5% nilai VIM (*Void in Mix*) masing-masing adalah sebesar 7,98%, 6,84%, 5,65%, 4,56%, dan 3,71%. Berdasarkan nilai VIM yang diperoleh terlihat bahwa nilai VIM yang memenuhi spesifikasi 2010, Revisi 3 adalah pada kadar Asbuton modifikasi yaitu sebesar 5,5%, 6,0% dan 6,5% sedangkan kadar Asbuton modifikasi 4,5% dan 5,0% tidak memenuhi spesifikasi 2010, Revisi 3.

Spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal mensyaratkan bahwa nilai VMA dalam campuran beraspal adalah minimal 15%. VMA mengindikasikan adanya rongga yang terjadi diantara pengikatan agregat, dimana parameter ini merupakan salah satu parameter volumetrik. Nilai VMA pada kadar Asbuton modifikasi 5,0% adalah sebesar 16,61% yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan nilai VMA pada kadar Asbuton modifikasi 5,5% sebesar 16,62%. Sedangkan pada kadar Asbuton modifikasi 4,5%, 6,0% dan 6,5% masing-masing nilai VMA adalah sebesar 16,57%, 16,73% dan 17,05%. Oleh karena itu, seluruh kadar Asbuton modifikasi yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan oleh Spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal.

Hubungan kandungan kadar Asbuton modifikasi dengan nilai VFB. Berdasarkan Spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal, persyaratan VFB dalam campuran beraspal adalah minimal 65%. Hasil pengujian volumetrik campuran beraspal menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat berupa parameter VFB memperlihatkan nilai sebesar 56,72%, 59,87%, 66,05%, 73,67%, dan 79,77% untuk masing-masing kadar Asbuton modifikasi yaitu 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%. Oleh karena itu, semua kadar Asbuton modifikasi yang digunakan memenuhi Spesifikasi umum 2010, Revisi 3 kecuali kadar Asbuton modifikasi sebesar 4,5% dan 5,0%.

Analisis penentuan kadar aspal optimum menggunakan adalah Dengan menggunakan rumus penentuan kadar aspal efektif maka dianalisa kadar asbuton modifikasi sebuah benda uji sebagai berikut.

$$P_b = 0,035 (\%AK) + 0,045 (\%AH) + 0,18 (\%F) + k$$

Dimana :

Agregat Kasar = 67,19%

Agregat Halus = 24,87%

Filler = 7,94%

konstanta = 0,6

$$P_b = (0,035 \times 67,19) + (0,045 \times 24,87) + (0,18 \times 7,94) + 0,6$$

$$= 5,5\%$$

Perhitungan kadar asbuton modifikasi 5,5% ini mengacu pada Buku III yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum tahun 2006.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan hasil secara analisa diperoleh kadar aspal optimum mendapatkan nilai 5,5% dengan kadar kandungan asbuton modifikasi yang divariasikan, yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% dari berat campuran.
2. Nilai Stabilitas Marshall yang diperoleh pada kandungan kadar asbuton modifikasi 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6%, dan 6,5% sebesar 1218,57 kg, 1415,22 kg, 2251,01 kg, 1548,67 kg, dan 1243,15 kg. Dari hasil ini yang paling optimal adalah kandungan kadar asbuton modifikasi 5,5% dan yang paling kecil kandungan kadar asbuton modifikasi 4,5%.

Saran

Dari hasil penelitian yang diperoleh, maka terdapat beberapa hal yang disarankan, yaitu :

1. Dalam proses perencanaan dan pelaksanaan perkerasan lentur asbuton modifikasi, perlu diperhatikan dan diperhitungkan secara lebih cermat pengaruh dari kandungan kadar asbuton modifikasi campuran aspal beton yang tentunya akan mempengaruhi kualitas campuran.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan Asbuton modifikasi (retona) sebagai komponen utama yang digunakan dalam campuran aspal beton lapis pengikat (*Asphalt Concrete Binder Course*).

DAFTAR PUSTAKA

- (SNI 03-4428-1997 Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastik dengan Cara Setara Pasir,
- Affandi, F., 2010, Pengaruh Asbuton Semi Ekstraksi pada Campuran Stone Mastic Asphalt, Bandung.
- Ahmedzade, P., Yilmaz, M., 2008. Effect of polyester resin additive on the propertis of asphalt binders and mixtures. ScienceDirect, Construction and Building Materials, hal. 481 -486.
- Al-Hdabi, A., dkk, 2013, Enhancing the Mechanical Properties of Gap Graded Cold Asphalt Containing Cement Utilising By-Product Material.
- ASTM D6931-12, Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures
- ASTM, 1994, Annual Book of ASTM Standards Vol.4 No.3 , Philadelphia USA.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011, SNI 4798:2011 Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik, Jakarta.
- Bina Marga, 1999, Pedoman Pembuatan Aspal Emulsi Jenis Kationik, Jakarta.
- Bina Marga, 2006, Spesifikasi Khusus Campuran Dingin dengan Asbuton dan Emulsi.
- Bina Marga, 2006, Pemanfaatan Asbuton Buku 5 Campuran Beraspal Dingin dengan Asbuton Butir Peremaja Emulsi, Jakarta.
- Bina Marga, 2006, Pemanfaatan Asbuton, Jakarta.
- Birgisson, B., A. Montepara, E. Romeo, R., Roncella, J. A. L., Napier, G., Tebaldi., 2007. Determination and prediction of crack patterns in hot mix asphalt (HMA) mixtures. Science Direct, Construction and Building Materials, hal. 664 -673.
- Budiamin, Tjaronge M.W., Sumarni H.A., R. Djamaluddin, 2015, Mechanical Characteristics of Hotmix Cold Laid Containing Buton Granular Asphalt (BGA) and Flux Oil as Wearing Course. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Vol.10.
- Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR).
- James. 2006. Overview of Asphalt Emulsion. Transportation Research Circular Number E-C102. Washington: Transportation Research Board of National Academies.

- Kim, Y., and Lee, H.D., 2012, Performance Evaluation of Cold In-Place Mixtures Using Emulsified Asphalt Based on Dynamic Modulus, Flow Number, Flow Time, and Raveling Loss.
- Kurniadji, Modifikasi Aspal Keras Standar dengan Bitumen Asbuton Hasil Ekstraksi
- Ridwan Hadi Rianto, (2007). Pengaruh Abu Sekam Sebagai Bahan Filler Terhadap Karakteristik RSNI T-01-2005 Pengujian Indeks Kepipihan dan Kelonjongan,
SNI 03-1968-1990 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus,
SNI 03-1971-1991 Pengujian Kadar Air Agregat Halus,
- Suaryana, N., 2008, Penelitian Pemanfaatan Asbuton Butir di Kolaka Sulawesi Tenggara, Bandung.
- Tayfur S., Ozen H., Aksoy A., 2005. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. ScienceDirect, Construction and Building Materials, hal. 328-337.
- Transportation Research Board of The National Academies, 2006, Transportation Research Circular No.E-C102 Asphalt Emulsion Technology, Washington DC USA.
- Universitas Hasanuddin, 2015, SNI Pengujian Aspal Emulsi
- Universitas Hasanuddin, 2015, SNI Pengujian Karakteristik Agregat

DESAIN BECAK MOTOR YOGYAKARTA

Armindo Dos Santos Soares¹, Imam Basuki²

¹Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta,
Email: mindosoares20@gmail.com

²Staf Pengajar, Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta,
Email: Imbas2004@gmail.com

ABSTRAK

Transportasi atau pengangkutan merupakan bidang kegiatan yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat Indonesia. Pentingnya akan kebutuhan alat transportasi adalah kebutuhan kenyamanan, keamanan, dan kelancaran pengangkutan yang menunjang pelaksanaan pembangunan yang berupa penyebaran sektor ke seluruh pelosok tanah air. Pertumbuhan becak motor semakin meningkat dan tersebar di kota Yogyakarta dan sekitarnya, disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya perkembangan dan pola pikir masyarakat yang semakin modern, tuntutan ekonomi yang semakin meningkat serta usia tukang becak yang semakin menua, tuntutan dari penumpang yang mementingkan faktor waktu dan muatan kendaraan. Masyarakat tidak keberatan dan setuju dengan hadirnya becak motor di Kota Yogyakarta dan sekitarnya, terutama pada pihak pengguna jasa becak motor dan juga pihak penyedia jasa becak motor. Becak motor sendiri terdiri dari dua bagian yang disatukan, yaitu bagian depan berupa sepeda motor yang dimodifikasi bagian belakangnya meliputi rangka, sistem rem, transmisi, dan roda serta bagian belakang berupa kereta dengan rumah-rumah. Perlengkapan yang wajib dipenuhi oleh sepeda motor ialah lampu posisi depan dan belakang, pemantul di sisi belakang, lampu penunjuk arah, lampu rem dan lampu hazard. Dengan cara pemuatan yaitu dua tempat duduk menghadap ke depan berdampingan, dan barang bawaan penumpang diletakkan di depan dekat kaki penumpang.

Kata kunci : Yogyakarta, Becak motor, Penumpang.

PENDAHULUAN

Pada umumnya sebagian besar masyarakat sangat tergantung dengan angkutan umum bagi pemenuhan kebutuhan mobilitasnya, karena sebagian besar masyarakat tingkat ekonominya masih tergolong lemah atau sebagian besar tidak memiliki kendaraan pribadi.

Di beberapa wilayah daerah tingkat I maupun daerah tingkat II, Pemerintah Daerah memberikan legalitas dengan adanya bentor. Misalnya di Provinsi Sumatra Utara, yaitu Kabupaten Dairi dan Kota Tebing Tinggi. Di daerah tersebut bentor sudah menjadi moda transportasi yang umum. Pemerintah Kabupaten Dairi memberikan izin untuk becak motor beroperasi di wilayahnya. Izin beroperasinya becak bermotor Kabupaten Dairi didasarkan pada Peraturan Daerah Kabupaten Dairi Nomor 16 Tahun 2000 tentang Usaha Angkutan Umum. Sedangkan di Kota Tebing Tinggi, Izin beroperasinya becak bermotor di merujuk pada Perda Nomor 3 Tahun 2007 tentang Retribusi Izin Mendirikan Perusahaan dan Operasi Becak dan Motor.

Becak motor di Kota Yogyakarta dan sekitarnya masih belum mencukupi standar kelaikan, karena masih memiliki banyak kekurangan disetiap aspek kelengkapan dan syarat teknis kendaraan bermotor. Pertumbuhan becak motor semakin meningkat dan tersebar di kota Yogyakarta dan sekitarnya, disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya perkembangan dan pola pikir masyarakat yang semakin modern, tuntutan ekonomi yang semakin meningkat serta usia tukang becak yang semakin menua, tuntutan dari penumpang yang mementingkan faktor waktu dan muatan kendaraan.

Masyarakat tidak keberatan dan setuju dengan hadirnya becak motor di Kota Yogyakarta dan sekitarnya, terutama pada pihak pengguna jasa becak motor dan juga pihak penyedia jasa becak motor. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan angkutan umum yang selama ini telah dapat

disediakan oleh becak motor, maka Pemerintah Kota Yogyakarta dapat membuat suatu desain kendaraan yang kemampuan layanannya menyerupai becak motor namun tetap memenuhi standar keselamatan lalu lintas. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat desain becak motor berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 55 tahun 2012 tentang Kendaraan.

TINJAUAN PUSTAKA

Becak Kayuh di Yogyakarta

Menurut Sartono Kartodirdjo (1981) yang mengatakan bahwa "Becak di Yogyakarta mulai muncul sebelum Perang Dunia II. Selama beberapa tahun setelah ditemukan, becak dapat diterima dengan baik sebagai alat transportasi, yaitu sebagai alat transportasi antar keresidenan dan tempat kerja di kota yang berskala medium. Becak merupakan alat transportasi yang lebih baik dari yang ada sebelumnya untuk memecahkan masalah transportasi dengan jarak yang cukup jauh untuk ditempuh dengan berjalan kaki. Becak merupakan kontribusi yang substansial dalam memecahkan masalah transportasi dalam kota di kota yang tidak terlalu besar.

Evolusi Becak Kayuh Menjadi Becak Motor

Modernisasi dan perkembangan di bidang teknologi membawa pengaruh bagi kehidupan manusia dalam berbagai aspek. Tidak ketinggalan pula di bidang transportasi. Modernisasi mendorong becak dimodifikasi dengan penggerak mesin atau dikenal dengan sebutan Becak Bermotor. Becak Bermotor adalah becak yang mesin penggerak berupa parutan kelapa atau mesin dari motor yang bagian mesin ke arah belakang sampai roda belakang tetap seperti semestinya tetapi satu roda depan dihilangkan kemudian diganti dengan kabin penumpang dan rumah-rumah. Becak bermotor telah banyak ditemui di beberapa kabupaten di Indonesia antara lain kabupaten-kabupaten di Jawa Timur, Jawa Tengah, Sumatera Utara dan di banyak daerah di Indonesia. Manfaat Becak Bermotor selain lebih cepat menjangkau tujuan dari pada becak, Becak Bermotor bisa menjadi pilihan untuk menjangkau tujuan yang tidak bisa dijangkau oleh Angkot. (Desmawanto, 2013).

Becak Motor

Becak bermotor adalah sarana angkutan umum yang cukup efektif untuk jarak tertentu, untuk menghubungkan daerah pemukiman dengan jalur angkutan umum lainnya (Hamzani dan Desmi, 2014). Di Indonesia ada dua jenis becak yang lazim digunakan (Suryani dan Mashdurohatun, 2016) yaitu, Becak dengan posisi pengemudi di bagian belakang. Biasanya jenis becak ini terdapat di daerah Jawa dan becak dengan posisi pengemudi di bagian samping. Biasanya jenis becak ini terdapat di daerah Sumatra dan posisi ada yang di sebelah kanan dan kiri, adapun becak dengan posisi pengemudi di bagian depan. Terdapat di beberapa negara lain seperti Pakistan, India dan Bangladesh. Pada model becak ini, sepeda atau sepeda motor digunakan sebagai tenaga penggerak dan diposisikan di depan penumpang.

Masalah Kelaikan dan Kinerja Becak Motor

Pemerintah kota Yogyakarta dan sekitarnya sedang sibuk-sibuknya mengatasi persoalan tentang penertiban atau permasalahan makin maraknya becak motor (Bentor) di wilayah Yogyakarta dan sekitarnya. Dalam sepekan ini, beberapa media cetak maupun elektronik di Yogyakarta sedang sering-seringnya membahas tentang persoalan maraknya Bentor di Yogyakarta sendiri, permasalahan tentang penertiban bentor menjadi amat sedikit rumit untuk diselesaikan. Karena untuk persoalan ini, massa terbagi menjadi 2 pihak, antarang yang setuju dengan tidak setujunya Bentor ditertibkan di wilayah kota Jogjakarta. Bentor ini mulai merambah atau menyebar di Yogyakarta karena beberapa faktor, antara lain persoalan waktu tempuh dan perbedaan harga setoran yang semakin meningkat. Namun, di satu sisi masih banyak pengayuh becak tradisional yang bertahan untuk beroperasi, meskipun sudah makin maraknya bentor. Pihak Pemkot Yogyakarta pun sedikit kewalahan akan persoalan ini. Pihak pemkot sangat ingin mempertahankan adanya becak tradisional karena menurut pihak Pemkot Yogyakarta, becak tradisional sangat membantu dalam bidang pariwisata Yogyakarta. Seharusnya, Pemkot Yogyakarta sudah harus bisa bersikap tegas dan adil dalam menangani persoalan dan memberikan jawaban akan permasalahan ini supaya masalah

ini tidak berkelanjutan dan tidak menjadi sebuah perbedaan di antara pengayuh becak tradisional dengan becak motor. Memang, dalam hal ini, Pemkot Yogyakarta juga harus lebih teliti mengambil sikap supaya pihak-pihak yang bersangkutan bisa memahami dan menerima peraturan yang telah dibuat oleh pihak Pemkot Yogyakarta.

METODOLOGI PENELITIAN

Studi Pustaka

Semua jenis penelitian memerlukan studi pustaka khususnya jenis penelitian historis yang semua data-data sebagian besar diperoleh melalui kajian pustaka. Namun kajian pustaka tentu saja tidak hanya sekedar urusan membaca dan mencatat literatur atau buku-buku sebagaimana yang sering dipahami banyak orang. Apa yang disebut dengan riset perpustakaan atau sering juga disebut studi pustaka, ialah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat serta mengolah bahan penelitian (Mestika Zed, 2004:3). Sedangkan menurut Kartini Kartono, studi pustaka memiliki tujuan untuk mengumpulkan data dan informasi dengan bantuan bermacam-macam materi yang terdapat di ruang perpustakaan (Kartono, 1980:28)

Teknik Dokumentasi

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan penelusuran data terhadap buku-buku atau disebut juga dokumen yang telah ditetapkan sebagai sumber data. Teknik dokumentasi adalah setiap proses pembuktian yang didasarkan atas jenis sumber apapun baik berupa tulisan, lisan, gambar atau arkeologi. Teknik Dokumentasi yaitu mencari data mengenai hal-hal atau variabel yang berupa catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, agenda dan sebagainya (Suharsimi Arikunto, 1999:236). Dibandingkan dengan metode lain, maka metode ini agak tidak begitu sulit, dalam arti apabila ada kekeliruan sumber datanya masih tetap, belum berubah. Dengan metode dokumentasi yang diamati bukan benda hidup tetapi benda mati. Beberapa dokumen yang digunakan dalam penelitian ini antara lain.

- a. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2012 Tentang Kendaraan.
- b. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor Pm 33 Tahun 2018 Tentang Pengujian Tipe Kendaraan Bermotor
- c. Keputusan Menteri Perhubungan Nomor 63 Tahun 1993 Tentang Persyaratan Ambang Batas Layak Jalan Kendaraan Bermotor, Kereta Gandengan, Kereta Tempelan, Karoseri Dan Bak Muatan Serta Komponen-Komponennya
- d. Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan.
- e. Vian Andreas Mabruaru (2015). Analisis Kelaikan Dan Kebutuhan Becak Motor Di Yogyakarta, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil – Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- f. Donny Condro Mukti (2017). Analisis Tingkat Kepuasan Pengguna Becak Motor Dan Becak Kayuh, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil – Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- g. Benidiktus susanto dan Vian Andreas Mabruaru (2015). Analisis Persyaratan Teknis Dan Kebutuhan Becak Motor Di Yogyakarta, The 18th FSTPT International Symposium, Unila, Bandar Lampung

Analisis Data

Analisis dalam penelitian merupakan bagian dalam proses penelitian yang sangat penting, karena dengan analisis inilah data yang ada akan nampak manfaatnya terutama dalam memecahkan masalah penelitian dan mencapai tujuan akhir penelitian (Subagyo, 2006:104-105). Teknik analisis data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah teknik analisis data kualitatif karena data yang diperoleh adalah data kualitatif jadi tidak berbentuk angka-angka, tetapi data berupa fenomena-fenomena dan kasus-kasus dalam bentuk laporan dan karangan para sejarawan, sehingga memerlukan pemikiran yang teliti dalam menyelesaikan masalah penelitian.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Mengacu pada UU lalu lintas nomor 22 tahun 2009, BAB VII Tentang persyaratan Teknis Laik Jalan Kendaraan Bermotor pasal 48 ayat ke 4 Ketentuan lebih lanjut mengenai persyaratan teknis dan laik jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) dan ayat (3) diatur dengan peraturan pemerintah. Peraturan Pemerintah yang di turunkan dari UU nomor 22 tahun 2009 adalah Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2012 Tentang Kendaraan didapatkan hasil sebagai berikut.

1. Susunan

Becak motor terdiri dua bagian yang disatukan, yaitu: Bagian depan berupa sepeda motor yang dimodifikasi bagian belakangnya meliputi rangka, sistem rem, transmisi, dan roda. Bagian belakang berupa kereta dengan rumah-rumah



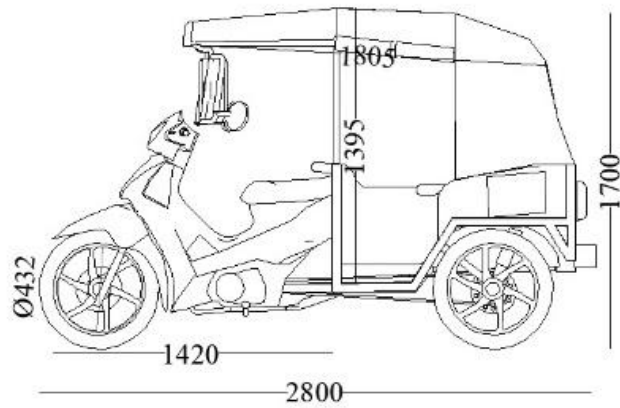
Gambar 1. Susunan Becak Motor

2. Perlengkapan

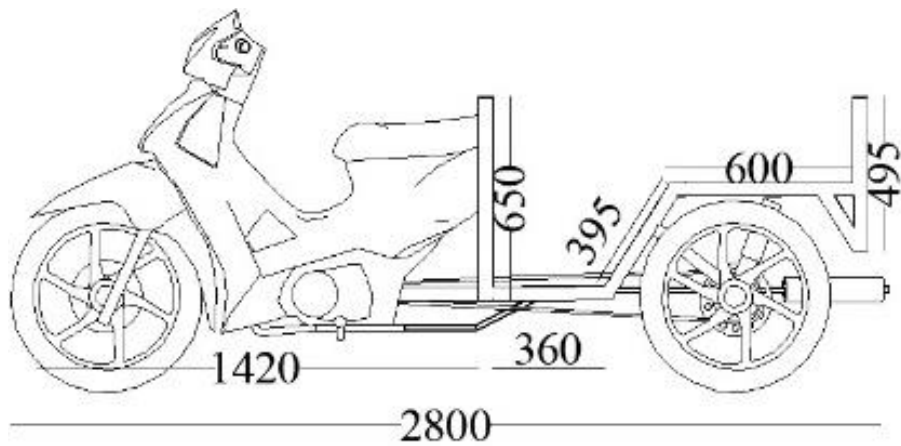
Sepeda motor tidak terkena kewajiban mempunyai perlengkapan, perlengkapan yang wajib dipenuhi oleh Sepeda Motor ialah: lampu posisi depan dan belakang, pemantul di sisi belakang, lampu penunjuk arah, lampu rem, dan lampu hazard

3. Ukuran

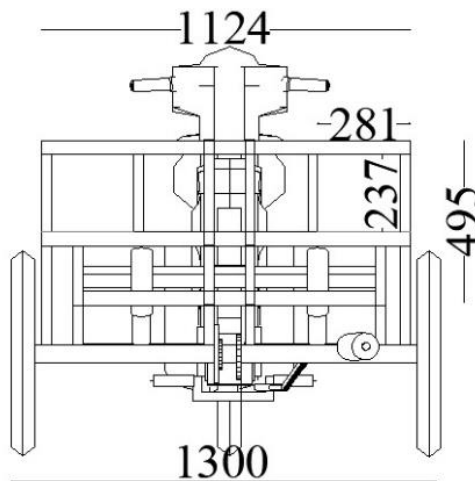
Ukuran becak motor di Yogyakarta yang di desain oleh peneliti dengan Panjang 2800 mm, Lebar 1300 mm, Tinggi 1700 mm, dengan menggunakan velg berukuran diameter 17, panjang sepeda motor yang di pakai 1420 mm, tinggi rumah-rumah 1395 mm, panjang rumah-rumah 1805 mm. Ukuran rangka becak motor yang di desain oleh peneliti dengan panjang 2800 mm, panjang sepeda motor yang di pakai 1420 mm, lebar injakan kaki 360 mm, tinggi sandaran kaki 395 mm, lebar rangka untuk duduk 600 mm, tinggi rangka depan 650 mm, tinggi rangka belakang 495 mm. Jarak antar besi horizontal 281 mm, vertical 237 mm.



Gambar 2. Dimensi Becak Motor



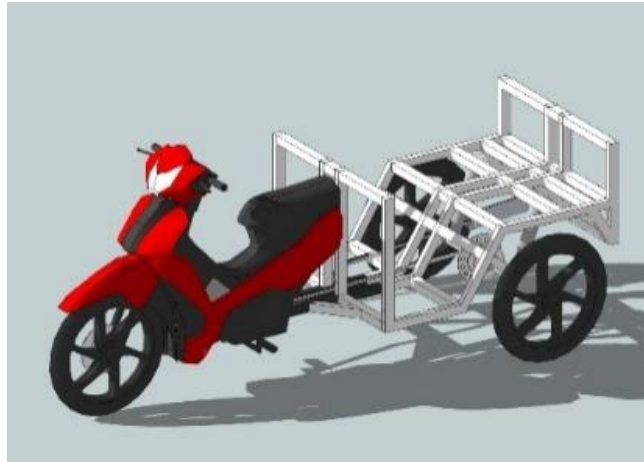
Gambar 3. Dimensi Rangka Becak Motor



Gambar 4. Dimensi Rangka Becak Motor

Berdasarkan hasil assistensi gambar peneliti yang diajukan ke Balai Pengujian Laik Jalan dan Sertifikasi Kendaraan Bermotor didapatkan hasil Panjang maksimum 12.000 mm, Lebar maksimum 1.300 mm, dan Tinggi maksimum 1,7 x lebar kendaraan.

4. Rancangan Teknis Kendaraan sesuai dengan Peruntukannya



Gambar 5. Rangka Becak Motor



Gambar 6. Becak Motor Pengangkut Orang

Rancangan dan peruntukan becak motor yaitu untuk mengangkut orang. Tidak menjadi persoalan atau masalah bahwa ada penumpang yang membawa barang dengan pertimbangan barang yang di bawah dalam porsi yang lebih kecil dibanding berat penumpang itu sendiri. Rangka becak motor terbuat dari besi *hollow galvalume* dengan ukuran dengan 40 x 40 x 2 mm, lantai becak motor terbuat dari plat bordes dengan tebal 2 mm. Tempat duduk untuk dua orang terbuat dari bahan gabus. Rumah-rumah di tutupi dengan canvas terpal.

5. Pemuatan

Cara pemuatan yang direncanakan yaitu dua tempat duduk menghadap ke depan berdampingan dan barang bawaan penumpang diletakkan di depan dekat kaki penumpang

6. Penggandengan Kendaraan Bermotor

Teknik penyatuan yang digunakan pada becak motor bukan termasuk penggandengan maupun penempelan ini lebih tepat disebut penyambungan

7. Emisi dan Gas Buang

Saat ini sepeda motor tidak wajib uji berkala. Namun dengan dilakukannya perubahan menjadi becak motor, semestinya kendaraan ini dikenai wajib uji berkala karena menjadi kendaraan penumpang umum seperti halnya bajaj di Jakarta.

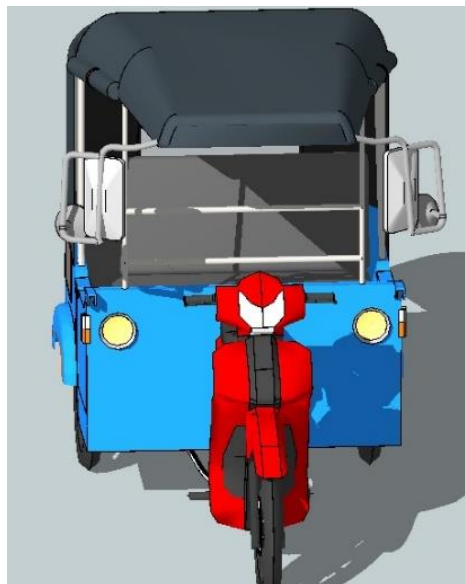
8. Efisiensi Sistem Rem



Gambar 7. Rem Cakram Becak Motor

Rem Cakram adalah rem yang bekerja atas dasar menjepit cakram yang dipasangkan pada roda kendaraan, pengereman untuk menjepit cakram digunakan *caliper* yang digerakkan oleh piston untuk mendorong sepatu rem (brake pads) ke cakram. Tidak perlu menginjak rem terlalu keras karena dibantu oleh fluida (hidrolis) untuk menggerakkan piston yang mendorong kampas rem. Kampas tidak cepat panas (memiliki pelepasan panas yang lebih baik). Hasil pengereman dapat mencapai 100% (karena menggunakan prinsip "menjepit").

9. Daya Pancar dan Arah Sinar Lampu



Gambar 8. Letak Lampu

Kendaraan becak motor yang di desain memiliki 4 komponen lampu karena yaitu komponen lampu jauh, lampu dekat, lampu penunjuk arah, dan lampu pengereman yang terletak di bagian belakang. Kendaraan becak motor harus dilengkapi dengan penerangan jalan agar dapat membantu penglihatan pada saat malam hari ataupun keadaan berkabut di siang hari. Dapat memancarkan

cahaya paling sedikit 40 (empat puluh) meter ke arah depan untuk lampu utama dekat dan 100 (seratus) meter ke arah depan untuk lampu utama jauh.

10. Akurasi Alat Penunjuk Kecepatan

Pada desain ini peneliti mendesain dengan menggunakan kendaraan motor Honda revo absolute yang mana komponen-komponen seperti penunjuk kecepatan tetap memakai komponen bawaan dari pabrik sehingga itu membantu pengendara bisa mengontrol kecepatan pada becak motor

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan serta konsultasi ke Balai Pengujian Laik Jalan dan Sertifikasi Kendaraan Bermotor maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Becak motor terdiri dari dua bagian yang disatukan, yaitu bagian depan berupa sepeda motor yang dimodifikasi bagian belakangnya meliputi rangka, sistem rem, transmisi, dan roda serta bagian belakang berupa kereta dengan rumah-rumah.
2. Hingga saat ini sepeda motor tidak terkena kewajiban mempunyai perlengkapan, perlengkapan yang wajib dipenuhi oleh sepeda motor ialah lampu posisi depan dan belakang, pemantul di sisi belakang, lampu penunjuk arah, lampu rem dan lampu hazard.
3. Cara pemuatannya yaitu dua tempat duduk menghadap ke depan berdampingan, dan barang bawaan penumpang diletakkan di depan dekat kaki penumpang.
4. Secara teknis penelitian, desain rancangan becak motor telah memenuhi syarat berdasarkan pada peraturan pemerintah nomor 55 tahun 2012 tentang kendaraan

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. 1999. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktis*. Rineka Cipta. Jakarta
- Desmawanto, M.H., Sudarsono, dan Hadiyantina, S., 2013, *Eksistensi Peraturan Daerah tentang Becak Motor*, *Jurnal Penelitian Universitas Brawijaya*, Malang.
- Hamzani, dan Desmi, 2014. "Pengaruh Angkutan Becak Mesin Terhadap Kinerja Jalan" IV (2): Hal 32 *Teras Jurnal*
- J. Supranto. 1997. *Pengukuran Tingkat kepuasan Pelanggan*. Rineka Cipta. Jakarta
- Joko Subagyo, P. 2006. *Metode Penelitian Dalam Teori Dan Praktek*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Kartono, Kartini. 1980. *Pengantar Metodologi Riset Sosial*. Alumni Bandung.
- Kabupaten Dairi, 2000. *Peraturan Daerah Kabupaten Dairi Nomor 16 Tahun 2000 tentang Usaha Angkutan Umum*
- Kabupaten Tebing Tinggi, 2007. *Perda Nomor 3 Tahun 2007 tentang Retribusi Izin Mendirikan Perusahaan dan Operasi Becak dan Motor*.
- Kartodirjo, Sartono. 1981. *Pedicab in Yogyakarta, The: A Study of Low Cost Transportation and Poverty Problems*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Mestika Zed, 2004. *Metode Penelitian Kepustakaan, Yayasan Obor Indonesia*. Jakarta
- Meta Suryani, Anis Mashdurohaturun, 2016. *Penegakan Hukum Terhadap Eksistensi Becak Bermotor Umum (Bentor) Berdasarkan Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. *Jurnal Pembaharuan Hukum Volume III No. 1 Januari - April 2016*
- Presiden Republik Indonesia, 2012. *Peratursn Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2012 Tentang Kendaraan*. Jakarta
- Presiden Republik Indonesia, 2009. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan*. Jakarta
- Sukarto, Haryono. 2006. *Transportasi Perkotaan dan Lingkungan*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan. Banten
- Tamin, Ofyar, Z. 2000. *Perencanaan dan Permodelan Transportasi*. Penerbit ITB, Bandung

ALTERNATIF METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN LAPIS FONDASI SEMEN TANAH PADA PROYEK PEMELIHARAAN BERKALA JALAN BATAS KABUPATEN SORONG SELATAN – KAMBUAYA

Lucky Caroles¹, Y. T. Todingrara², dan M. Tumpu³

¹Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Papua, Jln. Gunung Agung Salju Amban Manokwari Email: luckycaroles1977@gmail.com

²Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) XXI, Kendari, Email: tulakmr@yahoo.com

³Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: tumpumiswar@gmail.com

ABSTRAK

Pertimbangan pemilihan lapis fondasi semen tanah sebagai struktur lapis fondasi dikarenakan daerah tersebut tidak memiliki bahan atau material agregat batuan yang memenuhi standar akan tetapi kaya akan material tanah karang atau tanah kapur yaitu pada daerah Kabupaten Sorong Selatan dan Kambuaya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis alternatif metode pelaksanaan pekerjaan lapis fondasi semen tanah pada proyek pemeliharaan berkala jalan batas Kabupaten Sorong Selatan – Kambuaya. Jenis penelitian ini tergolong penelitian yang menggunakan pendekatan secara kuantitatif, dimana datanya dinyatakan dalam angka dan dianalisis dengan teknik statistik untuk menjawab rumusan masalah dan pengujian hipotesis yang diajukan. Pengumpulan data adalah prosedur yang sistematis dan standar untuk memperoleh data yang diperlukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa memberikan waktu pelaksanaan yang lebih singkat, biaya lebih murah pada pelaksanaan dan biaya mobilisasi dikarenakan dua fungsi alat dapat digabung menjadi satu. Akan tetapi hasil dari modifikasi metode pelaksanaan ini tidak dapat dilaksanakan jika quarry atau tempat pencampuran memiliki jarak yang jauh dari lokasi pelaksanaan mengingat semen memiliki waktu pengerasan yang cepat, disamping itu faktor cuaca juga haruslah menjadi bahan pertimbangan yang penting.

Kata kunci: lapis fondasi, semen tanah, modifikasi

PENDAHULUAN

Ruas jalan batas Kabupaten Sorong Selatan – Kambuaya merupakan jalan nasional yang dikelola oleh negara melalui Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah III (Maybrat), Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional X (Papua) Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jalan ini menghubungkan kota Sorong, Kabupaten Maybrat, dan Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat, dimana struktur lapisan perkerasan eksisting terdiri dari lapis penetrasi (Mac Adam) dengan kondisi perkerasan yang sebahagian besar telah rusak. Lapis permukaan dan lapis fondasi jalan sudah tidak layak dan bahu jalan yang rusak berat.

Pada tahun 2015, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mengalokasikan anggaran untuk pelaksanaan pemeliharaan berkala ruas jalan batas Kabupaten Sorong Selatan – Kambuaya dengan tujuan mengembalikan kondisi permukaan jalan dan meningkatkan kinerja jalan tersebut. Desain struktur lapisan perkerasan jalan sesuai dengan dokumen kontrak yaitu lapis permukaan jalan dengan Lataston Lapis Aus (HRS-WC) dan lapis fondasi dengan lapis fondasi semen-tanah (*soil cement base*). Pertimbangan pemilihan lapis fondasi semen tanah sebagai struktur lapis fondasi dikarenakan daerah tersebut tidak memiliki bahan atau material agregat batuan yang memenuhi standar akan tetapi kaya akan material tanah karang atau tanah kapur.

Lapis fondasi semen tanah adalah lapis fondasi yang terbuat dari tanah yang diambil dari daerah sekitar atau yang di datangkan dari luar lokasi pekerjaan yang telah memenuhi syarat dan distabilisasi dengan menggunakan semen portland, dimana dalam proses pekerjaan ini yang dimulai dari pemilihan material, pencampuran, pengangkutan, penghamparan, pembentukan dan pemadatan memerlukan peralatan yang cukup dan kondisi yang baik.

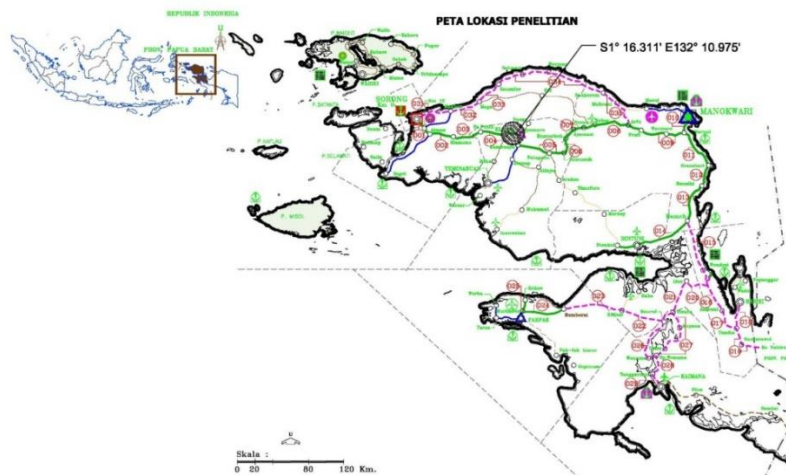
Oleh karena tingginya volume lalu lintas yang juga diikuti oleh tingginya intensitas beban dan abrasi yang dialami oleh lapis fondasi, maka pelaksanaan pekerjaan stabilisasi tanah dengan semen membutuhkan metode perancangan dan metode pelaksanaan yang lebih tepat dan teliti. Kegagalan menerapkan metodologi pelaksanaan yang tepat bisa menyebabkan terjadinya kegagalan struktur perkerasan jalan dan keterlambatan penyelesaian pekerjaan secara keseluruhan, disamping itu juga akan berpengaruh pada kenaikan biaya pelaksanaan pekerjaan.

Mengingat arti pentingnya metodologi yang tepat untuk pelaksanaan pekerjaan lapis fondasi semen tanah pada ruas jalan batas Kabupaten Sorong Selatan – Kambuaya agar selesai tepat waktu dengan kualitas yang baik dan kuantitas yang cukup, maka dalam penyusunan dan pemilihan metode pelaksanaan tentunya akan mempertimbangkan faktor-faktor seperti volume pekerjaan, jenis dan jumlah peralatan yang dibutuhkan, ketersediaan peralatan, sumber daya manusia, iklim dan cuaca, topografi, adat istiadat masyarakat setempat, target waktu pelaksanaan, sumber material, jarak angkut, dan besarnya biaya yang dibutuhkan. Jika semua faktor tersebut dapat tersedia dengan baik dan cukup tentunya akan memberikan hasil yang baik pula, namun dalam kenyataan di lapangan tidak semua faktor tersebut dapat tersedia dengan cukup, dalam hal ini PT. X tidak memiliki beberapa jenis peralatan yang diminta dalam kontrak. Oleh sebab itu perlu kiranya ada suatu pendekatan ilmiah yang dapat digunakan untuk mengambil suatu keputusan mengenai penyusunan dan pemilihan metode pelaksanaan yang tepat. Salah satu metode ilmiah yang dimaksud adalah melakukan modifikasi pada metode pelaksanaan lapis fondasi semen tanah.

MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Maybrat Provinsi Papua Barat pada paket pekerjaan pemeliharaan berkala jalan batas Kabupaten Sorong Selatan – Kambuaya yang dilaksanakan oleh Kontraktor PT. X. Pemilihan lokasi penelitian ini didasari keinginan untuk melakukan riset terhadap proses stabilisasi tanah di wilayah penelitian, sehingga bisa dijadikan acuan dalam pelaksanaan pekerjaan selanjutnya. Waktu penelitian ini berdasarkan waktu kontrak paket pekerjaan yakni 4 (empat) bulan dimulai dari bulan Mei 2015 sampai dengan bulan Agustus 2015.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Metode Penelitian

Berdasarkan tujuannya, penelitian ini termasuk penelitian *Developmental* yaitu penelitian yang berusaha mengadakan percobaan dan penyempurnaan terhadap sesuatu yang telah ada. Jenis penelitian ini tergolong penelitian yang menggunakan pendekatan secara kuantitatif, dimana datanya dinyatakan dalam angka dan dianalisis dengan teknik statistik untuk menjawab rumusan masalah dan pengujian hipotesis yang diajukan.

Data Penelitian

Definisi data adalah suatu bahan atau sumber informasi atau bahana baku pokok (bahan mentah) baik mengenai kualitas maupun kuantitas yang menunjukkan suatu fakta. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah :

1. Data primer adalah data yang dihimpun dari hasil pengamatan langsung di lapangan, meliputi :
 - a. Jumlah peralatan
 - b. Jenis peralatan
 - c. Produktifitas peralatan
 - d. Jam kerja peralatan
 - e. Waktu dan durasi pekerjaan
2. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari pihak lain atau instansi yang terkait yang meliputi :
 - a. Dokumen kontrak pelaksanaan pekerjaan
 - b. Laporan pelaksanaan pekerjaan
 - c. Hasil uji laboratorium

Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah prosedur yang sistematis dan standar untuk memperoleh data yang diperlukan. Data yang dikumpulkan dan diolah sendiri oleh peneliti langsung dari responden atau lapangan disebut data primer, sedangkan data yang diperoleh dari suatu lembaga atau institusi dalam bentuk sudah jadi disebut data sekunder. Data yang dipakai sebagai bahan analisis dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder.

Untuk melaksanakan penelitian ini, perlu dikumpulkan data penunjang agar hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan. Data dapat diperoleh dari sumbernya, atau dikumpulkan langsung di lapangan dengan melakukan pengukuran/penyelidikan. Jenis data dan sumbernya akan diuraikan yaitu :

1. Data Primer
Pengumpulan data primer yang dilakukan pada penelitian ini dengan cara pengamatan langsung di lapangan dan wawancara terhadap perusahaan yang menjadi sasaran penelitian.
2. Data Sekunder
Pengumpulan data sekunder adalah pengumpulan data yang dilakukan dengan mengumpulkan data yang ada pada instansi terkait, studi pustaka dan data-data hasil penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini.

Metode Analisis Data

Dalam penelitian ini metode analisis data dengan menggunakan cara induktif, yaitu dari fakta dan peristiwa yang diketahui secara kongkrit kemudian diolah dan disimpulkan dan bentuk metode yang optimal. Analisis dari data pada penelitian ini mempunyai tujuan mengembangkan teori melalui pengungkapan fakta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Paket pekerjaan pemeliharaan berkala jalan batas kabupaten Sorong Selatan – Kambuaya merupakan salah satu paket pekerjaan pemeliharaan jalan nasional dan strategis di wilayah Provinsi

Papua Barat yang dilaksanakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat melalui Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah III Maybrat Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional X Papua Direktorat Jenderal Bina Marga. Kontraktor pelaksana pada paket pekerjaan ini adalah PT. X. Adapun data paket pekerjaan tersebut adalah :

- Nama paket : **Pemeliharaan Berkala Jalan Batas Kabupaten Sorong Selatan Kambuaya.**
- Lokasi : Distrik Ayamaru, Kabupaten Maybrat Provinsi Papua Barat.
- Jenis kontrak : Harga Satuan (*Unit Price*)
- Nomor kontrak : 01/HK.02.03/PPK.10/PJN-III/PB-BTS.SORSEL-KAMB/2015.
- Tanggal kontrak : 08 April 2015.
- Kontraktor : PT. X
- Waktu pelaksanaan : 210 Hari kalender
- Waktu pemeliharaan : 720 Hari kalender
- Sumber dana : APBN Tahun Anggaran 2015

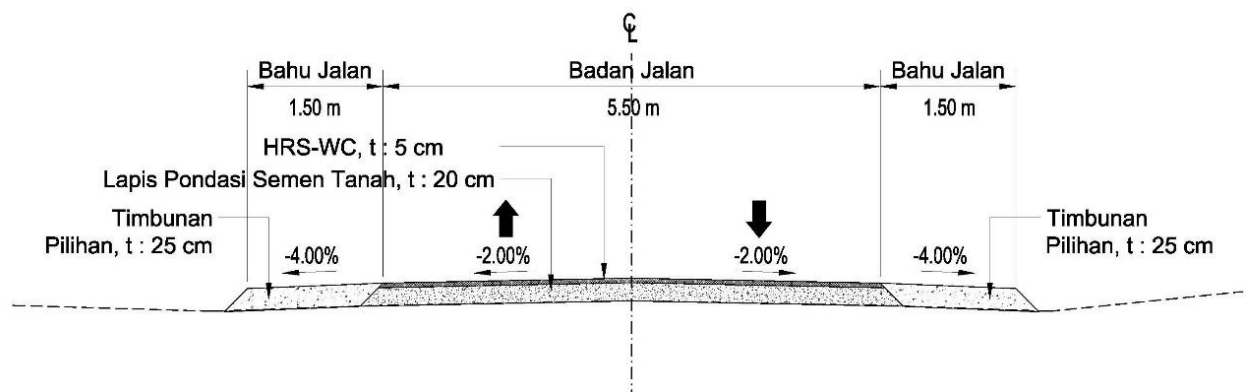
Tabel 1. Daftar kuantitas pekerjaan sesuai dokumen kontrak

NO. MATA PEMBAYARAN	URAIAN	SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA-
				(RUPIAH)	HARGA (RUPIAH)
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f = (d x e)</i>
	DIVISI 1. UMUM				
1.2	Mobilisasi	LS	1.00	207,435,000	207,435,000
	DIVISI 2. DRAINASE				
2.1.(1)	Galian untuk Selokan Drainase dan Saluran Air	M ³	1,125.00	54,564.95	61,385,568.75
2.2.(1)	Pasangan Batu dengan Mortar	M ³	352.80	1,667,260.79	588,209,606.79
	DIVISI 3. PEKERJAAN TANAH				
3.1.(1a)	Galian Biasa	M ³	4,450.61	142,670.78	634,972,000
3.1.(1b)	Galian Batu Lunak	M ³	12,251.73	307,556.45	3,768,098,610
3.2.(1b)	Timbunan Biasa dari galian	M ³	2,520.00	286,715.87	722,523,993
3.2.(2a)	Timbunan Pilihan dari sumber galian	M ³	4,035.00	432,780.76	1,746,270,367
3.3.(1)	Penyiapan Badan Jalan	M ²	27,000.00	3,296.78	89,013,048
	DIVISI 5. PERKERASAN BERBUTIR				
5.4.(1)	Semen untuk Lapis Pondasi Semen Tanah	Ton	362.34	3,112,373.19	1,127,737,302
5.4.(2)	Lapis Pondasi Semen Tanah	M ³	3,960.00	233,439.13	924,418,963
	DIVISI 6. PERKERASAN ASPAL				
6.1 (2)(a)	Lapis Perekat - Aspal Cair	Liter	15,840.00	20,204.17	320,034,053
6.3(3a)	Lataston Lapis Aus (HRS-WC) (gradasi senjang/semi senjang)	Ton	2,019.01	2,271,120.43	4,585,414,859
6.3.(8)	Bahan anti pengelupasan	Kg	476.98	30,000.00	14,309,400
	DIVISI 7. STRUKTUR				
7.1 (7) a	Beton mutu sedang fc'20 MPa	M ³	18.42	2,999,178.00	55,244,859
7.3 (1)	Baja Tulangan U 24 Polos	Kg	1,371.94	26,418.38	36,244,425
7.9.(1)	Pasangan Batu	M3	484.82	1,709,075.38	828,593,927

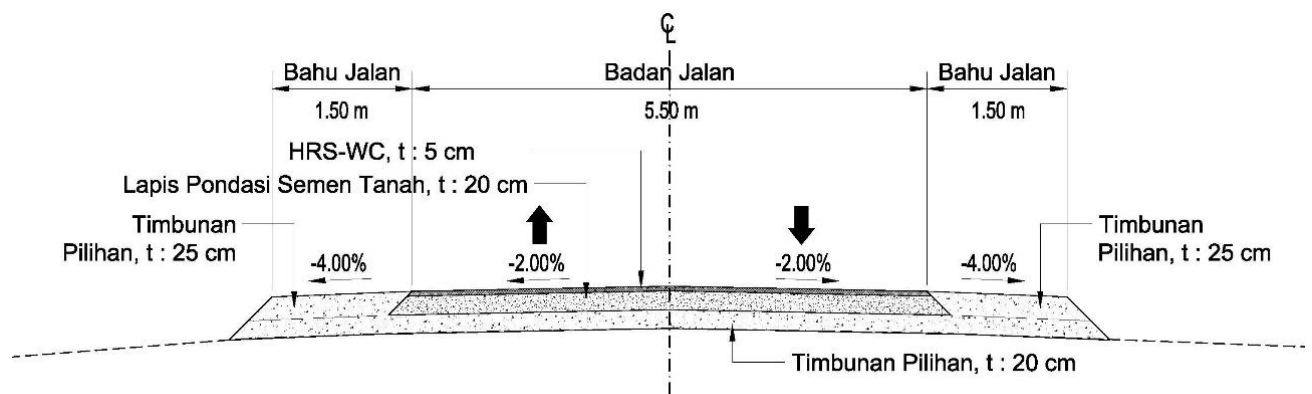
Sumber : Dokumen kontrak

Sesuai dengan dokumen kontrak, item pekerjaan pada pemeliharaan berkala jalan batas kabupaten Sorong Selatan – Kambuaya terdiri dari :

1. Divisi 1. Umum
 - Mobilisasi
2. Divisi 2. Drainase
 - Galian untuk selokan drainase dan saluran air
 - Pasangan batu dengan mortar
3. Divisi 3. Pekerjaan tanah
 - Galian biasa
 - Galian batu lunak
 - Timbunan biasa dari galian
 - Timbunan pilihan dari sumber galian
 - Penyiapan badan jalan
4. Divisi 5. Perkerasan berbutir
 - Semen untuk lapis fondasi semen tanah
 - Lapis fondasi semen tanah
5. Divisi 6. Perkerasan Aspal
 - Lapis perekat aspal cair
 - Lataston lapis aus (HRS-WC)
 - Bahan anti pengelupasan
6. Divisi 7. Struktur
 - Beton mutu sedang $f'c$ 20 MPa
 - Baja tulangan U24 polos
 - Pasangan batu



Gambar 2. Typikal Penanganan Jalan pada tanah dasar yang keras



Gambar 3. Typikal Penanganan Jalan pada tanah dasar yang lunak

Alternatif Metode Pelaksanaan Beserta Tahapan Pelaksanaan

Metode pelaksanaan pekerjaan lapis fondasi semen tanah disesuaikan dengan pemilihan cara untuk pencampuran (*milling*) dan penghamparan (*paving*) material. Dari hasil pengujian material tanah yang akan digunakan, nilai indeks plastisitas tanah adalah 6,72 % dan persentase lolos ayakan no.40 adalah 75,77 %, diperoleh nilai hasil pengalihan indeks plastisitas dan persentase lolos ayakan no.40 adalah 509,17. Sehingga material tanah yang digunakan untuk campuran lapis fondasi semen tanah diklasifikasikan dalam tanah berplastisitas tinggi (>500) dan metode pencampuran dapat dilakukan di tempat (*mix in place*). Beberapa metode pelaksanaan pencampuran material di tempat (*mix in place*) sesuai dengan peralatan yang digunakan, antara lain :

1. Penebaran dengan *Cement Spreader*.
2. Penebaran semen *jumbo bag* dengan *Excavator*.
3. Penebaran semen zak dengan manual (tenaga manusia).

Metode pelaksanaan lapis fondasi semen tanah ini dengan menggunakan *Cement Spreader* pada saat penghamparan semen. Adapun metode pelaksanaannya sebagai berikut :

a. Persiapan

1. Penyiapan tanah dasar harus dilakukan sesuai dengan ketentuan, yaitu elevasi, dimensi dan kepadatan sesuai dengan spesifikasi teknis.
2. Semua alat yang akan digunakan telah siap beroperasi.
3. *Cement spreader* diisi dengan semen kapasitas 23 ton untuk satu kali pelaksanaan.

b. Pencampuran dan penghamparan Material

1. Material tanah dari lokasi sumber bahan yang sudah dihaluskan harus dihampar dan disebar sampai rata dengan ketebalan 0,25 m di atas tanah dasar yang sudah disiapkan serta kadar airnya disesuaikan untuk mendapatkan kadar air yang optimum.
2. Sebar semen dengan *Cement spreader* dengan kecepatan konstan agar diperoleh ketebalan semen sesuai kadar semen yang dipakai.



Gambar 4. Penebaran semen dengan Cement Spreader

3. Setelah semen disebar merata, dilakukan pencampuran (*milling*) dengan alat *Recycling machine* (WR.2500) dengan kedalaman 0,25 m sesuai ketebalan material tanah yang telah dihampar.



Gambar 5. Milling campuran semen tanah dengan alat Recycling Machine (WR.2500)

4. Pada saat pencampuran (*milling*), kecepatan alat *Recycling machine* diusahakan konstan agar hasil campuran homogen.
5. Selama pelaksanaan *milling*, kedalaman harus selalu dicek dengan melihat elevasi pada patok-patok yang telah ditandai.
6. Arah lintasan alat *Recycling machine* dimulai dari sisi bagian luar kemudian masuk ke bagian dalam as jalan.
7. Pekerjaan penempatan tanah dan pencampuran tanah semen harus dilaksanakan dari bawah dengan ketinggian berapapun menuju ke atas (menuju arah tanjakan).
8. Penyiraman dengan *Water tank truck* dilakukan untuk menambahkan kadar air seperlunya sehingga menyamai batas kadar air yang ditentukan dalam prosedur rancangan campuran.



Gambar 6. Penyiraman dengan Water tank Truck

9. Bilamana semen dan tanah telah dicampur merata, dilakukan pemadatan awal dengan *Padfoot roller*.



Gambar 7. Pemadatan awal dengan Padfoot Roller

c. Pemadatan

1. Pemadatan awal dilakukan pada saat pencampuran material tanah semen (*milling*) dan pemadatan akhir dilakukan pada saat pembentukan badan jalan.
2. Pemadatan awal dilakukan dengan alat *Padfoot Roller* akan mendapatkan hasil campuran yang lebih padat dan keras.
3. Setelah pemadatan awal, dilakukan pembentukan badan jalan dengan *Motor grader*.



Gambar 8. Pemadatan dan pembentukan badan jalan

4. Pemasadatan akhir dilakukan dengan alat *Pneumatic Tyre Roller* dan diakhiri dengan *Smooth Drum Roller*.
5. Pemasadatan dilakukan dengan kecepatan konstan sehingga diperoleh kepadatan yang merata.
6. Arah pemasadatan pada badan jalan dimulai dari tepi badan jalan sampai as badan jalan.
7. Perhatian khusus untuk memperoleh kepadatan penuh di sekitar sambungan memanjang maupun melintang. Sebelum setiap campuran baru disambung dengan campuran yang telah dipasadatkan sebelumnya, ujung atau tepi lapisan sebelumnya dipotong sampai memperoleh permukaan vertikal sehingga dapat dicapai pemasadatan penuh pada tebal lapisan yang diperlukan.



Gambar 9. Pemasadatan akhir dengan Smooth Drum Roller

d. Pemeliharaan

1. Setelah pelaksanaan pembentukan dan pemasadatan lapis fondasi semen tanah, dilakukan perawatan dengan lembaran plastik kedap air (*curing membrane*) yang dipasang di atas hamparan dan dipertahankan minimal 24 jam.
2. Perawatan dilakukan selama tujuh hari setelah pembentukan dan pemasadatan badan jalan.
3. Lalu lintas dan peralatan pelaksanaan pekerjaan tidak diijinkan melewati permukaan jalan sampai pelapisan campuran aspal telah dilaksanakan.

Dari hasil analisa diatas diperoleh :

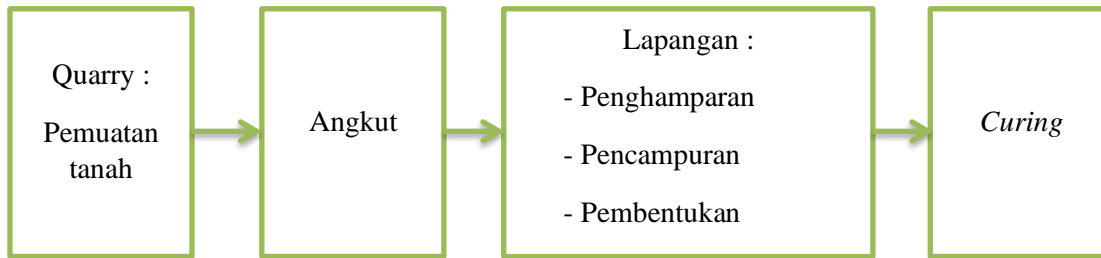
1. Alokasi waktu

waktu di quarry alternatif satu < alternatif modifikasi
waktu di lapangan alternatif satu > alternatif modifikasi

2. Tahapan pelaksanaan

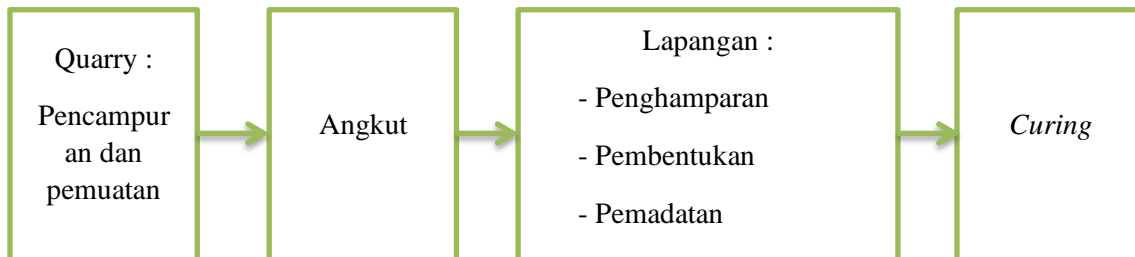
Tahapan pelaksanaan alternatif satu > alternatif modifikasi

Alternatif satu :



Gambar 10. Tahapan pelaksanaan alternatif

Modifikasi :



Gambar 11. Tahapan modifikasi metode pelaksanaan

Proses penghampanan tanah + pembentukan	= 1,12 + 1,12 = 2,24 jam
Proses penghampanan semen + pencampuran tanah	= 0,27 + 0,33 = <u>0,60 jam</u>
	2,84 jam
Proses pencampuran semen tanah di quarry	= 1,08 jam
Proses penghampanan + pemadatan	= 1,12 + 0,60 = <u>1,72 jam</u>
	2,82 jam

Dari hasil modifikasi pada tahapan metode pelaksanaan dan penggantian jenis alat yang disesuaikan dengan kondisi yang ada, diperoleh alokasi waktu pelaksanaan untuk satu kali penghampanan lapis fondasi semen tanah yaitu 5,080 jam, lebih cepat daripada alokasi waktu untuk metode pelaksanaan alternatif satu. Alokasi peralatan sesuai dengan ketersediaan di lokasi pekerjaan. Pengoptimalan peralatan yang digunakan sangat menentukan kecepatan dan penggunaan biaya. Alokasi biaya yang dibutuhkan untuk satu kali pelaksanaan yaitu Rp. 6.538.924,39 lebih murah dibandingkan dengan metode pelaksanaan alternatif.

Dalam satu kali pelaksanaan pekerjaan lapis fondasi semen tanah sepanjang 200 meter membutuhkan alokasi waktu selama 5,080 jam. Untuk menyelesaikan target pekerjaan sepanjang 3600 meter, alokasi waktu yang dibutuhkan selama 182,87 jam kerja atau 26,12 hari kalender lebih cepat daripada jumlah hari yang disediakan dalam *time schedule* sesuai kontrak yaitu 28 hari kalender. Ketepatan waktu pelaksanaan lapis fondasi semen tanah dapat menunjang pelaksanaan item lapisan struktur perkerasan selanjutnya.

KESIMPULAN

1. Dari ketiga alternatif tersebut hanya alternatif satu yang memenuhi syarat masuk dalam jangkauan durasi waktu yang telah direncanakan yakni 28 hari, dengan asumsi bahwa semua peralatan yang dibutuhkan tersedia. Pemilihan metode pelaksanaan dengan cara memodifikasi metode pelaksanaan dapat mempercepat dan menghemat biaya yang dibutuhkan. Dari segi waktu, metode pelaksanaan alternatif satu membutuhkan waktu 5,264 jam untuk satu kali

pelaksanaan penghamparan lapis fondasi semen tanah dengan panjang 200 m', alternatif dua membutuhkan alokasi waktu 6,110 jam, dan alternatif tiga membutuhkan waktu 6,880 jam. Setelah dilakukan modifikasi metode pelaksanaan dengan mengoptimalkan ketersediaan peralatan yang ada, alokasi waktu yang dibutuhkan menjadi 5,080 jam. Ini lebih cepat dibandingkan metode pelaksanaan yang biasa dilakukan. Untuk menyelesaikan target pekerjaan sepanjang 3600 meter, alokasi waktu yang dibutuhkan selama 182,87 jam kerja atau 26,12 hari kalender lebih cepat daripada jumlah hari yang disediakan dalam *time schedule* sesuai kontrak yaitu 28 hari kalender. Dari segi biaya, dengan memodifikasi metode pelaksanaan, biaya yang dibutuhkan untuk satu kali pelaksanaan lapis fondasi semen tanah lebih murah dibandingkan dengan alternatif metode pelaksanaan yang ada yaitu sebesar Rp. 6.538.924,39. Modifikasi dilakukan pada dua hal yaitu modifikasi pada tahapan pelaksanaan dan peralatan. Modifikasi pada tahapan pelaksanaan di susun dan disesuaikan dengan peralatan yang tersedia yakni dengan mempersingkat atau menggabungkan beberapa tahap pelaksanaan dalam satu tahapan yakni proses penghamparan dan pencampuran semen tanah tidak dilakukan di lapangan akan tetapi dilakukan di quarry dengan menggunakan alat excavator. Kelebihan dari hasil modifikasi metode pelaksanaan ini adalah memberikan waktu pelaksanaan yang lebih singkat, biaya lebih murah pada pelaksanaan dan juga biaya mobilisasi dikarenakan dua fungsi alat dapat digabung menjadi satu. Akan tetapi hasil dari modifikasi metode pelaksanaan ini tidak dapat dilaksanakan jika quarry atau tempat pencampuran memiliki jarak yang jauh dari lokasi pelaksanaan mengingat semen memiliki waktu pengerasan yang cepat, disamping itu faktor cuaca juga haruslah menjadi bahan pertimbangan yang penting.

2. Waktu yang di perlukan untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan berdasarkan alternatif adalah alternatif satu membutuhkan waktu 27,07 hari, alternatif dua membutuhkan 31,42 hari, alternatif tiga membutuhkan 35,38 hari, dan modifikasi metode pelaksanaan membutuhkan 26,12 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Hardiyatno, H.C., 2011. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatno, H.C., 2013. *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kemepupera, 2006. *Lapis Fondasi Semen Tanah*. Dirjen Bina Marga, Jakarta.
- Kemepupera, 2010. *Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)*. Dirjen Bina Marga, Jakarta.
- Kemepupera, 2015. *Dokumen Kontrak Pekerjaan*. Satker Wilayah III Maybrat, Papua Barat.
- Orr, A.D, 2012. *Terjemahan Advanced Project Management*. Indeks, Jakarta.
- Ranjabar, J., 2015. *Analisa Manajemen Suatu Kajian Dasar dengan Pendekatan Sisi Kuantitatif*. Alfabeta, Bandung.
- Rostiyanti, S.F., 2008. *Alat Berat untuk Proyek Konstruksi*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Sangadji, E.M dan Sopiah, 2010. *Metodologi Penelitian Pendekatan Praktis dalam Penelitian*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Saodang, H., 2009. *Struktur dan Konstruksi Jalan Raya*. Nova, Bandung.
- Wilopo, D., 2011. *Metode Konstruksi dan Alat-alat Berat*. Universitas Indonesia Press, Jakarta.

ANALISIS PENGARUH APLIKASI TEKNOLOGI TERHADAP PREFERENSI KURIR BERBASIS *ONLINE* DAN KONVENSIONAL DI KOTA BANDUNG RAYA

Raisa Fadhila

Alumni Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Email: raisa.fadhila@gmail.com

ABSTRAK

Mobilitas masyarakat di Kota Bandung Raya terus meningkat, fenomena yang terjadi saat ini adalah tingginya pergerakan masyarakat dalam mengirimkan paket atau dokumen menggunakan kurir yang efektif dan efisien, sehingga muncul inovasi dari penyedia layanan kurir berupa jasa kurir yang dilengkapi teknologi informasi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui variabel yang paling berpengaruh bagi pengguna pemilihan kurir *online* dan konvensional, probabilitas pemilihan serta sensitivitas atributnya. dalam pemilihan jasa kurir untuk dapat menganalisis model pemilihan kurir.

Penelitian ini adalah model pemilihan diskrit binomial terhadap kurir *online* dan konvensional, teknik survei yang dilakukan menggunakan *stated preference* dengan memberikan skenario pengiriman paket dan dokumen bilamana situasi tersebut benar terjadi dengan kata lain responden diminta menyatakan pilihannya atas alternatif yang ditawarkan.

Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa aplikasi teknologi yang diterapkan pada jasa kurir *online* lebih diminati oleh masyarakat dibandingkan kurir konvensional, dan responden cenderung memilih kurir yang memiliki fasilitas berbasis *online*. Hasil pemodelan menggunakan Rstudio didapatkan atribut yang terdapat pada kurir yang bernilai signifikan yaitu *age, job, income, accesibility, travel time dan insurance* dengan nilai persamaan regresi ΔV adalah $y = 2.21764 - 0.3163\text{Gender} - 0.5043\text{Age} - 0.64636\text{Job} + 0.422405\text{Income} + 0.0634\text{Purpose} + 0.1345\text{Frequency} - 3.469316\text{Accesibility} - 1.444725\text{Ttime} - 0.1868\text{Fare} + 0.592089\text{Insurance}$. Dari hasil perhitungan untuk atribut *accesibility* dilihat nilai krusial untuk atribut aksesibilitas adalah 2 menit bila waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kurir *online* lebih cepat 2 menit dari kurir konvensional maka probabilitas pemilihan kurir *online* adalah sebesar 74%

Kata Kunci: binomial logit, kurir *online* dan konvensional, *stated preference*

ABSTRACT

The mobility of citizens in Great Bandung City has been increase, recent phenomenon is citizens needs of sending the package and document by courier increasingly high so that the courier producent bring up technology system for courier reservation. The pusrpose of this research is about finding the most effected variabel for user to choose online or conventional courier.

This research is binomial discrete choice to modelling the preference of sending the package and document with online courier or conventional courier, technique of survey using stated preference which is giving scenario about sending the packages and documents. And the responder have to chooise their preferences.

The result of research that the responder choose courier with technology application rather than conventional courier. Modelling result using Rstudio found that significant attributes

of courier are age, job, income, accesibility, travel time and insurance. With the regression equation $\Delta V, y = 2.21764 - 0.3163\text{Gender} - 0.5043\text{Age} - 0.64636\text{Job} + 0.422405\text{Income} + 0.0634\text{Purpose} + 0.1345\text{Frequency} - 3.469316\text{Accesibility} - 1.444725\text{Ttime} - 0.1868\text{Fare} + 0.592089\text{Insurance}$. And accesibility atribute has krucial point at 2 minutes so if responder get 2 minutes earlier than conventional courier probability online courier would be chosen rather than conventional courier with persentage is 74%.

Keywords: binomial logit, online dan conventional courier, stated preference

PENDAHULUAN

Perkembangan zaman semakin pesat tingginya kebutuhan hidup manusia membuat laju transportasi semakin berkembang termasuk pengiriman barang, Pengiriman barang yang dilakukan sendiri kurang efektif dan efisien (waktu, jarak tempuh, bahan bakar, kemacetan dan biaya). Angkutan yang menawarkan jasa kurir pengantaran barang konvensional telah lama tersedia, jasa yang ditawarkan oleh perusahaan jasa kurir konvensional terhitung sudah cukup baik dari segi biaya, waktu pengantaran, keamanan dan menjadi jasa yang paling sering digunakan oleh masyarakat tetapi tingginya kebutuhan masyarakat akan moda pengantaran barang dan kebutuhan akan jasa kurir pengiriman barang menjadi kesempatan bagi pengusaha moda lainnya dengan melihat peluang yang ada mereka membuat terobosan baru dalam penyediaan jasa kurir barang. Fenomena yang terjadi di lapangan Munculnya terobosan baru dari para pengusaha dan penyedia jasa berupa kurir yang mengantarkan dokumen, paket/parsel yang berbasis *online*.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor- faktor yang mempengaruhi pemilihan kurir antara kurir berbasis *online* dan kurir konvensional dengan area pengiriman kota Bandung Raya serta memperoleh suatu model pemilihan kurir yang dapat menjelaskan probabilitas dalam memilih kurir poin yang menjadi tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui atribut apa saja yang terdapat pada jasa kurir untuk melihat seberapa besar daya tarik dan tingkat kepuasan setiap pilihan terhadap persepsi pemilihan kurir.
2. Analisis model pemilihan kurir berbasis *online*
3. dan kurir konvensional.
4. Mendapatkan data variabel atribut apa saja yang paling berpengaruh signifikan dalam pemilihan kurir. jika terjadi perubahan nilai dari tiap atribut – atribut moda tersebut.
5. Menghitung probabilitas pemilihan jasa kurir dan melihat bagaimana pengaruh perubahan probabilitas apabila salah satu nilai selisih nilai atribut berubah.

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Objek penelitian berupa perbandingan jasa yang ditawarkan oleh kurir *online* dan jasa kurir konvensional.
2. Pengguna jasa kurir *online* dan jasa kurir konvensional berupa kajian dan pengumpulan informasi yang dimaksudkan untuk menganalisis dan mempelajari perilaku dan ketertarikan responden.
3. Batasan studi dalam penelitian ini adalah mulai dari saat waktu tunggu pemesanan jasa, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai jasa, rentang waktu pengiriman sejak barang diterima kurir hingga sampai ditangan penerima.
4. Jasa kurir online yang dibahas merupakan jasa kurir pengantar barang berupa parsel (barang berupa paket parsel dan dokumen) dalam hal ini yang menjadi objek adalah jasa Go-Send yang dimiliki perusahaan PT.Gojek Indonesia.
5. Jasa kurir konvensional dalam hal ini adalah jasa antar kilat (one night service) yang diberikan oleh PT.Pos Indonesia dengan barang yang dapat diantar berupa paket parsel dan dokumen yang disesuaikan dengan paket yang dapat dikirim melalui kurir konvensional sebagai patokannya, dengan wilayah pengantaran di area Bandung Raya.
6. Batasan wilayah pengiriman paket yang dijadikan bahan penelitian adalah kawasan Bandung Raya degan detail wilayah adalah Kota Bandung, Kabupaten Bandung (Soreang),

Kabupaten Bandung Barat (Ngamprah), Kota Cimahi dan Kabupaten Sumedang (Jatinagor).

7. Data yang digunakan adalah data primer yang didapatkan dari pengamatan, survey dan wawancara langsung di lapangan kepada pengemudi dan pengguna kurir online dan pengguna jasa kurir konvensional. Data sekunder didapatkan dari perusahaan penyedia jasa berupa data-data dalam aplikasi teknologi transportasi yang digunakannya sesuai dengan yang dibutuhkan untuk penelitian dan dari instansi terkait yang berhubungan dengan penelitian ini juga dari buku literature dan penelitian- penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

TINJAUAN PUSTAKA

a. Gambaran Umum Jasa Pengiriman Kurir Menurut Tjiptono (2008) dalam Yudha (2011), secara umum pelayanan jasa pengiriman barang adalah segala upaya yang diselenggarakan atau dilaksanakan secara sendiri atau secara bersama-sama dalam suatu organisasi untuk memberikan pelayanan secara efektif dan efisien.

Kurir adalah cara terbaik untuk mengoptimalkan waktu dan uang untuk kebutuhan masyarakat terutama di daerah sibuk. Jasa kurir melakukan pengiriman dari semua paket parsel, surat –surat, dokumen dan pengiriman penting lainnya.

b. Karakteristik Jasa Kurir Konvensional

Pada dasarnya jasa kurir konvensional dibandingkan dengan moda transportasi lainnya waktu pengiriman relatif cepat. Namun, waktu pengiriman yang cepat tersebut cenderung akan lebih membutuhkan waktu lebih lama apabila jenis ataupun volume paket yang dikirim relatif kecil, karena penumpukan volume paket, pendataan jenis barang dan mengelompokan paket berdasarkan area pengiriman akan membutuhkan waktu

c. Perkembangan Aplikasi Teknologi pada Jasa Kurir

Aplikasi teknologi transportasi disediakan oleh penyedia jasa kurir untuk para konsumen yang membutuhkan jasa pengantaran dokumen dan paket. Perkembangan teknologi ini berupa kurir pada umumnya yang diberi aplikasi berbasis *online* yang memberikan kemudahan bagi masyarakat untuk dapat memesan jasa kurir untuk mengantarkan paket mereka tanpa harus pergi menuju gerai melainkan memesan melalui aplikasi *online* kemudian paket akan diambil oleh kurir. Jasa Kurir Konvensional dan Kurir Berbasis *Online* di Kota Bandung.

Tabel 2.1 Perbandingan Kurir Konvensional dan *Online*

PELAYANAN PENYEDIA JASA	KURIR KONVENSIONAL	KURIR <i>ONLINE</i>
Aksesibilitas	Pemesan jasa kurir harus berjalan dari posisi dia berdiri menuju gerai kurir terdekat Pemesan mendaftarkan dan mengisi formulir jenis barang dan alamat tujuan, kemudian pihak kurir akan mendata semua barang yang masuk pada hari itu dan mensortir nya sesuai dengan tujuan pengiriman satu kurir akan mengirim lebih dari satu paket yang memiliki area tujuan pengiriman yang sama.	Pemesan jasa kurir tidak perlu berjalan menuju gerai kurir Pemesan memesan melalui aplikasi <i>online</i> kemudian menentukan lokasi penjemputan, lokasi pengantaran berikut nama penerima dan jenis barang yang akan dikirim, Kurir mendatangi pemesan dan kemudian langsung mengantarkan paket (satu pemesan satu kurir).
Aplikasi <i>Online</i> dan GPS	Kurir konvensional tidak dilengkapi aplikasi melalui internet dan GPS sehingga keberadaannya tidak bisa dilacak.	Kurir <i>Online</i> dilengkapi aplikasi internet dan GPS sehingga keberadaannya bisa dilacak.

Jenis Barang	Dokumen dan Paket parsel.	Dokumen dan Paket parsel.
Waktu tempuh	Dikutip dari perusahaan yang bersangkutan Garansi barang akan sampai dengan waktu maksimal 24 jam (One Night Service).	Dikutip dari perusahaan yang bersangkutan pengiriman area Bandung Raya adalah 3 jam (diluar kejadian tak terduga).
Tarif	Untuk jasa ONS area pengiriman Bandung Raya Rp. 9000,-	Untuk pengiriman area pengiriman Bandung Raya kisaran Rp. 4000 - Rp. 50.000,-
Jaminan Keamanan	Ada asuransi kerusakan dan kehilangan berikut tanda terima tertulis.	Tidak ada asuransi kerusakan dan kehilangan berikut tanda terima tertulis.
Area Pengiriman	Batasan wilayah Bandung Raya Kota Bandung, Kabupaten Bandung (Soreang), Kabupaten Bandung Barat (Ngamprah), Kota Cimahi, Kabupaten Sumedang (Jatinagor)	Batasan wilayah Bandung Raya Kota Bandung, Kabupaten Bandung (Soreang), Kabupaten Bandung Barat (Ngamprah), Kota Cimahi, Kabupaten Sumedang (Jatinagor)
Hari Kerja	Senin-Sabtu (Tergantung cabang)	7 Hari dalam seminggu
Jam Kerja	08.00 - 21.00	24 jam

d. Kualitas Pelayanan

Kualitas pelayanan dapat diartikan sebagai segala sesuatu yang dapat memuaskan konsumen atau sesuai dengan kebutuhan konsumen tersebut. Pelayanan jasa pada dasarnya bersifat *intangibile* (tak teraba) Parasuraman, dkk., (1998) dalam studinya megemukakan bahwa ada lima dimensi yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas pelayanan, yang dikenal dengan istilah SERVQUAL. Kelima dimensi tersebut antara lain :

1. *Tangibles* atau bukti fisik
2. *Reliability* (kehandalan)
3. *Responsiveness* atau daya tanggap
4. *Assurance* atau jaminan
5. *Empathy*

Dalam penelitian ini dimana dua buah pilihan kurir dibandingkan dibuat hipotesis sementara bahwa atribut-atribut yang menjadi pertimbangan konsumen dalam memilih kurir berdasarkan kualitas layanan adalah sebagai berikut :

1. Aksesibilitas (*Accessibility*)
Merupakan turunan *tangibles* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk berjalan menuju gerai kurir atau cara pemesanan jasa kurir dihitung sejak paket masih ditangan pengirim hingga samapai diterima oleh kurir dan siap dikirim ke tujuan.
2. Waktu Tempuh Pengantaran (*Travel Time*)
Merupakan turunan *reliability*, dalam hal ini merupakan waktu yang dibutuhkan sejak barang diberikan oleh pemesan jasa kepada kurir sampai paket tersebut diterima oleh penerima.
3. Tarif (*Fare*)
Merupakan turunan *responsiveness* atau daya tanggap dalam hal ini tarif yang merupakan jumlah uang yang dikerluarkan untuk membayar jasa untuk satu kali pengiriman paket parsel.
4. Jaminan Keamanan (*Insurance*)
Merupakan turunan *assurance* atau jaminan yang diartikan sebagai jaminan keamanan yang diberikan oleh perusahaan jasa

e. Model Pemilihan Diskrit

Model pemilihan diskrit (*Discrete Choice Model*) bertujuan untuk memodelkan pilihan responden terhadap alternatif yang tersedia berdasarkan daya tarik atau nilai manfaat. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada teori pemilihan diskrit adalah :

1. Pengambil keputusan

Model pemilihan diskrit juga disebut sebagai model disagregat, yang berarti bahwa pengambil keputusan diasumsikan sebagai individu untuk menjelaskan heterogenitas preferensi antara pengambil keputusan, model disagregat harus mencakup karakteristik individu seperti variabel sosioekonomi dari usia, jenis kelamin, pendidikan dan pendapatan.

2. Alternatif

Menganalisis pengambilan keputusan individu tidak hanya membutuhkan pengetahuan tentang apa yang telah dipilih, tapi juga apa yang belum dipilih. Oleh karena itu, alternatif yang tersedia harus ditawarkan kepada individu. Alternatif merupakan kumpulan atribut yang disimulasikan dengan sedemikian hingga yang akan diberikan kepada responden untuk melihat pilihan dari responden, kumpulan alternatif yang tersedia yang disebut *choice set*.

3. Atribut dari Pilihan

Setiap alternatif pada *choice set* digambarkan oleh kumpulan atribut. Atribut bisa bernilai kuantitatif misalnya; waktu tempuh, tarif, headway dan kualitatif misalnya; kenyamanan, keamanan.

4. Aturan Keputusan (*Decision rule*) / Utilitas Alternatif

Aturan keputusan adalah proses yang digunakan oleh pembuat keputusan untuk mengevaluasi alternatif pada set pilihan, kemudian menentukan pilihan. Kebanyakan model yang digunakan untuk perilaku perjalanan didasarkan pada teori utilitas, yang mengasumsikan preferensi pembuat keputusan terhadap suatu alternatif digambarkan oleh nilai yang disebut dengan utilitas dan pembuat keputusan memilih alternatif dengan nilai utilitas tertinggi pada *choice set*.

f. Metode Stated preference

Teknik Stated preference merupakan metode survei yang menggunakan variasi dari sekumpulan alternatif, sehingga responden dapat membuat keputusan berdasarkan alternatif yang ditunjukkan (Hensher, dkk, 2005). Teknik Stated preference yang digunakan dalam studi transportasi memiliki karakteristik pokok sebagai berikut (Pearmain, 1990):

Metode ini merupakan perangkat survei dalam riset pemasaran untuk mendapatkan pernyataan masyarakat bagaimana mereka akan memberikan respon terhadap situasi - situasi perjalanan hipotesis. Situasi - situasi perjalanan tersebut ditawarkan kepada responden yang mana memiliki kombinasi faktor yang berbeda dalam kaitannya dengan proses pengambilan keputusan perjalanan.

- a. Peneliti membuat situasi - situasi perjalanan yang memungkinkan respon masyarakat dapat diukur secara kuantitatif.
- b. Peneliti perlu membuat situasi-situasi perjalanan yang mudah dimengerti, masuk akal dan realistis, serta sesuai dengan tingkat pengetahuan dan pengalaman responden.
- c. Responden yang dipilih dalam survei harus mampu mewakili dari populasi yang diteliti.
- d. Respon yang diberikan oleh responden dianalisis dengan metode yang memberikan ukuran kuantitatif faktor - faktor yang diteliti dari situasi perjalanan hipotesis.

g. Model Logit Binomial

Model logit adalah model regresi *non-linear* yang menghasilkan sebuah persamaan dimana variabel dependen bersifat kategorikal. Kategori paling dasar dari model ini menghasilkan *binary values* seperti angka 0 dan 1. Pada model logit binomial pengambil keputusan dihadapkan pada sepasang alternatif diskrit, atau dengan kata lain adalah model pemilihan diskrit terhadap dua pilihan, dimana alternatif yang akan dipilih adalah yang mempunyai utilitas terbesar, utilitas dalam hal ini dipandang sebagai variabel acak. Dasar pemilihan diskrit antara lain adalah situasi pilihan, kebutuhan konsumen, nilai benda (utilitas) dari tiap pilihan masing masing individu. Utilitas

didefinisikan sebagai ukuran istimewa seseorang dalam menentukan pilihan alternatif terbaiknya atau sesuatu yang dimaksudkan oleh setiap individu (Tamin, 2000).

Bentuk regresi linier persamaan binomial adalah sebagai berikut :

$$y = a_0 + a_1(x_{1in} - x_{1jn}) + a_2(x_{2in} - x_{2jn}) + a_3(x_{3in} - x_{3jn}) + \dots + a_n(x_{in} - x_{jn})$$

Dimana :

y : Nilai kepuasan konsumen yang mencerminkan perilaku konsumen (maksimum kepuasan) / variabel tidak bebas

$x_i - x_j$: Variabel bebas yang mempengaruhi kepuasan maksimum

a_0 : Konstanta regresi

a_1, a_2, \dots, a_n : Koefisien regresi / Parameter variabel bebas.

Model utilitas merupakan perbandingan antara kedua utilitas moda yang saling berkompetisi sehingga persamaan ditunjukkan dengan probabilitas seseorang memilih sebuah pilihan yang merupakan fungsi dari selisih utilitas kedua moda tersebut.

Probabilitas adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengukur tingkat terjadinya suatu kejadian yang acak, (Supranto, 2001).

Sehingga probabilitas alternatif i yang dipilih oleh individu n yang di hadapkan pada sejumlah alternatif C_n adalah sebagai berikut:

$$P_n(i/C_n) = Prob (V_{in} \geq V_j \in C_n), \text{ Dengan } V_{in} - V_{jn} \geq \varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in}$$

Dalam model logit binomial, C_n terdiri dari dua lternative (*dalam hal ini i dan j*), sehingga probabilitas individu n memilih alternatif i adalah :

$$P_{in} = Prob (V_{in} \geq V_{jn}) \quad P_{in} = Prob (\varepsilon_{jn} \geq \varepsilon_{in} + (V_{in} - V_{jn}), \quad j \in C_n)$$

Sedangkan probabilitas memilih alternatif j adalah:

$$P_{jn} = 1 - P_{in}$$

Dimana :

P_{in} : Probabilitas alternatif i yang dipilih oleh individu n

P_{jn} : Probabilitas alternatif j yang dipilih oleh individu n

$V_{in} - V_{jn}$: Selisih deterministik parameter alternatif i dengan alternatif j

METODE PENELITIAN

Langkah kerja penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah
2. Studi pendahuluan
3. Ruang Lingkup dan Batasan Studi
4. Populasi dan Jumlah Sampel
5. Desain Kuisisioner Survei
6. Proses Pengumpulan Data
7. Pemodelan Menggunakan Program Rstudio
8. Analisis Model Logit Binomial
9. Grafik Sensitivitas Model
10. Pengambilan Kesimpulan Saran

Batasan ruang lingkup penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Proses pemesanan kurir, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk berjalan mencapai kurir, waktu yang dibutuhkan untuk pengantaran hingga barang sampai ditangan penerima.
2. Jenis barang yang dijadikan simulasi penelitian ini adalah berupa dokumen dan paket parsel, seperti dokumen, buku, paket paket kecil
3. Lokasi Penelitian
 - Lokasi penelitian dilakukan di kawasan Institut Teknologi Bandung dengan sasaran responden adalah mahasiswa yang berada di lingkungan ITB.
 - Lokasi yang dijadikan bahan simulasi pengiriman paket dengan posisi pengirim adalah di gerbang utama ITB dengan tujuan pengiriman yang dijadikan bahan penelitian adalah pengiriman paket ke kawasan Unjani Cimahi. Dan posisi PT. Pos yang dijadikan simulasi penelitian berada di Koperasi Mahasiswa di samping Bank BNI Taman Sari.

Populasi dan Jumlah Sampel

a. Populasi

Populasi penelitian ini difokuskan pada mahasiswa ITB yang pernah menggunakan layanan kurir dengan area perjalanan pengiriman adalah wilayah Bandung Raya

b. Jumlah Sampel

Dalam penelitian ini jumlah sampel penelitian menggunakan dasar Bradley (1988), jumlah responden untuk metode *stated preference* sekitar 75-100 responden dengan pengambilan sampel secara *random* sederhana (*Simple Random Sampling*).

HASIL PENELITIAN

1. Survei dilakukan dengan memberikan lembar survei berisi 8 set skenario pengiriman paket menggunakan kurir, responden
2. Real Survei dilakukan kepada 103 responden
3. Real Survei ini dilakukan terhadap responden, acak terpilih, dengan target responden adalah mahasiswa ataupun non mahasiswa yang berada di lingkungan ITB

Model utilitas diukur dari perbandingan selisih antara kedua utilitas moda yang dibandingkan yang ditunjukkan dengan probabilitas, selisih deterministik parameter utilitas dari kedua moda dapat dinyatakan dalam bentuk selisih atribut

$$\Delta V = V_{ko} - V_{kk}$$

$$\Delta V = a_0 + a_1(x_{1ko} - x_{1kk}) + a_2(x_{2ko} - x_{2kk}) + a_3(x_{3ko} - x_{3kk}) + \dots + a_n(x_{nko} - x_{nkk})$$

Dimana :

$V_{ko} - V_{kk}$: selisih deterministik parameter kurir *online* dengan kurir konvensional $X_{nko} - X_{nkk}$: selisih atribut kurir *online* dan atribut kurir konvensional

a_0 : Konstanta

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$: Koefisien estimasi setiap atribut

Nilai utilitas sebagai respon individu dapat dinyatakan dalam bentuk probabilitas memilih kurir, probabilitas dengan dua alternatif kurir yaitu kurir *online* dan kurir konvensional maka persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

Probabilitas pemilihan kurir *online*

$$P_{KO} = \frac{\exp^{V_{ko} - V_{kk}}}{1 + \exp^{V_{ko} - V_{kk}}}$$

Probabilitas pemilihan kurir konvensional

$$P_{KK} = 1 - P_{KO}$$

Dimana :

P_{KO} : Probabilitas pengguna jasa kurir *online*

P_{KK} : Probabilitas pengguna jasa kurir konvensional

$V_{ko} - V_{kk}$: Selisih deterministik parameter kurir *online* dengan kurir konvensional

Setelah dilakukan pilot survei untuk menentukan atribut yang berpengaruh dalam memilih kurir didapatkan empat atribut yang terpilih paling banyak oleh responden yaitu *accessibility*, *travel time*, *fare* dan *insurance*. Keempat atribut tersebut dijadikan desain skenario pengiriman paket hasil dari survei sebenarnya itu dirubah menjadi bentuk biner lalu dimodelkan menggunakan program Rstudio untuk mendapatkan model terbaik.

Model terbaik dipilih berdasarkan keseluruhan variabel yang dijabarkan dan dianalisis khusus terhadap konstanta. Model dapat dikatakan baik bila setiap variabel yang dianalisis memiliki nilai signifikansi yang ditandai dengan tanda bintang.

Model logit binomial terbaik yang dipilih memiliki persamaan utilitas sebagai berikut :

$$V_{ko} - V_{kk} = a_0 + a_1(x_{1ko} - x_{1kk}) + a_2(x_{2ko} - x_{2kk}) + a_3(x_{3ko} - x_{3kk}) + \dots + a_n(x_{nko} - x_{nkk})$$

$$y = 1.84891 - 0.46863Age - 0.64390Job + 0.41253Income - 3.41902Accessibility - 1.39523Ttime + 0.58992Insurance$$

Dari hasil penelitian diperoleh atribut – atribut yang bernilai signifikan yang sangat berpengaruh bagi responden dalam memilih jasa kurir yaitu sebagai berikut:

1. Aksesibilitas (Accessability)

Aksesibilitas merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kurir baik itu berjalan atau memesan melalui aplikasi dan menunggu, aksesibilitas yang ditawarkan oleh kurir online lebih mempermudah pengguna untuk mengefisienkan waktu dan tenaga. Berdasarkan hasil survei dan analisis aksesibilitas merupakan hal yang paling utama dalam memesan kurir. Meskipun terkadang ada masalah yang terjadi dalam sistem online seperti gangguan server, buruknya signal provider handphone ataupun lambatnya driver menkonfirmasi pesanan tetapi hal tersebut tidak menurunkan minat responden memilih kurir berbasis online.

2. Waktu Tempuh Pengantaran (Travel Time)

Merupakan waktu yang dibutuhkan sejak barang diberikan oleh pemesan kepada kurir sampai barang tersebut diterima oleh penerima paket dalam satuan jam. Setelah dilakukan survei, responden lebih memilih kurir yang dapat mengantarkan paket mereka dengan cepat terlebih lagi dengan kurir online jasa kurir lebih terjaga karena satu paket yang dikirim akan diantarkan oleh satu orang kurir sehingga waktu tempuh pengantaran akan lebih cepat.

3. Jaminan Keamanan (Insurance)

Jaminan keamanan disini merupakan adanya penyortiran, pengecekan ulang barang, menggolongkan tiap jenis barang dan tujuan, jaminan barang diganti atau dibayar sejumlah uang jika terjadi kerusakan dari penyedia jasa. Jaminan keamanan inilah yang menjadi alasan kenapa kurir konvensional tetap diminati dengan jumlah pengiriman yang sangat banyak hal itu kembali kepada jenis barang yang akan dikirimkan dalam penelitian ini meskipun paket yang dikirim tidak bernilai terlalu tinggi responden tetap memilih kurir yang memiliki jaminan keamanan, jaminan keamanan dari kurir online bukan dari segi penggantinya tetapi kemudahan untuk dilacak karena saat memesan kurir akan terlihat nama, foto, nomer telepon yang tentu saja telah terdata dalam server perusahaan, selain itu pergerakan kurir akan dapat dipantau melalui telepon genggam.

Interpretasi Model Terpilih

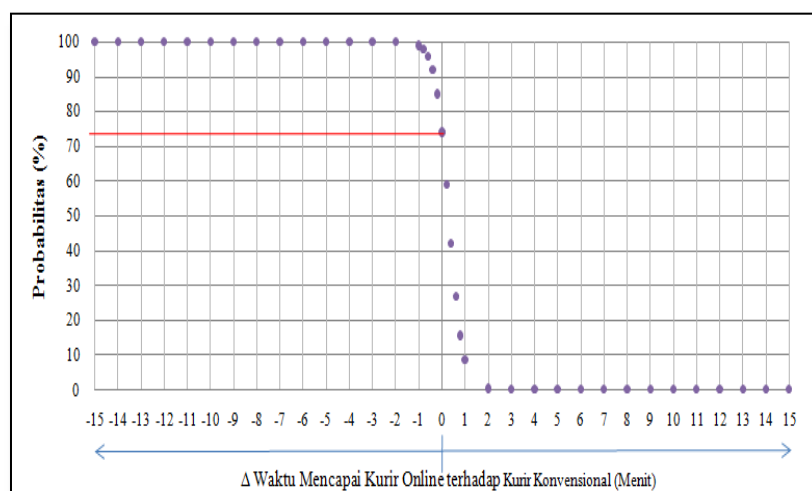
Berdasarkan tanda pada koefisien persamaan diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Model ini merupakan model peluang memilih kurir *online* dan kurir konvensional yang dipengaruhi oleh gender, usia, pekerjaan, pendapatan, tujuan pengiriman paket, frekuensi pengiriman, aksesibilitas, waktu pengantaranm tarif dan asuransi.
2. Model terpilih memiliki nilai konstanta bertanda positif yang berarti bahwa jika ada peningkatan pada variabel tertentu akan meningkatkan nilai utilitasnya.
3. Dari model yang dipilih didapatkan nilai ρ square adalah 0,358 Model dipengaruhi dari ketiga faktor yang dipertimbangkan dan 64,2% dipengaruhi oleh atribut yang belum dihitung atau dengan kata lain 35,8% variabel tidak terikatnya dapat menerangkan variabel terikat.
4. Dari semua atribut yang diukur atribut *accessibility* merupakan atribut yang memiliki koefisien terbesar yaitu 3,42 itu berarti atribut *accessibility* sangat sensitif mempengaruhi responden dalam memilih kurir untuk mengirimkan paket.
5. Atribut *accessibility* memiliki tanda negatif yang berarti semakin kecil waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kurir maka pemilihan untuk menggunakan kurir konvensional berkurang. Koefisien sebesar 3,42 menunjukkan tiap kenaikan 1 menit dalam mencapai kurir akan menurunkan probabilitas pemilihan kurir konvensional sebesar 3,42%
6. Atribut *travel time* memiliki tanda negatif yang berarti semakin kecil waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket maka pemilihan untuk menggunakan kurir konvensional berkurang. Koefisien sebesar 1,39 menunjukkan tiap kenaikan
7. 1 jam dalam mengantarkan paket akan menurunkan probabilitas pemilihan kurir konvensional sebesar 1,39%
8. Atribut *insurance* memiliki tanda positif berarti adanya jaminan keamanan membuat kurir konvensional dipilih. Koefisien sebesar 0,59 menunjukkan bila ada perubahan jaminan keamanan dalam kurir menjadi tidak ada akan menurunkan probabilitas pemilihan kurir konvensional sebesar 0,59%

Grafik Sensitivitas Atribut

Sensitivitas atribut menunjukkan seberapa besar pengaruh perubahan selisih nilai dari tiap parameter moda terhadap nilai probabilitas pemilihan. Analisis sensitivitas merupakan analisis kepekaan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan tersebut terhadap nilai probabilitas yang telah didapatkan. Grafik sensitivitas model terhadap perubahan atribut yang didapatkan adalah sebagai berikut:

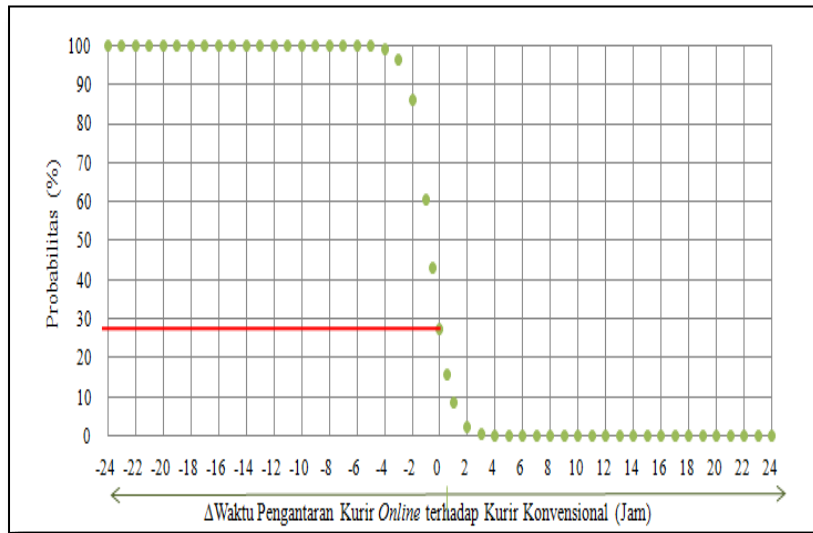
A. Atribut Accesibility



Gambar 1. Sensitivitas Model terhadap Perubahan *Accessibility*

Dari grafik diatas kurva menunjukkan arah panah ke kanan (+) berarti waktu mencapai kurir lebih cepat dari kurir konvensional sebanyak x menit dan panah ke kiri (-) berarti waktu mencapai kurir lebih lambat dari kurir konvensional. Grafik menunjukkan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kurir maka probabilitas pemilihan moda tersebut semakin kecil dan cenderung tidak dipilih. Pada grafik dapat dilihat nilai krusial untuk atribut aksesibilitas adalah 2 menit sehingga ketika selisih waktu mencapai kurir lebih cepat 2 menit saja dibandingkan kurir konvensional maka 100% pengguna akan memilih kurir *online*

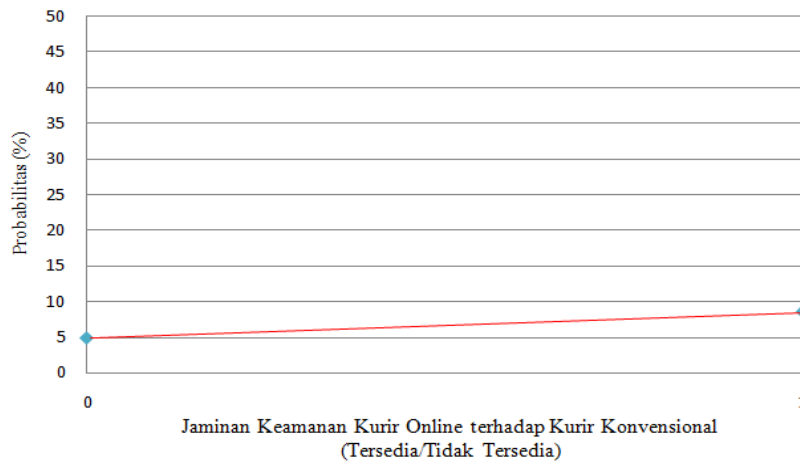
b. Atribut Travel Time



Gambar 2. Sensitivitas Model terhadap Perubahan Travel Time

Dari grafik diatas kurva menunjukkan arah panah ke kanan (+) berarti waktu pengantaran paket lebih cepat dari kurir konvensional sebanyak x jam dan panah ke kiri (-) berarti waktu pengantaran paket lebih lambat dari kurir konvensional. Hasil menunjukkan bahwa semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengantarkan paket dari pengirim hingga sampai di tangan penerima maka probabilitas pemilihan moda tersebut semakin kecil dan cenderung tidak dipilih. Pada Grafik dapat dilihat nilai krusial pada atribut travel time adalah 5 jam sehingga ketika kurir memiliki waktu pengantaran barang lebih cepat 5 jam dibandingkan kurir konvensional maka 100% pengguna akan memilih kurir online.

c. Atribut Insurance



Gambar 3. Sensitivitas Model terhadap Perubahan Insurance

Grafik diatas menunjukkan jaminan keamanan yang diberikan oleh kurir tidak terlalu berpengaruh signifikan terhadap probabilitas kurir. Nilai probabilitas saat kurir tidak memiliki jaminan keamanan probabilitas pemilihan kurir sebesar 5% dan ketika kurir menyediakan jaminan keamanan probabilitas pemilihan kurir hanya meningkat menjadi 9%, hasil tersebut menunjukkan adanya jaminan keamanan menjadi pertimbangan pengguna dalam memilih kurir konvensional tetapi meskipun tidak adanya jaminan keamanan pengguna tetap memilih kurir *online* dengan ditandai probabilitas kurir *online* tidak menyentuh titik 0%. Jadi untuk atribut *insurance* responden memilih kurir berdasarkan keinginan pribadi sendiri berdasarkan kebutuhan.

d. Probabilitas Pemilihan Moda

Nilai probabilitas pemilihan kurir *online* terhadap kurir konvensional ditinjau dari variabel yang memiliki sensitivitas paling tinggi dari beberapa variabel yang telah dibahas pada grafik diatas, variabel yang paling dominan adalah atribut *accessibility* berdasarkan fungsi utilitas dapat ditulis sebagai berikut :

- Probabilitas pemilihan kurir *online*

$$P_{KO} = \frac{\exp^{V_{ko}-V_{kk}}}{1 + \exp^{V_{ko}-V_{kk}}} = 74\%$$

- Probabilitas pemilihan kurir konvensional

$$P_{KK} = 1 - P_{KO} = 26\%$$

Dimana :

P_{KO} : Probabilitas pengguna jasa kurir *online*

P_{KK} : Probabilitas pengguna jasa kurir konvensional

$V_{ko} - V_{kk}$: Selisih deterministik parameter kurir *online* dengan kurir konvensional

1. Nilai probabilitas diperoleh berdasarkan fungsi selisih utilitas, dengan terlebih dahulu menentukan nilai atribut yang paling berpengaruh, nilai atribut tersebutlah yang mempengaruhi probabilitas pemilihan kurir.
2. Nilai probabilitas pemilihan kurir *online* dan konvensional ditinjau dari beberapa grafik utilitas tiap atribut yang telah ditampilkan diatas, atribut yang paling dominan adalah atribut *accessibility* yang memiliki probabilitas terbesar, hasil tersebut dapat diartikan bahwa pada nilai atribut antara kurir *online* dan kurir konvensional dalam keadaan nilai yang sama, kurir *online* lebih dipilih dibandingkan kurir konvensional dengan persentase sebesar 74%.
3. Dari model yang dipilih nilai ρ square adalah 0,358 menunjukkan tingkat kesesuaian data yang baik yang menunjukkan semua variabel dalam model yang terbangun berpengaruh pada nilai utilitas model yang terbangun. Model dipengaruhi dari ketiga faktor yang dipertimbangkan dan 64% dipengaruhi oleh atribut yang belum dihitung atau dengan kata lain 36% variabel tidak terikatnya dapat menerangkan variabel terikat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan survei, penelitian, analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan bahwa aplikasi teknologi yang diterapkan pada jasa kurir *online* lebih diminati oleh masyarakat dibandingkan kurir konvensional, dan responden cenderung memilih kurir yang memiliki fasilitas berbasis *online*. dengan faktor-faktor yang menjadi pertimbangan seperti yang dijelaskan dibawah ini.

Atribut yang terdapat pada jasa kurir berdasarkan kualitas layanannya adalah sebagai berikut :

a. Aksesibilitas (*Accesibility*)

Merupakan interpretasi *reliability* (kehandalan) yang diartikan sebagai memberikan jasa secara tepat waktu (*ontime*)

Waktu Tempuh Pengantaran (*Travel Time*) Merupakan interpretasi *reliability* (kehandalan) yang diartikan sebagai memberikan jasa secara tepat waktu (*ontime*) dan waktu prngantarannya cepat.

b. Tarif (*Fare*)

Merupakan interpretasi *responsiveness* atau daya tanggap yang diartikan siap dan tanggap dalam memberikan jasa yang dibutuhkan konsumen dalam hal ini memberikan pelayanan yang tarifnya terjangkau

c. Jaminan Keamanan (*Insurance*)

Merupakan interpretasi *assurance* atau jaminan yang diartikan sebagai jaminan keamanan yang diberikan oleh perusahaan jasa yaitu adanya pengecekan ulang barang, pendataan dan jaminan barang diganti atau dibayar sejumlah uang jika terjadi kerusakan atau kehilangan sesuai dengan ketentuan yang diberikan oleh pihak penyedia jasa

Dengan metode *stated preference* dan regresi linier menggunakan Rstudio diperoleh atribut yang paling berpengaruh atau sensitif dalam pemilihan kurir adalah *accessibility* atau waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kurir dengan persamaan model pemilihan adalah :

$$y = 2.21764 - 0.3163\text{Gender} - 0.5043\text{Age} - 0.64636\text{Job} + 0.422405\text{Income} + 0.0634\text{Purpose} + 0.1345\text{Frequency} - 3.469316\text{Accesibility} - 1.444725\text{Ttime} - 0.1868\text{Fare} + 0.592089\text{Insurance}.$$

Dengan nilai koefisien relasi ρ square 0,358. Dari hasil perhitungan nilai probabilitas pemilihan kurir *online* dan konvensional didapatkan atribut yang paling dominan adalah atribut *accessibility* dari hasil yang didapat menunjukkan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kurir maka probabilitas pemilihan moda tersebut semakin kecil dan cenderung tidak dipilih. Dari hasil perhitungan untuk atribut *accessibility* dilihat nilai krusial untuk atribut aksesibilitas adalah 2 menit bila waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kurir online lebih cepat 2 menit dari kurir konvensional maka probabilitas pemilihan kurir online adalah sebesar 74% dan apabila waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kurir online lebih lambat 2 menit dari kurir konvensional maka probabilitas pemilihan kurir online adalah sebesar 26% dengan selisih waktu mencapai kurir sebesar 15 menit faktor *accessibility* atau kemudahan mencapai kurir merupakan alasan utama pengguna memilih kurir online sebagai pilihan untuk mengirimkan paket parcel.

Saran

1. Penelitian dapat dikembangkan untuk mendapatkan aspek *accessibility* dengan mempertimbangan untuk menyediakan aplikasi teknologi bagi penyedia jasa kurir konvensional dalam proses pemesanannya, dan meningkatkan aspek *travel time* dengan mempercepat waktu pengantaran paket dengan tidak menghilangkan nilai plus seperti jaminan keamanan yang telah ada.
2. Pengembangan penelitian dalam mengukur kepuasan pelanggan, sebaiknya juga diukur tingkat kepuasan setelah paket diterima karena pada penelitian ini batasan penelitian hanya dibatasi sampai pemesanan dan pengantaran saja.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dari segi sisi kepentingan pengguna jasa dalam mengirimkan paket dihari kerja atau hari libur.
4. Pada tahapan desain penelitian selain menggunakan kuesioner perlu juga dilakukan wawancara agar mendapatkan atribut lain yang menjadi pertimbangan responden yang belum di analisis pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmadali. 1992. Probabilitas Pemilihan Angkutan Ferry Bagi Kendaraan Roda Dua Untuk Menyeberangi Sungai Kapuas. Tesis Magister. Bandung: Rekayasa Transportasi, ITB.
- Akiva & Lerman. 1985. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*.
- Abubakar, dkk. 1997. Menuju Lalulintas dan Angkutan Jalan yang Tertib. Jakarta : Direktorat Jendral Perhubungan Darat.
- Beaton et.al. 1995. Stated Choice-Based Performance Evaluation of Transportation Research Record.
- Budiarto, Arif. 2007. Pemilihan Moda Angkutan Penumpang Perkotaan Berbasis Aktivitas. *Journal Transportation* Vol.7, Desember.
- Emory, William & Cooper, Donald. 1995. *Business Research Methods*. Richard Irwin, Inc.
- Frazilla RB, dkk. 1998. Bandung . Tinjauan Perilaku Pemilihan Moda pada Jaringan JalanPerkotaan.
- Henser, D.A., Rose, J.M., dan Greene, W.H. 2005. *Applied Choice Analysis*. London : Cambridge University Press.
- Hermawan, Ferry. 2009. Pengembangan Angkutan Umum Didaerah Suburban Kota Semarang Berbasis Sistem Informasi Geografi. Semarang: Jurnal Tesis Program Magister Program Studi Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- Jonar, Artha Nugraha. 2016. Mengenal Jasa Pengiriman Barang. Data diperoleh melalui situs internet : <https://id.linkedin.com/pulse/mengenal-perusahaan-jasa-pengiriman-barang-arthanugraha-jonar>
- Kacker et al. 1991. Taguchi's orthogonal array has a sound mathematical basic.
- Kusumatandianma, Dinar. Model Pemilihan Moda Antara KA dan Truk Untuk Pengiriman Barang Koridor Surabaya – Jakarta. Malang : Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Lubis, Nur Aida. 2010. Analisa Pemilihan Moda Transportasi Medan-Binjai dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Universitas Sumatera Utara.
- Miro, Fidel. 2002. Perencanaan Transportasi Untuk Mahasiswa, Perencana dan Praktisi.
- Moenir, H. A.S. 2010 *Manajemen Pelayanan Umum*. Penerbit Bumi Aksara, Jakarta.
- Morlok, Edward K. 1988. *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*. Jakarta Pusat: Penerbit Erlangga.
- Mukti, Elsa. 1999. Model Kompetisi Moda Angkutan Antara Kereta Api dan Bus Dengan Teknik Stated preference. *Jurnal Tesis Magister. Program Studi Teknik Sipil Intitut Teknologi Bandung*.
- Oktariani, N. P. E. 2014. Analisis Kebutuhan Pengembangan Angkutan Umum Khusus Karyawan Pasa Pusat Pemerintahan Kota Denpasar Di Lumitang. Denpasar: Program Magister Program Studi Teknik Sipil Universitas Udayana Denpasar.
- Ortuzar, J. D. & Willumsen, L. G. 1994. *Modelling Transport*. Second Edition., John Wiley & Sons.
- Pantas, V. Budiman. 2017. Kajian Pemilihan Moda Kereta Cepat Jakarta-Surabaya. Bandung: Jurnal Tesis Program Studi Magister Teknik Sipil Intitut Teknologi Bandung.
- Parasuraman, A., V.A., Zeithml dan L.L., Berry., (1998), *SERVQUAL : A Multiple Item Scale for Meansuring Consumer Perception of Service Quality*.
- Parasuraman. (2005). The Behaviorial Consequenses of Service Quality, *Jurnal of Marketing*, Vol 60.

- Pearmain, D. 1990. Stated Preference Techniques : A Guide to Practice.
- Rizki, Muhamad. 2015. Analisis Perpindahan Rute Perilaku Perjalanan Pada Penerapan Kebijakan Electronic Road Pricing (ERP) Di Koridor Sudirman dan Kuningan Kota Jakarta. Jurnal Program Studi Magister Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung.
- Tamin, O. Z. 2000. Perencanaan dan Pemodelan Transportasi. Bandung: Penerbit ITB.
- Tjiptono, Fandy. 2008. Service, Quality dan Satisfaction.: Penerbit Andi, Jogjakarta.
- Tri Muti, Elsa. Kajian Preferensi Moda Angkutan barang Warpani S.P. 2002. Pengelolaan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Bandung: Penerbit ITB.
- Warpani, Suwardjoko P. Pengelolaan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, Institut Teknologi Bandung.

STUDI EKSPERIMENTAL PENENTUAN KADAR OPTIMUM PENAMBAHAN KAPUR PADA KONSTRUKSI JALAN SOIL SEMEN

Irianto¹, Reny Rochmawati², Didik S.S.Mabui³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua
Jl. DR. Sam Ratulangi No. 11 Dok V Atas, Tlp (0967) 534012, 550355, Jayapura-Papua

¹irian.anto@gmail.com, ²rochmawati.reny@rocketmail.com, ³didik.mabui90@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan presentase kadar optimum penggunaan kapur dan semen pada perkerasan tanah kapur semen dan perbandingan penggunaan tanah semen dengan tanah kapur semen untuk digunakan sebagai lapis pondasi konstruksi jalan. Pengujian ini dilakukan karena adanya isu pemanfaatan material lokal. Dasar pengujian ini dari besar nilai Kuat tekan dengan SNI 03-6887-2002 dengan nilai sebesar 20-35 kg/cm². Dari hasil pengujian laboratorium yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut, dengan variasi campuran kapur 5% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 21,399 kg/cm², kapur 10% diperoleh nilai UCS sebesar 25,529 kg/cm², kapur 15% diperoleh nilai UCS sebesar 28,282 kg/cm² dan kapur 20% diperoleh nilai UCS sebesar 27,030 kg/cm², berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar optimum berada pada penambahan kapur sebesar 15% diperoleh nilai kuat tekan maksimal hal ini menunjukkan bahwa penambahan kapur pada campuran soil semen berkontribusi positif terhadap peningkatan nilai kuat tekan. Dari hasil pengujian tersebut juga menunjukkan bahwa pada kadar kapur 5% nilai kuat tekan yang dihasilkan telah memenuhi SNI 03-6887-2002.

Kata kunci : Perkerasan, Soil Semen, Kuat Tekan (UCS)

PENDAHULUAN

Pada saat ini, sebagian daerah yang ada di Indonesia sudah menggunakan lapis pondasi *Soil Cement Base (SCB)* baik untuk kegiatan peningkatan maupun pembangunan jalan baru. Khususnya daerah yang tidak mempunyai material agregat kasar, mempunyai tanah dengan jenis tanah laterit dan pemanfaatan material lokal seperti di daerah Merauke, Papua. Lapis pondasi *Soil Cement Base (SCB)* adalah suatu jenis pondasi atas (*Base Course*) yang menggunakan tanah pilihan yang distabilisasi dengan semen dan air. Dan ada juga yang menggunakan bahan tambahan, yaitu bahan adiktif seperti matos dan diva, namun ada juga jenis pondasi yang menggunakan bahan tambah lain seperti kapur karena memiliki nilai PI (*Plastis Indeks*) antara 10%-20% bahkan diatas 20%. Penggunaan kapur ini diharapkan dapat menurunkan kadar PI tanah tersebut sebelum dicampur lagi menggunakan semen. Metode pelaksanaan ini disebut juga sebagai metode stabilisasi 2 tahap. Penelitian ini adalah penelitian lanjutan untuk mengetahui kadar kapur yang baik dan memenuhi standar yang telah ditentukan.

Dalam pelaksanaan pekerjaan lapis pondasi atas (*Base Course*) ini, yang menggunakan lapis pondasi *Soil Cement Base (SCB)* kekuatan dari jenis pondasi tersebut harus selalu di perhatikan. Untuk itu diadakan pengujian kuat tekan bebas atau *Unconfined Compression Strength (UCS)* pada lapis pondasi tersebut untuk mendapatkan kekuatan sasaran seperti yang disyaratkan 20-35 Kg/cm² pada tabel dalam buku Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2010 rev 3. Berdasarkan hal-hal tersebut diatas, maka penulis mengambil judul : "Analisis Penentuan Kadar Optimum Penambahan Kapur Pada Konstruksi Jalan Soil Semen".

LANDASAN TEORI

Tanah Laterit

Tanah laterit dikenal juga sebagai tanah merah. Tanah laterit atau tanah merah merupakan tanah yang mempunyai warna merah hingga warna kecoklatan yang terbentuk pada lingkungan yang lembab, dingin, dan mungkin juga genangan- genangan air. Untuk informasi yang lebih mendetail dari tanah ini adalah mempunyai profil tanah yang dalam, mudah menyerap air, memiliki kandungan bahan organik yang sedang dan juga memiliki pH atau tingkat keasaman netral.

Semen Portland Type 1

Semen *Portland type 1* adalah semen yang paling sering digunakan oleh masyarakat luas dan beredar dipasaran. Jenis ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus untuk hidrasi panas dan kekuatan tekan awal. Kegunaan *Semen Portland Type I* diantaranya konstruksi bangunan untuk rumah permukiman, gedung bertingkat, dan jalan raya. Karakteristik *Semen Portland Type I* ini cocok digunakan di lokasi pembangunan di kawasan yang jauh dari pantai dan memiliki kadar sulfat rendah.

Kapur

Kapur adalah kalsium oksida (CaO) yang dapat dibuat dari batuan karbonat yang dipanaskan pada suhu sangat tinggi. Kapur tersebut umumnya berasal dari batukapur (*limestone*) atau dolomite.

Stabilitas Tanah

Dalam bidang jalan raya, istilah tanah mencakup semua bahan dari tanah lempung (*clay*) sampai kerakal (batu-batu yang besar) yang dapat digunakan sebagai bahan jalan baik sebagai tanah dasar maupun sebagai lapisan lainnya pada struktur perkerasan jalan. Salah satu persyaratan utama dalam penggunaan bahan tanah sebagai tanah dasar untuk perkerasan jalan adalah bahwa tanah tersebut harus cukup kuat untuk meneruskan dan mendukung beban volume lalu lintas.

Soil Semen

Lapisan Pondasi Semen Tanah atau Soil Cement oil cement adalah hasil pencampuran tanah, semen dan air, yang dengan tingkat pemadatan tertentu akan menghasilkan suatu campuran material baru, soil cement, yang mana dikarenakan kekuatannya, karakteristik ketahanan terhadap oleh air, panas dan pengaruh cuaca lainnya adalah sangat baik.

Unconfined Compression Strength (UCS)

Uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test*) merupakan cara yang dilakukan di laboratorium untuk menghitung kekuatan geser tanah. Uji kuat ini mengukur seberapa kuat tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya juga mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut. Uji tekan bebas ini dilakukan pada contoh tanah asli dan contoh tanah tidak asli lalu diukur kemampuannya masing-masing contoh terhadap kuat tekan bebas. Dari nilai kuat tekan maksimum yang dapat diterima pada masing-masing contoh akan didapat sensitivitas tanah. Nilai sensitivitas ini mengukur bagaimana perilaku tanah jika terjadi gangguan yang diberikan dari luar.

METODE PENELITIAN

Pemeriksaan Karakteristik Material

Material yang akan diuji berupa tanah lempung yang pengambilan materialnya berasal dari Erambu Merauke, Papua. Adapun pengujian dan metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Tanah Laterit

No	Jenis Pemeriksaan	Standar
1	Pemeriksaan Klasifikasi Tanah	AASTOM145
2	Pemeriksaan Analisa Saringan	ASTMD422
3	Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg	
	Batas Cair	ASTMD423
	Batas Plastis	ASTMD424
	Batas Susut	ASTMD424
4	Pemeriksaan Berat Jenis	SNI 03-1964-2008
5	Kompaksi	SNI 03-2832-19902

Kapur padam Ca(OH)_2 digunakan sebagai bahan stabilisasi yang diharapkan mampu meningkatkan kuat tekan tanah laterit serta menjadi bahan pertimbangan untuk meningkatkan kemampuan material lokal sehingga mengurangi harga satuan biaya pembangunan jalan di daerah Papua khususnya. Metode pengujian karakteristik kapur padam yang digunakan diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Metode Pengujian Karakteristik Ca(OH)_2

No	Karakteristik Material	Standar Metode
1	Berat Jenis	SNI 03-1964-2008
2	Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990

Karakteristik semen juga diperlukan untuk mengetahui karakteristik dan kelayakan semen untuk digunakan dalam campuran tanah laterit dengan kapur sebagai material lokal dan mendukung peningkatan nilai kuat tekan maksimum campuran tanah laterit dengan kapur dan semen. Karakteristik semen diperlihatkan pada Tabel 3 dimana semen yang digunakan adalah semen *Portland* Komposit.

Tabel 3. Karakteristik Semen

Karakteristik Material	SNI 15-7064-2004
	Standar
Kadar air (%)	12 maks
Kehalusan	280 min
Pengembangan, % (maks)	0,8 maks
Kuat Tekan :	
a. 3 hari (kg/cm^2)	125 min
b. 7 hari (kg/cm^2)	200 min
c. 28 hari (kg/cm^2)	250 min
Waktu Pengerasan (Vicat tes)	
a. Pengerasan awal, menit	45 min
b. Pengerasan akhir, menit	375 min
Waktu ikat palsu	50 min

Campuran yang dibuat adalah campuran antara tanah laterit dengan kapur padam dan semen Portland Komposit. Pada penelitian ini menggunakan campuran kapur padam dengan variasi penambah sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% dan penambahan kadar semen sebesar 10%. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 5,5 cm dan tinggi 11 cm yang telah diperam selama waktu yang ditentukan dikeluarkan dari plastik. Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah harus memenuhi ketentuan seperti pada tabel 4 berikut :

Tabel 4. Sifat-sifat Yang Disyaratkan untuk Lapisan Pondasi Semen Komposit Tanah

Pengujuan (kg/cm ²)	Batas – Batas Sifat (Setelah Perawatan 7 Hari)		Metode Pengujuan
	Minimum	Maksimum	
Unconfine Compressive Strength UCS	20	35	SNI 03-6887- 2002

HASIL DAN PEMBAHASAN

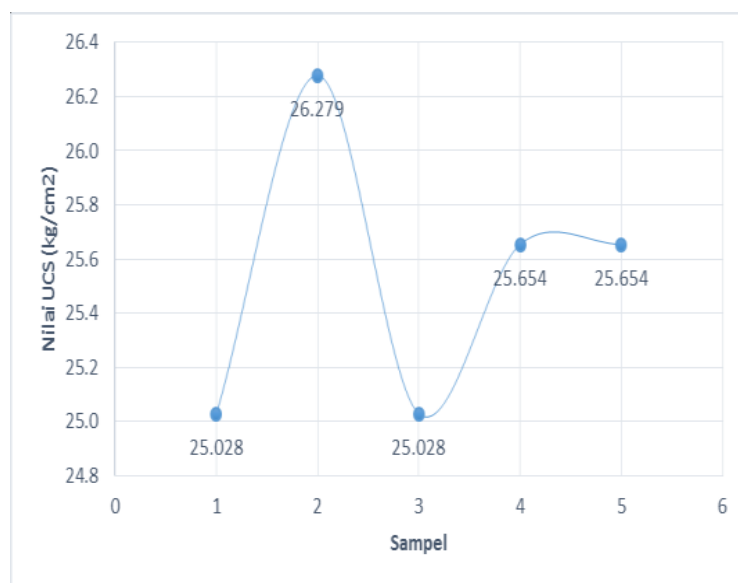
Hasil Pengujuan

Sampel yang dibuat sebanyak 5 buah sampel dengan komposisi bahan yang sama, setelah diperam selama 7 hari akan dilakukan pengujuan Kuat Tekan (UCS).

Tabel 5. Hasil Pengujuan UCS Kapur 10% dan Semen 10%

Sampel	Nilai UCS (Kg/cm ²)
1	25.028
2	26.279
3	25.028
4	25.654
5	25.654

Sumber : Hasil Pengujuan Laboratorium

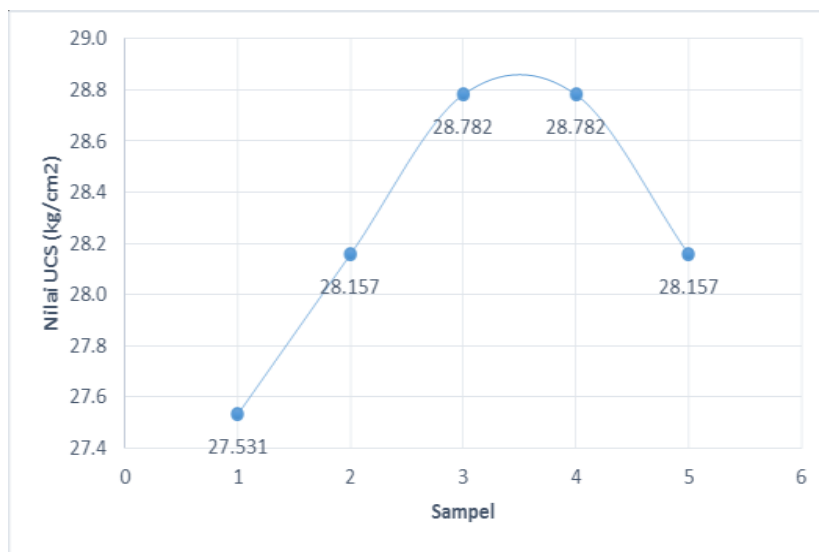


Gambar 1. Grafik Nilai UCS 10% Kapur dan 10% Semen

Tabel 6. Hasil Pengujian UCS Kapur 15% dan Semen 10%

Sampel	Nilai UCS (Kg/cm ²)
1	27.531
2	28.157
3	28.782
4	28.782
5	28.157

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

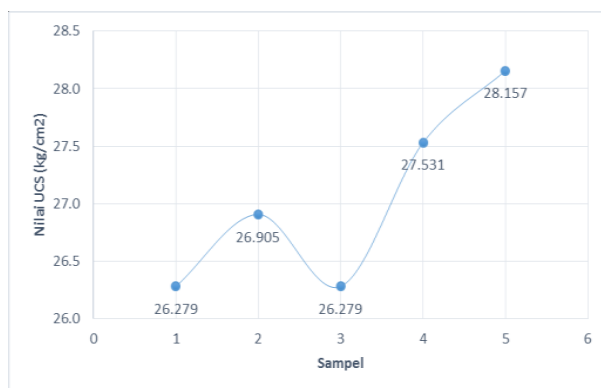


Gambar 2. Grafik Nilai UCS 15% Kapur dan 10% Semen

Tabel 7. Hasil Pengujian UCS Kapur 20% dan Semen 10%

Sampel	Nilai UCS (Kg/cm ²)
1	26.279
2	26.905
3	26.279
4	27.531
5	28.157

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 3. Grafik Nilai UCS 20% Kapur dan 10% Semen

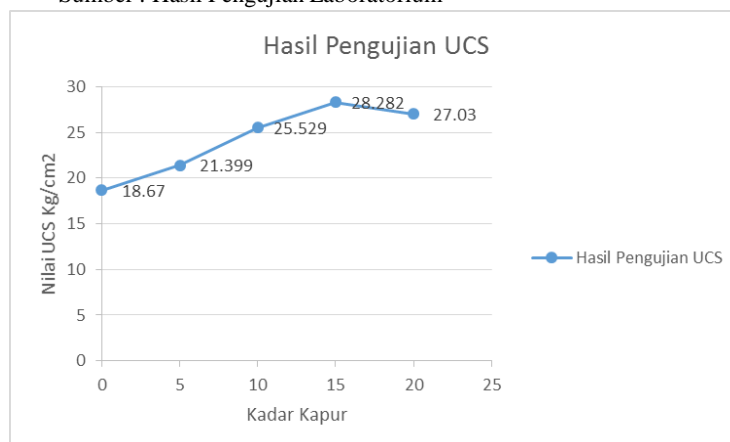
Pembahasan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai Kuat Tekan (*UCS*) yang sesuai dengan standar SNI 03-6887-2002 dengan nilai 20-35 Kg/cm² dapat digunakan sebagai konstruksi jalan, maka dari hasil penelitian yang dilakukan dilaboratorium bahwa dengan pemadatan untuk kapur 5% dan semen 10% telah memenuhi spesifikasi pemerintah sebesar 21,399 kg/cm². Namun untuk hasil pemadatan maksimum didapat pada kadar kapur 15% dan semen 10% dengan hasil 28,529 kg/cm², ini dapat dilihat pada grafik Gambar 4.5 bahwa terjadi penurunan nilai kuat teka pada campuran kapur 20% dan semen 10%. Hasil pengujian dengan variasi kapur 5% ; 10%; 15% dan 20% dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 4 berikut :

Tabel 7. Hasil Pengujian Rata-rata UCS

No	Sampel	Nilai Rata-rata UCS (kg/cm ²)
1	5% Kapur 10% Semen	21,399
2	10% Kapur 10% Semen	25,529
3	15% Kapur 10% Semen	28,282
4	20% Kapur 10% Semen	27.030

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium



Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Gambar 4. Diagram Hasil Rata-rata

Kadar optimum penambahan kapur terjadi pada penggunaan 15% kapur diperoleh nilai kuat tekan sebesar 28.282 Kg/cm². Namun dari hasil pengujian tersebut juga terlihat bahwa dengan minimal 5% penambahan kapur diperoleh nilai kuat tekan sebesar 21.399 kg/cm² dan telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2010 rev 3 yaitu 20-35 kg/cm²

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan sebagaimana di perlihatkan pada grafik diatas, tampak terjadi peningkatan nilai kuat tekan seiring dengan penambahan kandungan kapur pada campuran soil semen. Peningkatan yang terjadi dari campuran yang menggunakan kapur 0% dengan nilai kuat tekan 18.67 kg/cm² dan terjadi peningkatan hingg penambahan kapur sebesar 15 % dengan nilai kuat tekan sebesar 28.282 kg/cm² namun terjadi penurunan nilai kuat tekan sebesar 27.030 kg/cm² pada kadar 20 % kapur, hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kapur pada campuran soil semen berkontribusi positif terhadap peningkatan nilai kuat tekan.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan dapat di tarik kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan minimal 5% penambahan kapur diperoleh nilai UCS sebesar 21.399 kg/cm² dan telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2010 rev 3 yaitu 20-35 kg/cm²
2. Kadar Optimun Penambahan Kapur pada campuran soil semen terjadi pada penambahan kadar kapur 15% dan semen 10% mendapatkan hasil kuat tekan maksimun sebesar 28,282 kg/cm².
3. Dengan penambahan kapur pada campuran soil semen menunjukkan bahwa penambahan kapur memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan nilai kuat tekan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bobi Andika Putra. 2013. Definisi Semen Secara Umum. [internet]. [diunduh 2019 Feb 25]. Tersedia pada <https://bobiandikaputra.wordpress.com/2013/01/08/definisi-semen-secara-umum/>
- Hardiyatmo Hary Christady. 2010. *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Lamudi. 2016. Jenis Semen dan Fungsinya. [internet]. [diunduh 2019 Feb 25]. Tersedia pada <https://www.lamudi.co.id/journal/maca-m-jenis-semen-dan-fungsi/>
- SNI 03-6887-2002: "Metode pengujian kuat tekan bebas campuran tanah semen 15"
- SNI 03-3437-1994 Tata Cara Pembuatan Rencana Stabilisasi Tanah Kapur untuk Jalan Raya Spesifikasi Khusus Intern (2013) Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah Kementrian PU, Bina Marga.
- Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 01/SE/M/2010: "Pemberlakuan Pedoman Pelaksanaan Stabilisasi Bahan Jalan Langsung di Tempat Dengan Bahan Serbuk Pengikat"
- 2016. Tanah Laterit. [internet]. [diunduh 2019 Feb 25]. Tersedia pada <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/tanah/tanah-laterit>

ANALISIS BIAYA PROYEK PEMBANGUNAN HELIPOINT "XYZ" DI KARAWANG DENGAN METODE *EARNED VALUE ANALYSIS*

Intan Virgina Suryaningrum¹, Manlian Ronald A. Simanjuntak²

¹Mahasiswa Program Studi S2 Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan,
Email : intan_virgina@yahoo.co.id

²Kaprodi S@ Teknik Sipil dan Guru Besar dalam bidang Manajemen Konstruksi, Universitas Pelita
Harapan, Email: manlian.adventus@uph.edu

ABSTRAK

Proyek pembangunan *heliport* di Karawang ini terdiri beberapa bangunan diantaranya hanggar, *office* dan sarana penunjang lainnya dan mempunyai jadwal pelaksanaan 34 minggu dengan luas bangunan 19.343,24m², sehingga dapat dipastikan akan mempunyai permasalahan yang kompleks dalam pelaksanaannya. Untuk itu diperlukan kemampuan yang baik dari kontraktor untuk mengendalikan kinerja proyek baik diantaranya kinerja biaya dan waktu. Dalam penelitian ini permasalahan penelitian yang akan diselesaikan adalah bagaimana mengukur kinerja proyek dengan menggunakan metode *Earned Value Analysis* dan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja proyek serta rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan agar kinerja biaya dan waktu proyek menjadi optimal. Kinerja proyek dianalisa berdasarkan Indeks Kinerja Biaya (CPI) dan waktu (SPI). Perhitungan didasarkan pada nilai rencana (PV), nilai hasil (EV) dan biaya aktual (AC). Pengendalian ditinjau dari minggu ke 19 sampai dengan minggu ke 26. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada minggu ke 26 biaya yang dikeluarkan lebih kecil dari yang direncanakan dan waktu pelaksanaannya lebih lama dari rencana, yang ditunjukkan dengan nilai CPI = 1.69 (CPI > 1) dan nilai SPI=0.91 (SPI < 1). Hasil perhitungan waktu pelaksanaan 37 minggu yang berarti lebih lambat dari jadwal yang direncanakan.

Kata Kunci : *earned value analysis*, kinerja, biaya, waktu, pembangunan

PENDAHULUAN

Jakarta sebagai daerah pusat ekonomi mempunyai pertumbuhan ekonomi yang tinggi, hal ini berbanding lurus dengan pertumbuhan jumlah kendaraan, hal ini dapat dilihat dari data pajak yang masuk. Berdasarkan data dari BPS DKI Jakarta 2016 jumlah kendaraan bermotor rata-rata 5% dalam lima tahun. Sedangkan panjang jalan hanya bertambah kurang dari 0,1%. komposisi lalu lintas secara umum adalah sepeda motor 73.92%, mobil penumpang 19.58%, mobil beban 3.83%, mobil bus 1.88% serta kendaraan khusus 0.79%. Artinya, jumlah kendaraan bermotor di Jakarta jauh lebih banyak dari ruas dan panjang jalan yang tersedia. Sehingga jalanan Jakarta overload, akibatnya kemacetan parah terjadi di hampir seluruh ruas jalan. Dari sekian banyak alat transportasi alternatif untuk mengurangi kemacetan diantaranya adalah pemanfaatan helikopter, dengan kelebihanannya selain tidak memiliki badan sebesar pesawat penumpang juga tidak perlu landasan pacu melainkan cukup heliport dan dapat memangkas banyak waktu dalam perjalanan. Sedangkan kekurangannya adalah baru bisa diakses oleh kalangan menengah ke atas dikarenakan tarif untuk sekali sewa cukup mahal sekitar Rp. 7 Juta sekali jalan untuk rute Jakarta, selain itu hanya bisa mengantar dan menjemput konsumen di lokasi tertentu saja, disebabkan masih sedikitnya keberadaan heliport di Jakarta.

Melihat prospek bisnis transportasi udara khususnya layanan taksi helikopter yang menguntungkan, para pengusaha transportasi mulai melirik bisnis ini. Salah satunya dengan mulai bermunculannya pembangunan heliport di Jakarta. Pembangunan proyek heliport termasuk proyek yang memiliki kompleksitas yang tinggi dan keunikan tersendiri, selain membutuhkan lahan yang luas juga dibutuhkan beberapa fasilitas penunjang dalam satu kawasan tersebut, yang dalam pelaksanaannya dapat dipastikan akan banyak masalah yang muncul yang dapat menyebabkan

keterlambatan dalam waktu maupun kerugian biaya untuk itu ada banyak hal yang harus diperhatikan diantaranya biaya, mutu dan waktu. Penilaian keberhasilan suatu proyek selain dari tercapainya mutu/kualitas yang sesuai dengan yang direncanakan, juga dapat dinilai dari segi biaya dan waktu. Perencanaan dan pengendalian biaya dan waktu merupakan bagian dari manajemen proyek konstruksi secara keseluruhan dan salah satu metode yang bisa digunakan adalah metode "*Earned Value Analysis*". Metode *Earned Value Analysis* adalah metode yang menghitung besarnya biaya yang menurut anggaran sesuai dengan pekerjaan yang telah diselesaikan/dilaksanakan. Dengan metode ini diharapkan kendala yang muncul selama pelaksanaan proyek dapat dikendalikan sehingga tahap akhir proyek tidak mengalami kerugian atau terlambat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja biaya dan waktu proyek pembangunan heliport dengan metode earned value

Siklus Hidup Proyek (*Project Life Cycle*)

Siklus hidup proyek atau lebih dikenal *project life cycle* merupakan tahapan yang dilalui oleh setiap proyek mulai dari tahap inisiasi hingga proyek dinyatakan selesai. Secara umum *project life cycle* terdiri dari enam tahapan dimana tahap pertama dimulai dari *feasibility study*, dilanjutkan dengan tahapan *design, procurement, construction, operation dan bionomic* (AMDAL). Berdasarkan siklus hidup proyek, posisi penelitian ini dilakukan pada tahap konstruksi.

Proses Konstruksi

Menurut Ervianto (2005) proses konstruksi adalah proses pelaksanaan yang bertujuan untuk mewujudkan bangunan yang dibutuhkan oleh pemilik proyek dan sudah dirancang oleh konsultan perencana dalam batasan biaya dan waktu yang telah disepakati, serta dengan mutu yang telah diisyaratkan. Kegiatan yang dilakukan adalah merencanakan, mengordinasi, mengendalikan semua operasional di lapangan. Kegiatan perencanaan dan pengendalian meliputi perencanaan dan pengendalian jadwal waktu pelaksanaan, organisasi lapangan, tenaga kerja, peralatan dan material. Sedangkan kegiatan koordinasi antara lain mengoordinasikan seluruh kegiatan pembangunan baik untuk bangunan sementara maupun bangunan permanen, serta semua fasilitas dan perlengkapan yang terpasang, mengoordinasikan para subkontraktor, dan penyeliaan umum.

Dalam siklus proyek, proses konstruksi masuk ke dalam tahap Implementasi tahap ini terdiri atas kegiatan design engineering yang rinci, pembuatan spesifikasi dan kriteria, pembelian peralatan dan material, fabrikasi dan konstruksi, inspeksi mutu, uji coba, *start up*, demobilisasi, dan laporan penutup proyek. Pada tahap ini kontraktor memiliki peran dominan dengan tujuan akhir sasaran proyek yaitu kinerja biaya, mutu, waktu dan keselamatan proyek maksimal serta masa pemeliharaan sampai dengan akhir umur proyek dapat tercapai.

Manajemen Pembiayaan Proyek Konstruksi

Menurut Soemardi (2007), manajemen biaya proyek melibatkan semua proses yang diperlukan dalam pengelolaan proyek untuk memastikan penyelesaian proyek sesuai dengan anggaran biaya yang telah disetujui. Hal utama yang perlu diperhatikan dalam manajemen biaya proyek antara lain *Resource Planning* (perencanaan sumber daya) yang merupakan proses untuk menentukan sumber daya dalam bentuk fisik (manusia, peralatan, material) dan jumlahnya yang diperlukan untuk melaksanakan aktivitas proyek. *Cost Estimating* (Estimasi biaya) adalah proses untuk memperkirakan biaya dari sumber daya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek. Bila proyek dilaksanakan melalui sebuah kontrak, perlu dibedakan antara perkiraan biaya dengan nilai kontrak. Estimasi biaya melibatkan perhitungan kuantitatif dari biaya-biaya yang muncul untuk menyelesaikan proyek. Sedangkan nilai kontrak merupakan keputusan dari segi bisnis di mana perkiraan biaya yang didapat dari proses estimasi merupakan salah satu pertimbangan dari keputusan yang diambil. *Cost Budgeting* (Penganggaran biaya) adalah proses membuat alokasi biaya untuk masing-masing aktivitas dari keseluruhan biaya yang muncul pada proses estimasi. Dari proses ini didapatkan *cost baseline* yang digunakan untuk menilai kinerja proyek. *Cost Control* (Pengendalian biaya) dilakukan untuk mendeteksi apakah biaya aktual pelaksanaan proyek

menyimpang dari rencana atau tidak. Semua penyebab penyimpangan biaya harus terdokumentasi dengan baik sehingga langkah-langkah perbaikan dapat dilakukan.

Peran Para Pihak Dalam Proses Konstruksi.

Dalam PMBOK guide 6th disebutkan bahwa *Project Stakeholder* adalah individu atau sekumpulan orang atau unit organisasi yang secara aktif terlibat di dalam penyelenggaraan sebuah proyek, dimana kepentingan mereka akan secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi pengelolaan proyek, beberapa contohnya antara lain sponsor, *customers and users, sellers, business partners, organizational groups, functional managers, and other stakeholders.*

Metode Analisis Ekonomi Teknik Pada Proyek Konstruksi

Ada tiga elemen dasar yang menjadi acuan dalam menganalisa kinerja dari proyek berdasarkan konsep *earned value*. Ketiga elemen tersebut adalah:

- *Budgeted Cost for Work Scheduled (BCWS)* = (% Progress Rencana) x (anggaran)
- *Actual Cost for Work Performed (ACWP)* = (% Progress Aktual) x (Anggaran)
- *Budgeted Cost for Work Performed (BCWP)* = jumlah biaya aktual yang telah dikeluarkan dalam menyelesaikan suatu pekerjaan dalam tenggang waktu tertentu.

Melalui ketiga indikator tersebut diatas, dapat dihitung berbagai faktor yang menunjukkan kemajuan dan kinerja pelaksanaan proyek, seperti varians biaya (CV) dan varians jadwal (SV)

$$CV = BCWP - ACWP$$

$$SV = BCWP - BCWS$$

Pengelola proyek biasanya ingin mengetahui efisiensi penggunaan sumber daya, ini dinyatakan dengan indeks produktifitas atau indeks kinerja. Persamaan - persaaannya adalah (Soeharto, 1999:237) :

$$\text{Indeks Kinerja Biaya} : CPI = \frac{BCWP}{ACWP}$$

$$\text{Indeks Kinerja Jadwal} : SPI = \frac{BCWP}{BCWS}$$

Bila kinerja biaya pada pekerjaan tersisa dianggap tetap seperti pada saat pelaporan maka prakiraan biaya untuk pekerjaan tersisa (*estimate to completion/ ETC*) adalah sama besar dengan anggaran pekerjaan tersisa dibagi dengan indeks kinerja biaya, atau dalam persamaan :

$$ETC = \frac{(BCWS - BCWP)}{CPI}$$

Dengan demikian prakiraan biaya pada akhir proyek adalah sama dengan jumlah biaya aktual ditambah prakiraan biaya untuk pekerjaan tersisa, atau

$$EAC = ACWP + ETC$$

METODE

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan penulisan, maka kerangka proses penulisan ini adalah diawali studi literatur, analisis dan pembahasan. Studi literatur didapatkan dari buku panduan, jurnal-jurnal penelitian yang relevan, data dari kontraktor, website, artikel dan lain-lain. Tahap analisis dilakukan dengan pengolahan data dengan menggunakan metode *Earned Value Analysis*.

HASIL

Analisa Perhitungan *Earned Value*

Analisa perhitungan *earned value* pada penelitian ini berupa analisa *planned value* (PV), *earned value* (EV) dan *actual cost* (AC). Peninjauan data dilakukan pada minggu ke 19 sampai dengan minggu ke 26 (8 minggu), dengan data sebagai berikut :

Tabel 1. Data-data proyek

Minggu ke 19	
Progress Rencana	58.91%
Progress Realisasi	58.70%
Anggaran Biaya Proyek	Rp. 45.500.000.000,00

Perhitungan *Planned Value* (PV) minggu ke 19

Perhitungan nilai *earned value* (PV) pada periode tersebut dapat dihitung dengan mengalikan prosentase progress rencana pada minggu ke 19 (dari Kurva S) dengan jumlah nilai kontrak yang disajikan pada tabel. 4, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 PV &= \% \text{ Progress rencana} \times \text{nilai kontrak} \\
 &= 58.91\% \times \text{Rp. } 45.500.000.000,00 \\
 &= \text{Rp. } 26.804.808.347,97
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan PV minggu berikutnya dapat dilakukan dengan cara perhitungan yang sama seperti perhitungan diatas.

Perhitungan *Earned Value* (EV) minggu ke 19

Perhitungan nilai *Earned Value* (EV) pada periode minggu yang dikaji dapat dihitung dengan mengalikan prosentase progress realisasi pada minggu ke 19 dengan nilai kontrak yang disajikan pada tabel 4, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 EV &= \% \text{ Progress realisasi} \times \text{nilai kontrak} \\
 &= 58.70\% \times \text{Rp. } 45.500.000.000,00 \\
 &= \text{Rp. } 26.709.066.610,82
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan EV minggu berikutnya dapat dilakukan dengan cara perhitungan yang sama seperti perhitungan diatas.

Perhitungan *Actual Cost* (AC) minggu ke 19

Biaya aktual yang dikeluarkan oleh PT. X untuk pembangunan Heliport merupakan biaya aktual periode mingguan sampai dengan periode minggu yang ditinjau yaitu minggu ke 19, dengan rekapitulasi sebagai berikut :

Tabel 2. Rekap *Actual Cost* Hingga Periode Peninjauan

Item Pekerjaan	<i>Actual Cost</i> (AC)
Bahan	Rp. 8.468.838.213.35
Upah	Rp. 2.300.547.285.68
Alat	Rp. 427.494.688.02
Subcont	Rp. 3.274.778.821.59
<i>Overhead</i>	Rp. 1.323.401.731.08
Total	Rp. 15.795.060.739.73

Tabel 3. Rekap Actual Cost (AC) Mingguan

Minggu	Biaya Mingguan (Rupiah)	Biaya Aktual Kumulatif Mingguan (Rupiah)
19	Rp. 630.478.151,49	Rp. 15.795.060.739,73
20	Rp. 1.326.956.322,31	Rp. 17.122.017.062,04
21	Rp. 529.546.919,44	Rp. 17.651.563.981,48
22	Rp. 857.602.923,75	Rp. 18.509.166.905,23
23	Rp. 557.554.091,24	Rp. 19.066.720.996,47
24	Rp. 389.116.755,03	Rp. 19.455.837.751.51
25	Rp. 748.037.006,74	Rp. 20.203.874.758,24
26	Rp. 1.011.021.343,19	Rp. 21.214.896.101,43

Perhitungan Kinerja Proyek (Peninjauan minggu ke 19)

Analisis Kinerja Waktu

A. Perhitungan *Schedule Varians*

$$\begin{aligned} SV &= EV - PV \\ &= \text{Rp. } 26.709.066.610,82 - \text{Rp. } 26.804.808.347,97 \\ &= - \text{Rp. } 95.741.737,15 \end{aligned}$$

B. Perhitungan *Schedule Performance Indexs (SPI)*

$$SPI = \frac{EV}{PV} = \frac{\text{Rp. } 26.709.066.610,82}{\text{Rp. } 26.804.808.347,97} = 0,996$$

C. Perhitungan Estimasi Waktu Penyelesaian Proyek.

$$ETC = \frac{OD}{SPI} = \frac{34}{0,996} = 34 \text{ minggu}$$

Berikut ini adalah Tabel Perhitungan Kinerja Waktu mulai dari minggu ke 19 sampai dengan minggu ke 26 :

Tabel 4. Perhitungan Kinerja Waktu dari Minggu ke 19 s/d Minggu ke 26

Minggu	PV		EV		AC	Kinerja Waktu		
	%	(Rupiah)	%	(Juta Rupiah)		(Juta Rupiah)	SV	SPI
					(Juta Rupiah)		(Minggu)	
19	58.91	26.804.808.347	58.7	26.709.066.610	15.795.060.739	-95.741.737	0.99	34.12
20	62.24	28.317.455.787	63.62	28.946.771.825	17.122.017.062	629.316.037	1.02	33.26
21	67.01	30.491.634.971	65.56	29.828.923.027	17.651.563.981	-662.711.943	0.98	34.76
22	72.04	32.776.470.154	68.75	31.280.467.233	18.509.166.905	-1.496.002.921	0.95	35.63
23	76.83	34.959.195.921	71.66	32.605.781.344	19.066.720.996	-2.353.414.577	0.93	36.45
24	80.69	36.714.674.930	72.27	32.884.134.777	19.455.837.751	-3.830.540.153	0.89	37.96
25	84.23	38.325.129.028	75.05	34.146.363.453	20.203.874.758	-4.178.765.575	0.89	38.16
26	86.56	39.384.290.792	78.8	35.852.455.796	21.214.896.101	-3.531.834.995	0.91	37.35

Analisis Kinerja Biaya (Peninjauan Minggu ke 26)

A. Perhitungan *Cost Varians (CV)*

$$\begin{aligned} CV &= EV - AC \\ &= \text{Rp. } 26.709.066.610,82 - \text{Rp. } 15.795.060.739,73 \end{aligned}$$

$$= \text{Rp. } 10.914.005.871.09$$

B. Perhitungan *Cost Performance Index* (CPI)

$$\text{CPI} = \frac{\text{EV}}{\text{AV}} = \frac{\text{Rp. } 26.709.066.610,82}{\text{Rp. } 15.795.060.739,73} = 1.69$$

C. Perhitungan Estimasi Biaya Akhir Proyek

$$\text{EAC} = \frac{\text{BAC}}{\text{CPI}} = \frac{\text{Rp. } 45.500.000.000,00}{1.69} = \text{Rp. } 26.907.539.455.77$$

Berikut ini adalah Tabel Perhitungan Kinerja Biaya mulai dari minggu ke 19 sampai dengan minggu ke 26 :

Tabel 5. Perhitungan Kinerja Biaya dari Minggu ke 19 s/d Minggu ke 26

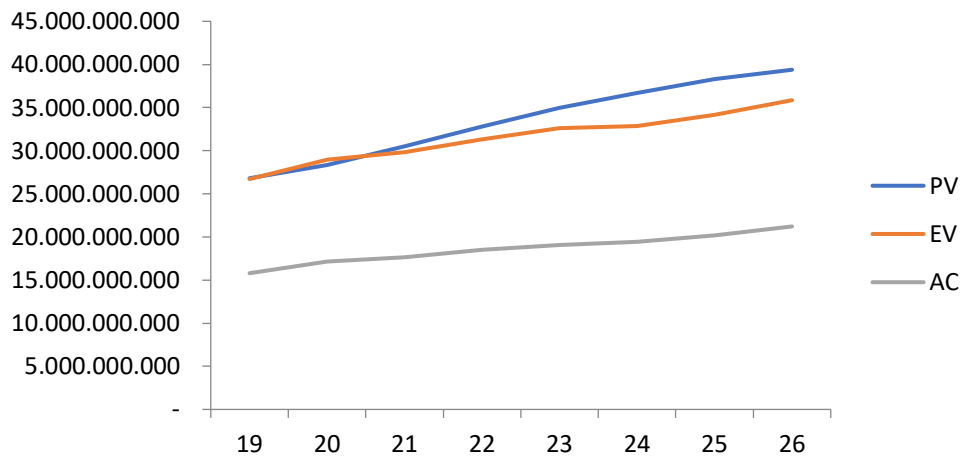
Minggu	PV		EV		AC	Kinerja Biaya		
	%	(Rupiah)	%	(Rupiah)		(Rupiah)	CPI	EAC (Rupiah)
19	58.9	26.804.808.347	58.7	26.709.066.610	15.795.060.739	10.914.005.871	1.69	26.907.539.455
20	62.2	28.317.455.787	63.6	28.946.771.825	17.122.017.062	11.824.754.763	1.69	26.913.252.400
21	67.0	30.491.634.971	65.6	29.828.923.027	17.651.563.981	12.177.359.045	1.69	26.925.080.748
22	72.0	32.776.470.154	68.8	31.280.467.233	18.509.166.905	12.771.300.327	1.69	26.923.098.299
23	76.8	34.959.195.921	71.7	32.605.781.344	19.066.720.996	13.539.060.348	1.71	26.606.809.270
24	80.7	36.714.674.930	72.3	32.884.134.777	19.455.837.751	13.428.297.025	1.69	26.919.991.165
25	84.2	38.325.129.028	75.1	34.146.363.453	20.203.874.758	13.942.488.695	1.69	26.921.645.777
26	86.6	39.384.290.792	78.8	35.852.455.796	21.214.896.101	14.637.559.695	1.69	26.923.616.560

PEMBAHASAN

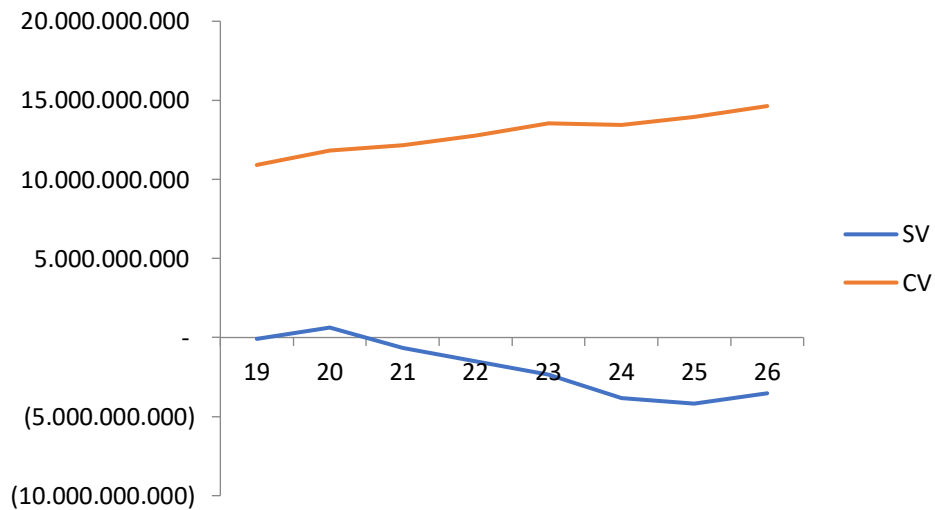
Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dan analisisnya, maka tabel 4 dan 5 direkapitulasi semua hasil perhitungan dalam penelitian ini dan dibahas lebih lanjut.

Tabel 6 Rekapitulasi Perhitungan

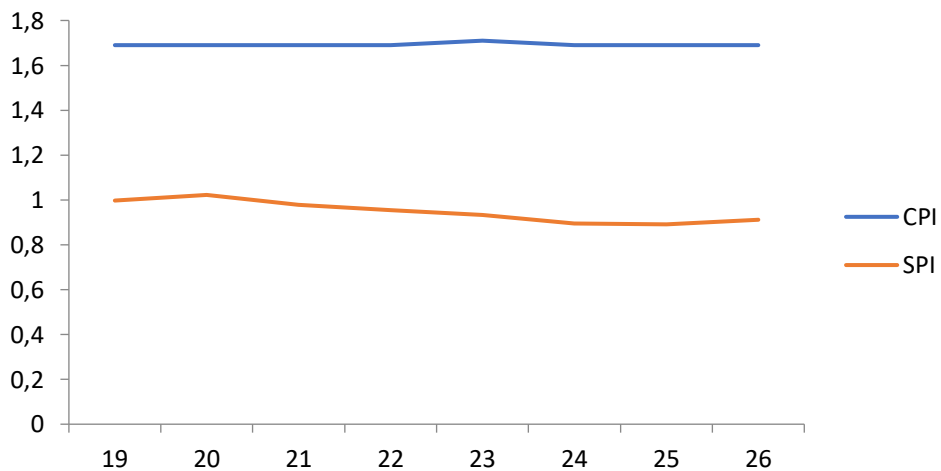
Minggu	SV (Rupiah)	CV (Rupiah)	SPI	CPI	EAC (Rupiah)	ETC (minggu)
19	-95.741.737	10.914.005.871	0.99	1.69	26.907.539.455	34.12
20	629.316.037	11.824.754.763	1.02	1.69	26.913.252.400	33.26
21	-662.711.943	12.177.359.045	0.98	1.69	26.925.080.748	34.76
22	-1.496.002.921	12.771.300.327	0.95	1.69	26.923.098.299	35.63
23	-2.353.414.577	13.539.060.348	0.93	1.71	26.606.809.270	36.45
24	-3.830.540.153	13.428.297.025	0.89	1.69	26.919.991.165	37.96
25	-4.178.765.575	13.942.488.695	0.89	1.69	26.921.645.777	38.16
26	-3.531.834.995	14.637.559.695	0.91	1.69	26.923.616.560	37.35



Gambar 1 Grafik Hubungan PV, EV dan AC



Gambar 2 Grafik Hubungan SV dan CV



Gambar 3 Grafik Hubungan CPI dan SPI

Pembahasan Hasil Perhitungan PV, EV, AC

Dari gambar 1 dapat diketahui bahwa selama 8 minggu peninjauan dari minggu ke 19 sampai dengan minggu ke 26 rata-rata nilai *Earned Value* (EV) lebih kecil daripada nilai *Planned Value* (PV), hal ini menunjukkan bahwa pelaksanaan proyek mengalami keterlambatan dari waktu yang direncanakan.

Nilai *Actual Cost* (AC) pada minggu ke 19 sampai dengan minggu ke 26 lebih kecil daripada nilai *Planned Value* (PV). Hal ini menunjukkan bahwa biaya proyek yang dikeluarkan masih dibawah biaya yang direncanakan. Begitu juga jika dibandingkan dengan nilai *Earned Cost* (EC), biaya aktual yang dikeluarkan masih dibawah biaya dari progres yang sudah berjalan, dengan kata lain kinerja biaya proyek sudah optimal.

Pembahasan Hasil Analisis Varians

Berdasarkan gambar 2, nilai *Schedule Variance* (SV) pada minggu ke 20 bernilai positif yang berarti proyek tidak terlambat atau sesuai dengan *schedule*, sedangkan pada minggu ke 19 dan 21 sampai dengan minggu ke 26 nilai *Schedule Variance* (SV) adalah negatif yang artinya proyek mengalami keterlambatan dari waktu rencana.

Untuk nilai *Cost Variance* (CV) pada minggu ke 19 sampai dengan 26 bernilai positif, ini menunjukkan bahwa biaya aktual yang dikeluarkan lebih kecil dibanding nilai paket pekerjaan yang diperoleh, dengan kata lain kinerja biaya berjalan optimal.

Pembahasan Kinerja Proyek.

Berdasarkan tabel 6, nilai SPI pada minggu ke 20 bernilai >1 , hal ini menunjukkan proyek tidak mengalami keterlambatan dari waktu pelaksanaan rencana dengan kata lain proyek *on schedule*. Sedangkan pada minggu ke 19 dan 21 hingga minggu ke 26, nilai $SPI < 1$, hal ini menunjukkan proyek mengalami keterlambatan dari *schedule* rencana dan kinerja pekerjaan tidak sesuai dengan yang diharapkan karena tidak mampu mencapai target pekerjaan yang sudah direncanakan.

Berdasarkan tabel 6, nilai CPI pada minggu ke 19 sampai dengan minggu ke 26 bernilai >1 , hal ini menunjukkan kinerja biaya berjalan baik atau optimal, karena biaya aktual yang dikeluarkan lebih kecil dari nilai pekerjaan yang didapatkan.

Hasil Pengamatan Minggu ke 19. Kinerja proyek pada minggu ke 19 telah mengalami penurunan kinerja sebesar -0.21%. Hal ini disebabkan jumlah tenaga kerja yang kurang terkontrol yang disebabkan adanya mutasi supervisor dari pihak kontraktor, sehingga SDM yang bertugas memonitor tenaga kerja berkurang sehingga pekerjaan di lapangan menjadi tidak maksimal dan kinerja pekerjaan tidak sesuai dengan *schedule* yang telah ditetapkan. Nilai biaya aktual pada minggu ini masih dibawah rencana karena progress yang dikerjakan juga masih dibawah rencana.

Hasil Pengamatan Minggu ke 20. Kinerja proyek pada minggu ke 20 telah mengalami kenaikan kinerja sebesar 1.38%. Hal ini disebabkan sudah terpenuhinya jumlah kebutuhan personil dari kontraktor, setelah adanya mutasi supervisor pada minggu ke 19. Sehingga monitoring pekerjaan tenaga kerja berjalan normal dan speed pekerjaan dapat ditingkatkan yang berakibat kinerja pelaksanaan berjalan optimal sesuai dengan *schedule* yang telah ditetapkan. Untuk nilai biaya aktual masih dibawah rencana meskipun progress yang dikerjakan sudah melampaui progress rencana, hal ini disebabkan oleh pengelolaan keuangan proyek yang baik sehingga kinerja pekerjaan dan biaya berjalan optimal sesuai dengan yang diharapkan.

Hasil Pengamatan Minggu ke 21 sampai dengan Minggu ke 26. Kinerja proyek pada minggu ke 21 sampai dengan ke 25 mengalami penurunan sebesar -27.52%. Hal ini disebabkan oleh perubahan desain dari pihak owner yang mana perubahan tersebut menyebabkan pembongkaran pekerjaan yang telah dikerjakan dan diganti dengan pekerjaan yang baru, yaitu perubahan lantai helipad dari paving blok menjadi struktur beton seluas 1600m². Selain pembongkaran pekerjaan paving block yang memakan waktu, juga disebabkan oleh proses

perubahan desain yang lama dan dilanjutkan dengan pengerjaan lantai beton, sehingga keterlambatan progress pekerjaan terakumulasi menjadi besar. Dibutuhkan *effort* yang sangat besar dari semua pihak baik dari kontraktor, konsultan maupun owner untuk mengejar keterlambatan pelaksanaan proyek, yang mana dari pihak owner tidak memberikan *extension of time* (EOT) kepada kontraktor, meskipun penyebab keterlambatan progress pekerjaan tersebut dari pihak owner.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perhitungan yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil diantaranya adalah :

- Dari segi kinerja waktu, proyek mengalami keterlambatan dari *schedule* rencana sebesar 7.76% dengan nilai SPI sebesar 0.91 yang artinya kinerja waktu proyek tidak optimal dan estimasi waktu penyelesaian proyek menjadi 37 minggu dari *schedule* rencana 34 minggu, sedangkan dari segi kinerja biaya dapat dilihat bahwa nilai biaya yang dikeluarkan masih dibawah dari nilai biaya rencana, dengan nilai CPI sebesar 1.69, yang artinya kinerja biaya proyek berjalan optimal sesuai dengan yang diharapkan.
- Faktor-faktor yang mempengaruhi keterlambatan proyek dari awal hingga akhir peninjauan antara lain mutasi/proses penggantian supervisor dari pihak kontraktor yang menyebabkan berkurangnya personil yang bertugas memonitor tenaga kerja dalam waktu 1 minggu, sehingga kinerja pekerjaan menjadi tidak optimal dan tidak dapat mencapai target yang telah ditetapkan. Kemudian perubahan desain atas permintaan owner yaitu perubahan paving blok area helipad menjadi beton, yang menyebabkan adanya pemberhentian sementara untuk pekerjaan di area helipad sampai dengan desain yang baru disetujui oleh semua pihak. Serta adanya pembongkaran pekerjaan paving blok di area helipad seluas 1600m² yang telah dikerjakan dan diganti dengan lantai beton disebabkan oleh perubahan desain yang membutuhkan waktu lebih lama untuk menyelesaikannya yang mengakibatkan progress pekerjaan menjadi negatif/dibawah progress rencana.
- Rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja biaya dan waktu dalam proyek ini adalah mutasi atau penggantian personil pada saat proses konstruksi sebisa mungkin dihindari, sehingga kinerja tim proyek tidak terganggu yang pada akhirnya berimbas pada kinerja pelaksanaan proyek. Perubahan desain berpengaruh terhadap waktu dan biaya pelaksanaan proyek untuk itu dengan perencanaan awal yang telah matang dibuat dan dilaksanakan di lapangan dapat menjamin pengurangan risiko kelambatan pengerjaan. Bila terjadi perubahan desain, perlu diidentifikasi dan dianalisa risiko yang mungkin terjadi, serta persiapan antisipasi dan solusi yang tepat untuk meminimalisir risiko yang akan terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi Witjaksana dan Samuel Petrik Reresi (2012). "Analisis Biaya Proyek Dengan Metode *Earned Value* Dalam Proses Kinerja Studi kasus pada pembangunan Universitas Katholik Widya Mandala Pakuwon Citi – Surabaya", *Extrapolasi Jurnal Teknik Sipil Untag Surabaya*, 5 (2), 45-56
- Ervianto, I.W. (2005). *Manajemen Proyek Konstruksi Edisi Revisi*. Andi. Yogyakarta
- Husein, A. (2011). *Manajemen Proyek Edisi Revisi*. Andi. Yogyakarta
- Kharis (2011). "Analisa Kinerja Biaya dan Waktu Proyek Pembangunan Gedung Universitas Trunojoyo Madura Dengan Konsep *Earned Value Analysis*", *e-journal ITS*
- Project Management Institute. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide) Sixth Edition*. Newtown Square, Pennsylvania: 14 Campus Boulevard.
- Soeharto, I. 1995. *Manajemen Proyek, Dari Konseptual sampai ke Operasional*. Erlangga

- Soemardi, B.W., Abduh, M., Reini & Pujoartanto, N. (2007). Konsep Earned Value untuk Pengelolaan Proyek Konstruksi, Buku Referensi, Konstruksi : Industri, Pengelolaan dan Rekayasa. Bandung: Penerbit ITB.
- Yomelda dan Christiono Utomo (2015). "Analisa Earned Value pada Proyek Pembangunan Vimala Hills Villa dan Resort Bogor", *Jurnal Teknik ITS*, 4 (1)

STABILITAS DAN FLOW CAMPURAN ASPAL EMULSI YANG MENGGUNAKAN BITUMEN HASIL EKSTRAKSI ASPAL ALAM BUTON (BHEAAB) SEBAGAI BAHAN BAKU PHASA PADAT

M. Tumpu¹, M. W. Tjaronge², Abdul Rachman Djameluddin³, Rita Irmawaty⁴ dan D. S. Mabui⁵

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Email: tumpumiswar@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: tjaronge@yahoo.co.jp

³Staf Pengajar, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: jamaluddinabdulrahman@yahoo.co.id

⁴Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: rita_irmaway@yahoo.com

⁵Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua, Email: didik.mabui90@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari usaha untuk mengembangkan aspal emulsi yang menggunakan Bitumen Hasil Ekstraksi Aspal Alam Buton (BHEAAB) sebagai bahan pengikat. Bitumen Hasil Ekstraksi Aspal Alam Buton (BHEAAB) terdiri dari 30% dari aspal dan 70% dari mineral. Aspal diekstrak dari BHEAAB dicampur dengan emulsi kationik, minyak tanah, asam klorida, kalsium klorida dan air untuk menghasilkan aspal emulsi. Spesimen Marshall digunakan untuk menunjukkan nilai stabilitas campuran aspal emulsi yang mengandung BHEAAB. Hasil uji menunjukkan bahwa penerapan aspal emulsi yang dibuat dengan BHEAAB dalam produksi aspal beton memperoleh hasil campuran dengan stabilitas yang baik. Selanjutnya, meningkatnya waktu pemeraman akan meningkatkan nilai stabilitas dan menyebabkan penurunan *flow* dalam semua campuran aspal emulsi.

Kata kunci: aspal emulsi, Bitumen Hasil Ekstraksi Aspal Alam Buton (BHEAAB), stabilitas, *flow*

PENDAHULUAN

Ditinjau dari pelaksanaan pekerjaan penggunaan aspal emulsi lebih mudah, hemat bahan bakar dan lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan aspal keras. Proses pencampuran aspal keras dengan material lain/agregat membutuhkan *asphalt mixing plant* (AMP) dan pada suhu yang mencapai 140 °C atau dikenal dengan istilah campuran panas (*hot mix*). Sementara untuk proses pencampuran aspal emulsi lebih sederhana hanya membutuhkan *concrete mixer* atau molen sebagai alat pencampur menggunakan air sebagai bahan pengemulsi dan bahan aditif. Proses ini dinamakan campuran dingin atau *cold mix*. Berdasarkan analisa EI untuk memproduksi 1 ton campuran hot mix diperlukan bahan bakar solar rata-rata 9,15 liter, sementara untuk proses cold mix diperlukan rata-rata 1,02 liter per ton campuran. Untuk penghamparan di lokasi pekerjaan suhu aspal hot mix harus berkisar 100°C – 120°C yang tentu saja hal ini sulit dipertahankan jika cuaca hujan, sedangkan cold mix dihampar pada suhu ruangan berkisar 25°C – 32°C sehingga pada saat pelaksanaannya cuaca tidak terlalu berpengaruh. Selain dari itu jalan yang lokasinya jauh dari AMP, terutama jalan yang terletak di pedalaman (pelosok) butuh penanganan yang sesegera mungkin dilakukan [13].

Penelitian ini bertujuan melihat kadar aspal optimum dan nilai stabilitas di dalam campuran aspal emulsi yang menggunakan BHEAAB sebagai bahan padatnya.

Kadar kandungan aspal emulsi yang divariasikan yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% yang merupakan variabel terikat (*dependent variable*) dan masa *curing* merupakan variabel bebas (*independent variable*). Jenis aspal emulsi difokuskan pada aspal emulsi jenis *Cationic Slow Setting* (CSS-1h) yang merupakan aspal dari bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton.

TINJAUAN PUSTAKA

Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah aspal cair yang dihasilkan dengan cara mendispersikan aspal keras bitumen ke dalam air atau sebaliknya dengan bantuan bahan pengemulsi. Aspal emulsi merupakan hasil dispersi bahan aspal semen dalam air secara merata dengan menggunakan emulsifier yang berfungsi mengikat molekul aspal dengan molekul air. Dalam suatu campuran emulsi, kandungan aspal umumnya berkisar $\pm 55-75\%$ dan kandungan bahan pengemulsi (emulsifier) $\pm 3\%$ [13].

Aspal emulsi dapat dikelompokkan menurut jenis muatan listriknya dan menurut kecepatan pengerasannya. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dapat dibedakan menjadi [2,17] :

1. Aspal emulsi kationik atau disebut aspal emulsi asam adalah aspal emulsi yang bermuatan positif [7,8,11,13].
2. Aspal emulsi anionik atau disebut aspal emulsi alkali adalah aspal emulsi yang bermuatan negatif dan banyak digunakan untuk melapisi batuan basa [10].
3. Aspal emulsi monionik adalah aspal emulsi yang tidak bermuatan listrik [10].

Berdasarkan kecepatan pengerasannya, aspal emulsi dibedakan menjadi [9] :

- a. Aspal emulsi RS (*Rapid Setting*), direncanakan mempunyai tingkat reaksi yang cepat dengan agregat penyertanya dan berubahnya emulsi ke aspal. Jenis RS akan menghasilkan lapisan film yang relatif tebal.
- b. Aspal emulsi MS (*Medium Setting*), direncanakan memiliki tingkat pencampuran medium dengan sasaran agregat kasar. Karena jenis ini tidak akan memecah jika berhubungan dengan agregat, maka campuran yang menggunakan jenis ini akan tetap dapat dihamparkan dalam beberapa menit.
- c. Aspal emulsi SS (*Slow Setting*), jenis ini direncanakan untuk hasil pencampuran yang memiliki stabilitas tinggi. Jenis ini digunakan dengan agregat bergradasi padat dan mengandung kadar agregat halus yang tinggi.

Aspal Buton

Aspal Buton merupakan aspal alam yang berada di Indonesia, yaitu di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton atau Aspal batu Buton ini pada umumnya berbentuk padat yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses terbentuknya asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang *porous* [12].

Kebutuhan aspal nasional Indonesia sekitar 1,2 juta ton pertahun. Dari kebutuhan ini, baru 0,6 juta ton saja yang dapat dipenuhi oleh PT. Pertamina sedangkan sisanya dipenuhi melalui impor. Sementara ketersediaan aspal minyak semakin terbatas dan harga yang cenderung naik terus seiring dengan harga pasar minyak mentah dunia [16].

Agregat

Agregat atau batu, atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam prasarana transportasi, khususnya dalam hal ini pada perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan sebagian besar oleh karakteristik agregat yang digunakan. Pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi persyaratan akan sangat menentukan dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan [10]. Kualitas suatu agregat sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat yang dikandungnya. Diantara sifat-sifat yang ada yaitu *strength* atau

kekuatan, *durability* atau keawetan, *adhesiveness* atau daya rekat terhadap aspal dan *workability* atau kemudahan dalam pelaksanaan [12,15].

Pengujian Aspal dengan Metode Marshall

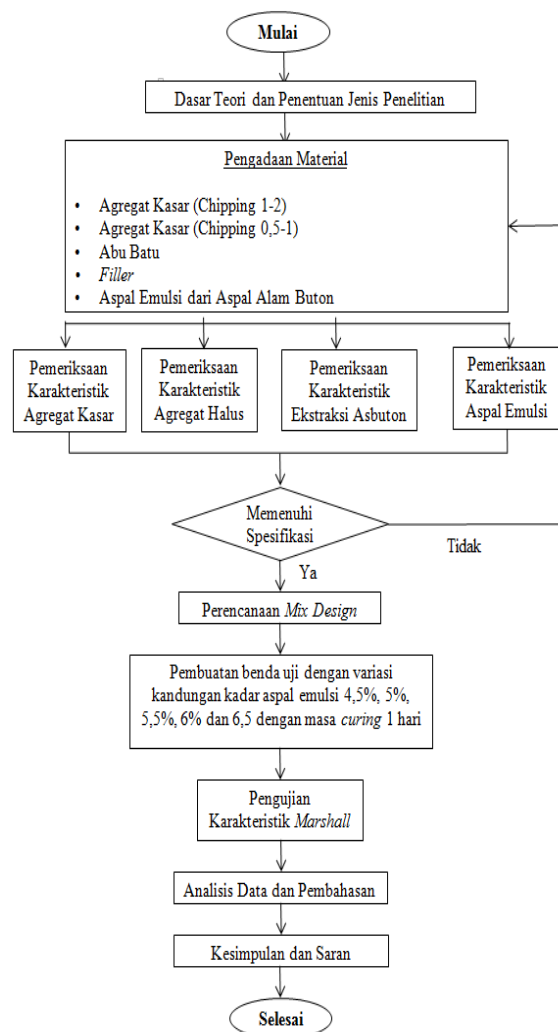
Jumlah benda uji yang disiapkan ditentukan dari tujuan dilakukannya uji *Marshall* tersebut. AASHTO menetapkan minimal 3 buah benda uji untuk setiap kadar aspal yang digunakan [1]. Prinsip dasar dari metode *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*). [5].

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium. Aspal beton diproduksi dengan menggunakan jenis agregat yang langsung berasal dari *stone crusher*, dan bahan pengikat berupa aspal emulsi yang berasal dari bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Eco Material Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Kampus Gowa untuk penyiapan agregat dan benda uji sedangkan untuk pengujian *Marshall* dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (BBPJN) VI Makassar pada tanggal 14 November 2015. Penelitian ini dilaksanakan selama 4 bulan sejak bulan Oktober sampai Januari 2016. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pengujian Karakteristik Agregat

Jenis pengujian dan metode pengujian agregat kasar (*chipping*), abu batu, serta *filler* ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Metode pengujian karakteristik agregat kasar

Pengujian	Metode Pengujian
Penyerapan Air	SNI 03-1969-1990
Berat Jenis	SNI 03-1969-1990
Indeks Kepipihan	RSNI T-01-2005
Keausan Agregat	SNI 2417-2008

Tabel 2. Metode pengujian karakteristik abu batu dan *filler*

Pengujian	Metode Pengujian
Penyerapan Air	SNI 03-1970-1990
Berat Jenis	SNI 03-1970-1990
Sand Equivalent	SNI 03-4428-1997

Pengujian Karakteristik Bitumen Hasil Ekstraksi Aspal Alam Buton (BHEAAB)

Pengujian karakteristik bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan kinerja dari aspal yang digunakan dalam pembuatan aspal emulsi yang dipersyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI). Jenis pengujian serta metode pengujian yang digunakan ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Pengujian karakteristik bitumen hasil ekstraksi aspal alam buton (BHEAAB)

Jenis Pengujian	Metode
Penetrasi pada 25 °C, 100g, 5 dtk	SNI 06 2456-1991
Titik lembek	SNI 06-2434-1991
Daktilitas pada 25 °C	SNI 06-2432-1991
Kelarutan dlm C ₂ HCl ₃	SNI 06-2438-1991
Titik nyala	SNI 06-2433-1991
Berat Jenis	SNI 06-2441-1991
Kehilangan berat 163°C (TFOT)	SNI 06-2440-1991
Penetrasi setelah TFOT	SNI 06-2456-1991
Viskositas 170 Cst	
Viskositas 280 Cst	

Pengujian Aspal Emulsi

Pengujian aspal emulsi dari bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan kinerja dari aspal emulsi yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji dan

memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI). Jenis pengujian serta metode pengujian yang digunakan ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Metode pengujian aspal emulsi

Jenis Pengujian	Metode
Kekentalan Saybolt Furol Pada 25°C	SNI 03-5721-2002
Stabilitas Penyimpanan 24 jam	SNI 03-5828-2002
Muatan Listrik Partikel	SNI 03-3644-1994
Analisa Saringan Tertahan No.20	SNI 03-3643-1994
Penyulingan	SNI 03-3642-1994
Kadar air, %	
Kadar minyak, %	
Kadar residu, %	
Penetrasi residu, 0,1 mm	SNI 06-2456-1991
Daktilitas residu, cm	SNI 06-2432-1991
Kelarutan residu dalam C ₂ HCl ₂	SNI 06-2438-1991

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pemeriksaan karakteristik agregat dilakukan untuk menentukan kelayakan agregat digunakan. Tabel 5 sampai dengan tabel 7 menunjukkan hasil pengujian karakteristik agregat yang telah dilakukan:

Tabel 5. Hasil pemeriksaan agregat kasar

Pemeriksaan	(Batu Pecah)	
	0,5 - 1 (cm)	1 - 2 (cm)
Penyerapan air, %	2.071	2.08
Berat jenis bulk	2.622	2.627
Berat jenis Saturated Surface Dry (SSD)	2.677	2.682
Berat jenis semu	2.773	2.779
Indeks kepipihan, %	20.1	9.38
Keausan agregat, %	25.72	24.36

Tabel 6. Hasil pemeriksaan abu batu

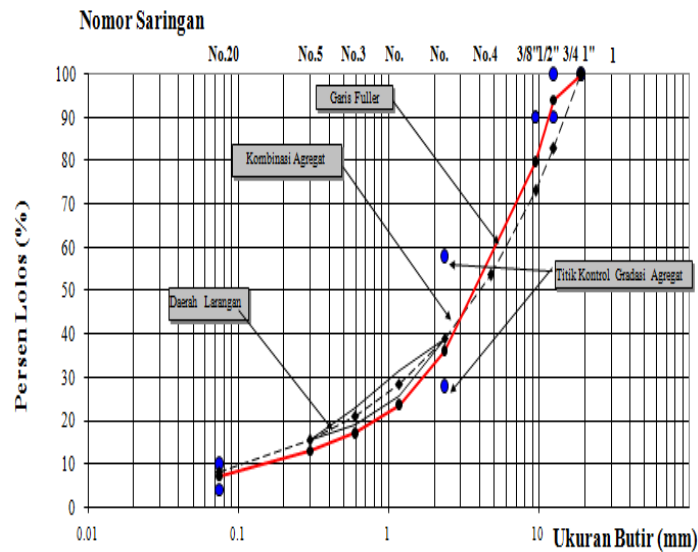
Penyerapan air, %	2.792	
Sand Equivalent, %	89.66	
Berat jenis bulk	Berat jenis Saturated Surface Dry (SSD)	Berat jenis semu
2.449	2.518	2.629

Tabel 7. Hasil pemeriksaan filler

Penyerapan air, %	2.283	
Sand Equivalent, %	69.57	
Berat jenis bulk	Berat jenis Saturated surface dry (SSD)	Berat jenis semu
2.595	2.654	2.758

Penentuan Gradasi Campuran dan Mix Design

Proporsi agregat gabungan didapatkan dari nilai perbandingan komposisi agregat rencana dikalikan dengan nilai persen lolos pada analisa saringan. Setelah itu, hasil yang diperoleh untuk semua komponen yaitu batu pecah 1-2 cm, batu pecah 0.5-1 cm dan abu batu kemudian dijumlahkan dan dilakukan analisa saringan hingga didapatkan presentase gabungan yang diharapkan. Selanjutnya, proporsi agregat gabungan yang telah diperoleh tersebut disesuaikan dengan nilai interval spesifikasi. Setelah itu, agregat gabungan serta interval spesifikasi diplot ke dalam grafik, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Berdasarkan komposisi agregat yang diperoleh dibuat benda uji dengan variasi kandungan kadar aspal emulsi dari bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton 4,5%, 5%, 5.5%, 6% dan 6,5% dari berat total campuran. Jumlah benda uji untuk masing-masing kandungan kadar aspal emulsi adalah sebanyak 5 buah sehingga untuk total benda uji untuk keseluruhan variasi kandungan kadar aspal emulsi dari bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton adalah sebanyak 25 buah.



Gambar 2. Gradasi agregat gabungan

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Bitumen Hasil Ekstraksi Aspal Alam Buton (BHEAAB)

Karakteristik sifat fisik BHEAAB diperlihatkan oleh tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian karakteristik BHEAAB

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Satuan
Penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 dtk	93,2	0,1 mm
Titik lembek	48	°C
Daktilitas pada 25 °C	37	Cm
Kelarutan dlm C ₂ HCl ₃	97,6	% berat
Titik nyala		°C
Berat Jenis	1,05	
Kehilangan berat 163°C (TFOT)	2,5	% berat
Penetrasi setelah TFOT	145,4	% asli
Viskositas 170 Cst	24	Cm ² /det
Viskositas 280 Cst		

Hasil pengujian karakteristik bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton yang ditampilkan pada tabel 8 menunjukkan bahwa sebagian besar sifat fisik bitumen yang digunakan memenuhi spesifikasi Bina Marga untuk bitumen aspal emulsi yang disyaratkan. Agar Asbuton dapat dimanfaatkan di bidang perkerasan jalan maka pada prinsipnya bitumen harus diusahakan sedemikian rupa sehingga memiliki karakteristik mendekati karakteristik aspal minyak (aspal keras) untuk perkerasan jalan. Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 dtk sebesar 93,2 (dalam satuan 0,1 mm) ini menyerupai hasil yang diperoleh oleh Alberta Research Council, (1989) dalam Nyoman Suaryana (2008) [16].

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Emulsi yang berbasis BHEAAB

Tabel 9. Hasil pemeriksaan karakteristik aspal emulsi berbasis BHEAAB

Pemeriksaan	Hasil Uji	Satuan
Viskositas, Saybolt Furol 77°F(25°C),5 s	24	Cm ² /dt
Pengendapan, 24-h,% a	0.7	% Berat
Tertahan Saringan no. 20, % a	0.02	% Asli
Kadar Residu, Penyulingan, % Residu,%	64.7	% Asli
Penetrasi Aspal,77°F(25°C),100 g,5 s	83	0.1 mm
Daktilitas Aspal,77°F(25°C),5 cm/min,cm	44	Cm
Kadar Aspal, %	97.7	% Berat
Jenis Muatan Partikel	Positif	Positif

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Campuran Aspal Beton dengan Menggunakan Metode Marshall

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, didapatkan nilai stabilitas yang ditunjukkan pada tabel 10. Hasil pengujian memperlihatkan sama dengan campuran aspal yang menggunakan bitumen aspal minyak (*petroleuem bitumen*) ketika kandungan kadar aspal emulsi meningkat maka nilai stabilitas juga meningkat hingga mencapai suatu nilai optimum.

Tabel 10. Hasil pemeriksaan stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas Aspal Buton (Kg)	Stabilitas Aspal Minyak (kg)
4.5	261.14	417.89
5	551.77	604.02
5.5	908.9	895.49
6	477.6	512.71
6.5	333.59	372.24

Nilai stabilitas yang diperoleh belum memenuhi semua spesifikasi khusus campuran dingin dengan Asbuton dan Emulsi yang ditetapkan oleh Bina Marga tahun 2006, yaitu ≥ 450 kg. Rata-rata kenaikan nilai stabilitas hingga mencapai nilai optimum pada kadar aspal emulsi 5.5% yaitu 75.29% sedangkan rata-rata penurunan nilai stabilitas dari nilai optimum yaitu 38.8%. Dengan demikian, dapat kita ketahui bahwa kandungan kadar aspal emulsi optimum berada pada kandungan kadar aspal emulsi 5,5 %. Untuk kandungan kadar aspal emulsi 4,5% dan 6,5% belum memenuhi spesifikasi.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton dapat dibuat aspal emulsi
2. Campuran aspal emulsi yang berbasis bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton (BHEAAB) memiliki nilai stabilitas sebesar 908.9 kg pada kadar aspal optimum yaitu 5.5%.

Saran

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* (908.9 kg) maka campuran aspal emulsi berbasis bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton (BHEAAB) dapat digunakan pada lapisan permukaan jenis AC-WC pada jalan dengan lalu lintas sedang dan ringan (lalu lintas rencana < 1 juta ESA).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih sebesar besarnya kepada PT. Mastic Utama Sarana di Pondok Indah Jakarta Indonesia dan PT. Utama Prima di Bogor Indonesia yang sangat membantu dalam penyelesaian penelitian ini. Selain itu, ucapan terima kasih kepada bapak Prof. Dr. Muhammad Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng dan Prof. Dr. Rudy Djameluddin, ST, M.Eng selaku pembimbing 1 dan 2 dalam penyelesaian tugas akhir ini serta bapak Israil selaku mahasiswa program doktor yang sangat membantu dalam penelitian mengenai aspal emulsi berbasis bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton. Sebagian besar penelitian ini dilakukan di laboratorium Eco Material.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO T 245-97 (ASTM D 1559-76). Resistance Plastic of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. *American Society for Testing and Materials*.
- A. James. 2006. *Overview of Asphalt Emulsion*. *Transportation Research Circular Number E-C102*. Washington: Transportation Research Board of National Academies.
- AkzoNobel. *Bitumen Emulsion*. Technical Bulletin. AkzoNobel.
- Annual Book of ASTM Standards, Section 4, volume 04.03, Road and Paving Materials; Pavement Management Technologies, (1994).
- Anonim, 1991. *SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Anonim, 2011. *SNI 4798:2011, Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik*, Badan Standar Nasional Jakarta.
- ASTM D2397. 2012. Standard Specification for Cationic Emulsified Asphalt. *American Society for Testing and Materials*.
- ASTM D977. 1998. Standard Specification For Emulsified Asphalt. *American Society for Testing and Materials*.
- Illyin A B, (2012). Produksi Aspal Dari Asbuton dengan Ekstraksi menggunakan Asam Asetat. *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Buku 1, 2006, Departemen Pekerjaan Umum*.
- Nyoman Suaryana, (2008). Penelitian Pemanfaatan Asbuton Butir di Kolaka Sulawesi Tenggara-Indonesia.
- Pedoman Pembuatan Aspal Emulsi Jenis Kationik, No. 024/T/BM/1999, Lampiran No. 2 Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga N0. 76/KPTS/Db/1999 Tanggal 20 Desember 1999, Departemen Pekerjaan Umum.
- Pedoman Pemanfaatan Asbuton Buku 1, 2006, Departemen Pekerjaan Umum.
- Ridwan Hadi Rianto, (2007). Pengaruh Abu Sekam Sebagai Bahan Filler Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR).
- Rosalina dan Mulizar, (2013). Penelitian Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat. *Shell Bitumen, The Shell Bitumen Hand Book*, Shell Bitumen, Nottingham, 1990.
- Transportation Research, Number E-C 102, (2006). *Asphalt Emulsion Technology*.

KAJIAN TARIF KERETA API PRAMBANAN EKSPRESS TRAYEK YOGYAKARTA-SOLO DITINJAU DENGAN BOKA

Edo Loreno Sambara

*Program Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta Jl. Babarsari No.44, Kec. Depok,
Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta Fax : 55281, e-mail: sambaraedho@gmail.com*

ABSTRACK

Transportation is one component that is very important for human needs to support economic life in society. The increasing needs and economic activities of the community encourage a high desire for someone to carry out transportation activities. This has led to increased demands for safer, more convenient transportation services and shorter travel times at more affordable rates. The train is one of the modes of transportation for passengers and goods that have several advantages. So to find out the ability and willingness to pay, an analysis of the affordability of purchasing power of city transport service users in paying tariffs includes analysis of the willingness to pay (WTP) and an analysis of the ability to pay (ATP) for the tariffs imposed by the railroad. Furthermore this is abbreviated as WTP and ATP. The approach used in analyzing the value of ATP is based on the allocation of funds for transportation and travel intensity, while the WTP analysis is based on the user's perception of the tariff on public transport services. The results of ATP and WTP are reviewed based on BOKA in terms of the upper limit and lower limit tariffs. So getting the ideal fare for passengers.

Keywords: Railway, ATP, WTP, BOKA, Ideal Tariff

ABSTRAK

Transportasi merupakan salah satu komponen yang sangat penting bagi kebutuhan manusia untuk menunjang kehidupan perekonomian di masyarakat. Meningkatnya kebutuhan dan kegiatan perekonomian masyarakat mendorong tingginya keinginan seseorang untuk melakukan kegiatan transportasi. Hal ini menyebabkan meningkatnya tuntutan akan jasa transportasi yang lebih aman, nyaman dan waktu tempuh lebih pendek dengan tarif yang lebih terjangkau. Kereta api merupakan salah satu moda transportasi bagi penumpang maupun barang yang memiliki beberapa keunggulan. Maka untuk mengetahui kemampuan dan kemauan membayar dapat dilakukan analisis keterjangkauan daya beli pengguna layanan angkutan kota dalam membayar tarif yang meliputi analisis kemauan membayar (Willingness To Pay) dan analisis kemampuan membayar (Ability To Pay) terhadap tarif yang diberlakukan kereta api. Selanjutnya hal ini disingkat dengan WTP dan ATP. Pendekatan yang digunakan dalam menganalisis nilai ATP didasarkan pada alokasi dana untuk transportasi dan intensitas perjalanan, sedangkan analisis WTP didasarkan pada persepsi pengguna terhadap tarif atas jasa pelayanan angkutan umum. Hasil dari ATP dan WTP di tinjau berdasarkan BOKA yang ditinjau dari ketentuan tarif batas atas dan tarif batas bawah. Sehingga mendapatkan tarif yang ideal bagi penumpang.

Kata Kunci: Kereta Api, ATP, WTP, BOKA, Tarif Ideal

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan salah satu komponen yang sangat penting bagi kebutuhan manusia untuk menunjang kehidupan perekonomian di masyarakat. Meningkatnya kebutuhan dan

kegiatan perekonomian masyarakat mendorong tingginya keinginan seseorang untuk melakukan kegiatan transportasi. Hal ini menyebabkan meningkatnya tuntutan akan jasa transportasi yang lebih aman, nyaman dan waktu tempuh lebih pendek dengan tarif yang lebih terjangkau.

Kereta api merupakan salah satu moda transportasi bagi penumpang maupun barang yang memiliki beberapa keunggulan, antara lain : daya angkut yang besar, waktu tempuh lebih pendek, aman, nyaman, kendaraannya mampu menempuh perjalanan jarak jauh, hemat energi dan ramah terhadap lingkungan. Meningkatkan kualitas dan mengoptimalkan keunggulan-keunggulan tersebut merupakan tanggung jawab PT. Kereta Api Indonesia (Persero) sebagai satusatunya pengelola perkeretaapian di Indonesia saat ini. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah dengan mengevaluasi tingkat kualitas pelayanan. Peningkatan kualitas akan berdampak pada pertumbuhan kepercayaan, kenyamanan dan permintaan terhadap kereta api.

KA Prameks (Prambanan Ekspres) pertama kali dioperasikan pertama kali pada tanggal 20 Mei 1994 dengan lintas layanan perjalanan Yogyakarta-Solo sepanjang 64 Km dengan waktu tempuh rata-rata 1 Jam 20 menit. Rangkaian kereta api ini melayani perjalanan kelas Ekonomi AC dengan tarif Rp 8.000.

Berdasarkan latar belakang tersebut terlihat adanya persaingan antar moda angkutan umum termasuk kereta api, untuk meningkatkan mutu dan pelayanan. Kereta api yang mampu bersaing untuk memenuhi kebutuhan pengguna layanan serta memiliki tarif yang sesuai dengan kemampuan pengguna layanan atau lebih terjangkau akan menarik minat masyarakat untuk melakukan perjalanan menggunakan kereta api tersebut. Oleh karena itu, perlu diadakan monitoring dan evaluasi tarif KA Prambanan Ekspres (Prameks) sebagai salah satu alternatif moda angkutan umum untuk perjalanan Yogyakarta-Solo maupun sebaliknya dalam upaya peningkatan kualitas pelayanan.

KONSEP DAYA BELI PENUMPANG

Ability To Pay (ATP)

Ability To Pay adalah kemampuan seseorang untuk membayar jasa pelayanan yang diterimanya berdasarkan penghasilan yang dianggap ideal. Pendekatan yang digunakan dalam analisis ATP didasarkan pada alokasi biaya untuk transportasi dan intensitas perjalanan pengguna. Besar ATP adalah rasio anggaran untuk transportasi dengan intensitas perjalanan. Besaran ini menunjukkan kemampuan masyarakat dalam membayar ongkos perjalanan yang dilakukannya.

$$ATP_{resp} = IrsPpPt / Trs \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

ATP_{resp} = ATP responden berdasarkan jenis pekerjaan (Rp/Resp/Trip)

Irs = Pendapatan responden per bulan (Rp/bulan)

Pp = Persentase pendapatan untuk transportasi per bulan dari Pendapatan responden

Pt = Persentase untuk angkutan dari Pendapatan untuk transportasi

Trs = Total panjang perjalanan per bulan per trip (Trip/Resp/bulan)

Willingness to pay (WTP)

Willingness to pay adalah kesediaan pengguna untuk mengeluarkan imbalan atas jasa yang diperolehnya. Pendekatan yang digunakan dalam analisis WTP didasarkan pada persepsi pengguna terhadap tarif dan jasa pelayanan angkutan umum tersebut.

$$MWTP = M_{WTP} = 1/n = \sum_{i=0}^n WTP_i \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

M_{WTP} = Rata-rata WTP

n = Ukuran sampel

WTP_i = Nilai WTP maksimum responden ke i

TARIF BERDASARKAN BIAYA OPERASI KERETA API

Tarif Berdasarkan Biaya Operasi Dalam perhitungan biaya pokok untuk usaha jasa transportasi khususnya moda transportasi kereta api, pengelompokan komponen biaya dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti biaya total yang terdiri dari biaya operasi langsung dan tidak langsung yang didasarkan pada aktivitas yang dilakukan. PT KAI menjelaskan komponen BOKA (Peraturan Menteri Perhubungan No 38 Tahun 2010), yaitu:

1. Biaya Langsung Tetap, yaitu biaya pegawai awak sarana KA, biaya penggunaan prasarana ka dan asuransi
2. Biaya Langsung Tidak Tetap, yaitu BBM, listrik aliran atas (LAA), air, on train cleaning (OTC), cucian sarana, pelumas, dan tunjangan kerja operasional (TKO) awak sarana KA
3. Biaya Tidak Langsung Tetap, yaitu biaya pegawai non awak KA, tunjangan kerja operasional dan prasarana
4. Biaya Tidak Langsung Tidak Tetap, yaitu biaya pemasaran, biaya penelitian dan pengembangan

Rumus Perhitungan komponen biaya operasi kereta (Ketetapan Menteri Perhubungan No 38, 2010) adalah :

$$\text{BOKA} = \text{BOL} + \text{BOTL} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

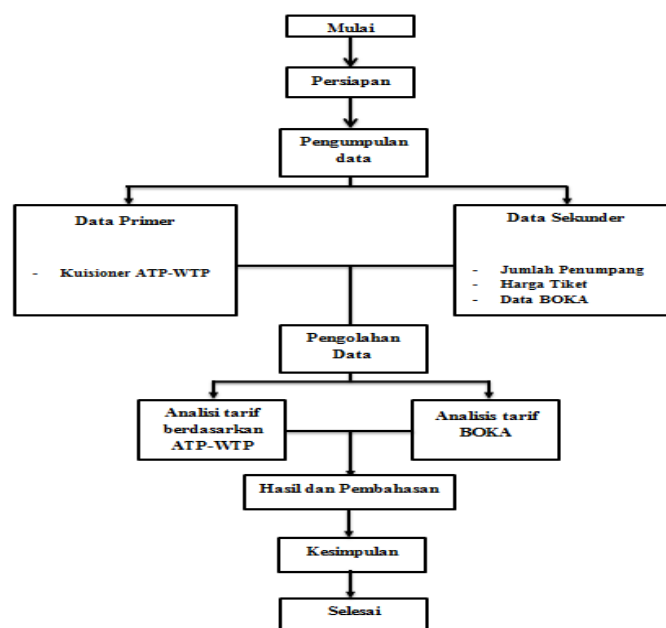
BOL = biaya operasional langsung yang terdiri dari biaya langsung tetap dan biaya langsung tidak tetap

BOTL = biaya operasional tidak langsung yang terdiri dari biaya tidak langsung tetap dan biaya tidak langsung tidak tetap.

Penelitian BOKA langsung diminta data tersebut dari kantor PT. KAI Indonesia. Sehingga Mendapatkan data yang lebih akurat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode deskriptif kuantitatif yaitu suatu bentuk penelitian yang berdasarkan data yang dikumpulkan selama penelitian secara sistematis mengenai fakta-fakta dan sifat-sifat dari obyek yang diteliti dengan menggabungkan hubungan antar variabel yang terlibat didalamnya, kemudian diinterpretasikan berdasarkan teori-teori dan literatur-literatur yang berhubungan penerapan tarif berdasarkan BOKA dan ATP-WTP. Metode ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang cukup jelas atas masalah yang diteliti.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pemilihan Strategi Penelitian

Strategi penelitian yang dipilih oleh peneliti dalam melaksanakan penelitian dengan menggunakan metode survey state Preference. Survey dilakukan dengan cara meresponden setiap penumpang kereta api dengan lintas layanan Yogyakarta-Solo yang berfungsi untuk mengumpulkan data dari penumpang berupa kemampuan membayar dan keinginan membayar penumpang. Perancangan kuesioner dibagi menjadi tiga bagian yaitu karakteristik responden, ATP dan WTP.

1. Kuesioner Karakteristik Penumpang.
Kuesioner ini dirancang untuk mengetahui karakteristik dari responden penumpang Kereta Api lintas layanan Yogyakarta-Solo dengan menanyakan nama, umur, jenis kelamin, pekerjaan, jumlah ke Solo, alat transportasi yang paling sering digunakan, waktu tempuh menuju Solo.
2. Kuesioner Ability To Pay (ATP)
ATP adalah kemampuan membayar dari masyarakat atas imbalan terhadap barang atau jasa yang dinikmati berdasarkan pendapatan yang dianggap ideal sehingga faktor-faktor yang digunakan untuk menentukan ATP terhadap Kereta Api lintas layanan Yogyakarta-Solo adalah total pendapatan responden, dan alokasi biaya transportasi ke Solo per bulan.
3. Kuesioner Willingness To Pay (WTP)
WTP dapat didefinisikan sebagai besaran rata-rata rupiah yang bersedia dikeluarkan oleh penumpang sebagai pembayaran satu unit layanan Kereta Api lintas layanan Yogyakarta-Solo yang dinikmatinya. Pendekatan yang digunakan dalam analisis WTP terhadap jasa angkutan Kereta Api lintas layanan Yogyakarta-Solo didasarkan atas tarif L300 yang diharapkan. Variabel yang digunakan untuk menentukan WTP terhadap jasa Kereta Api lintas layanan Yogyakarta-Solo adalah tarif yang diharapkan atau kemauan tarif yang telah ditetapkan oleh PT Kereta Api dengan lintas layanan Yogyakarta-Solo.

Survei Pendahuluan

Survey pendahuluan merupakan survey skala kecil tetapi sangat penting, agar survey sesungguhnya dapat berjalan dengan lancar, efektif, dan efisien. Survey pendahuluan ini meliputi:

1. Penentuan lokasi survey.
Pengenalan lokasi survey bertujuan untuk mengenal rute yang dilalui akereta api yang akan disurvei
2. Penentuan waktu survey.
Pelaksanaan survey dilaksanakan dalam dua pembagian waktu yaitu pada hari kerja dan hari libur. Penentuan hari survey harus dengan pertimbangan bahwa hari yang dipilih dapat mewakili hari dalam seminggu.
3. Penentuan jumlah surveyor
Penentuan jumlah surveyor sangat penting agar pengecekan form survey Pengecekan form survey bertujuan agar pada saat survey utama surveyor tidak mengalami kesulitan dalam mengisi formulir survey. Kelengkapan form survey seperti: nama surveyor, waktu survey
4. Pelaksanaan survey dapat efisien dan efektif.

Tujuan Penelitian

1. Mengestimasi nilai Ability To Pay (ATP) dan Willingness To Pay (WTP) pengguna layanan Kereta Api Prambanan Ekspres (Prameks) lintas layanan Yogyakarta-Solo
2. Menganalisis nilai ATP dan WTP pengguna layanan Kereta Api Prambanan Ekspres (Prameks) lintas layanan Yogyakarta-Solo terhadap tarif yang berlaku
3. Mengestimasi tarif Kereta Api Prambanan Ekspres (Prameks) jika dilakukan kenaikan tarif jika dibandingkan dengan biaya operasional kereta api (BOKA)
4. Mengestimasi nilai pencegahan kecelakaan fatal (VPF) berdasarkan nilai WTP pengguna jasa Kereta Api dengan lintas layanan Yogyakarta-Solo?

ANALISIS DATA

Analisis masalah berdasarkan hasil-hasil yang didapat dari pengolahan data yang terdiri dari analisis karakteristik responden, analisis ATP, analisis WTP dan Value of Preventing a Fatality (VPF). Pengolahan data ATP dan WTP akan diolah dengan menggunakan alat bantu Excel dan dengan alat bantu Statistical Package for Social Science (SPSS) untuk perhitungan validitas dan reliabilitas, digunakan SPSS untuk membantu mempercepat proses pengolahan data yang berasal dari kuesioner.

1. Analisis Karakteristik Responden
Data karakteristik responden yang diperoleh dari kuesioner kemudian dimasukkan ke dalam tabel. Kemudian data tersebut dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk tabel, kurva dan diagram karakteristik responden.
2. Analisis ATP
Data ATP reponden yang diperoleh dari kuesioner kemudian dimasukkan ke dalam tabel. Kemudian data tersebut dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk diagram ATP responden.
3. Analisis WTP
Data WTP reponden yang diperoleh dari kuesioner kemudian dimasukkan ke dalam tabel. Kemudian data tersebut dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk diagram WTP responden.
4. Analisis Benchmarking
Yaitu membandingkan spesifikasi dan tarif kereta api bandara dengan biaya operasional pada Kereta Api Prambanan Ekspres (Prameks). Kemudian dilakukan skenario penetapan tarif yang layak.
5. Analisis Value of Preventing a Fatality (VPF)
Setelah data kuesioener diperoleh kemudian peneliti menghitung nilai VPF pengguna jasa Kereta Api Bandara. Nilai – nilai yang membentuk VPF terdiri dari WTP, NQ dan MA dimana :
 - a. WTP yaitu kemauan murni membayar.
 - b. NQ yaitu rata-rata (diskon) hilangnya output bersih hasil dari satu kematian dijalan. Dengan mengalikan selisih usia produktif terhadap rata-rata usia responden dengan sisa persentase pendapatan kotor dikurangi biaya konsumsi, dan.
 - c. MA yaitu biaya medis dan ambulans terhadap satu kematian dijalan diperoleh dari tarif layanan rumah sakit.Sehingga dapat dihitung nilai Value of Preventing a Fatality (VPF).

KESIMPULAN

Berdasarkan perumusan masalah dan serangkaian penelitian yang telah penulis lakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Mengestimasi nilai Ability To Pay (ATP) dan Willingness To Pay (WTP) pengguna layanan Kereta Api Prambanan Ekspres (Prameks) lintas layanan Yogyakarta-Solo
2. Menganalisis nilai ATP dan WTP pengguna layanan Kereta Api Prambanan Ekspres (Prameks) lintas layanan Yogyakarta-Solo terhadap tarif yang berlaku
3. Mengestimasi tarif Kereta Api Prambanan Ekspres (Prameks) jika dilakukan kenaikan tarif jika dibandingkan dengan biaya operasional kereta api (BOKA)
4. Mengestimasi nilai pencegahan kecelakaan fatal berdasarkan nilai WTP pengguna jasa Kereta Api dengan lintas layanan Yogyakarta-Solo

DAFTAR PUSTAKA

Malkhamah, Siti Dr., Dewanti Dr., Zudhy Irawan, Muhammad. 2016. Pertemuan Ke 14 Perencanaan Angkutan Umum (Tarif, Subsidi, dan Energi) Mata Kuliah: Pengantar Perencanaan Transportasi. Yogyakarta : Prodi S1 Teknik Sipil DTSL FT UGM

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2010 Tentang
Pedoman Penetapan Tarif Angkutan Orang Dengan Kereta Api.

Siregar, M., 2009. Beberapa Masalah Ekonomi dan Management Perangkutan. Jakarta: Lembaga
Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia

Soemarsono, 2002. Bahan Kuliah Sistem Angkutan Umum dan Barang. Semarang: PPs MTS
Konsentrasi Transportasi UNDIP.

Tamin, O. Z., 1997. Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, Institut Teknologi Bandung,
Bandung.

KOMBINASI LIMBAH PLASTIK PET (*POLYETHYLENE THEREPHTHALATE*) DAN PP (*POLYPROPHYLENE*) SEBAGAI BAHAN TAMBAH UNTUK MENINGKATKAN KINERJA CAMPURAN AC-WC

Irianto¹, Abd. Rachman Djameluddin², Mubassirang Pasra³ dan Ardy Arsyad⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: irian.anto@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: jamaluddinabdulrahman@yahoo.co.id

³ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: mubapasra@gmail.com

⁴ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: ardyarsyad@gmail.com

ABSTRAK

Plastik merupakan jenis polimer yang tidak dapat terurai sendiri, yang membutuhkan waktu ratusan bahkan ribuan tahun untuk terurai kembali ke bumi. Limbah plastik telah menjadi sesuatu hal yang menakutkan di setiap belahan bumi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik jenis PET dan limbah plastik jenis PP yang di kombinasikan, merumuskan model hubungan antara nilai kuat tekan dengan kadar limbah plastik jenis PET dan plastik jenis PP yang di kombinasikan serta menemukan besaran kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi (J/m^3). Penelitian ini berbentuk eksperimental di laboratorium. Kadar limbah plastik (PET dan PP) dengan kombinasi yaitu 0, 25, 50, 75 dan 100% yang digunakan yaitu senilai 0,0%, 0,5%, 1,0%, 1,5% 2,0% dan 2,5% dari berat total agregat. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah pemanfaatan limbah plastik jenis PET dan PP sebagai bahan tambah dalam campuran AC-WC, mendapatkan hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang menggunakan limbah plastik PET dan PP yang di kombinasikan akibat beban tekan serta mendapatkan nilai besaran kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi.

Kata kunci: PET, PP, AC-WC, hubungan tegangan-regangan, beban tekan

PENDAHULUAN

Perkembangan konstruksi jalan yang digunakan oleh seluruh dunia diawali oleh temuan Thomas Telford (1757-1834) dan John London Mac Adam (1756-1836). Konstruksi ini diberi lapisan aus yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya dan seluruh dunia menggunakan teknologi ini sebagai konstruksi jalan. Perkembangan selanjutnya adalah konstruksi perkerasan jalan menggunakan aspal panas (*hot-mix*). Jenis perkerasan ini dinamakan perkerasan lentur.

Di Indonesia, kedua jenis perkerasan ini telah digunakan pada hampir seluruh proyek-proyek jalan nasional, provinsi dan kabupaten. Masalah yang dihadapi Direktorat Jenderal Bina Marga Indonesia adalah kerusakan dini pada konstruksi-konstruksi jalan. Baik yang terjadi pada perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Hampir 40 % jaringan jalan yang ada di Indonesia mengalami kerusakan ringan hingga kerusakan berat. Jaringan jalan nasional pada tahun 2002 mencapai 330.495 km. Secara keseluruhan jalan yang rusak meliputi jalan negara sekitar 12% (3.224 km), jalan provinsi sekitar 34% (12.636 km), sementara jalan kabupaten yang rusak mencapai 47% (113.244 km) (Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2005).

Kekurangan perkerasan beton dibandingkan perkerasan beraspal adalah biaya awal dan perbaikan konstruksi yang cukup tinggi, butuh waktu sampai cukup kuat untuk dilewati, tidak sesuai bagi konstruksi badan jalan yang labil atau masih terjadi bongkar pasang utilitas, kurang nyaman (kekasaran, sambungan) dan silau akibat warna perkerasan yang cenderung putih (Sjahdanulirwan M, Nono, 2009).

Selain masalah kerusakan struktur jalan, masalah limbah plastik juga muncul. Kedua masalah ini merupakan suatu tantangan bagi peneliti untuk melakukan penelitian yang bersifat aplikatif agar masalah tersebut dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penggunaan limbah plastik dapat dijadikan bahan tambah dalam campuran beraspal, khususnya pada campuran aspal porous.

Penggunaan bahan tambah dalam campuran beton aspal menjadi suatu pilihan. Ada banyak hal ketika diputuskan menggunakan bahan tambah dalam campuran aspal, salah satunya untuk meningkatkan kinerja campuran terutama dalam hal kinerja campuran beraspal dan hal ketahanan beton aspal menahan pembebanan berulang di jalan. Adapun dalam penelitian ini menggunakan limbah plastik (polimer mutu rendah) sebagai bahan tambah.

Menurut Suroso (2009), penambahan limbah plastik ke dalam campuran aspal telah banyak dilakukan baik di dalam maupun luar negeri dan telah dibuktikan dapat meningkatkan mutu campuran beraspal. Moghaddam, dkk., (2013) menyatakan bahwa terjadi peningkatan stabilitas dari campuran aspal dengan menambahkan botol plastik sebesar 0-1% dari berat agregat ke dalam campuran. Penambahan limbah botol plastik tersebut meningkatkan ketahanan lelah campuran dibandingkan dengan campuran aspal biasa. Arianti, Nasrul, dan Balaka (2015) memperoleh hasil penelitian bahwa seiring dengan meningkatnya kadar botol plastik dalam campuran aspal maka akan meningkatkan stabilitas, VMA, VFA, *flow*, dan MQ, serta menurunkan VIM. Kadar botol plastik yang terbaik untuk karakteristik *Marshall* adalah 2%. Israil, Adisasmita, dan Djamaluddin (2012) memperoleh hasil bahwa penambahan serpih sampah plastik ke dalam campuran beton aspal AC-WC dapat meningkatkan stabilitas campuran, nilai *Marshall Quotient* (MQ), VFB (*Void Filled with Bitumen*), serta menurunkan nilai *flow*, VIM (*Void in Mix*), VMA (*Void in Mineral Agregat*).

Plastik adalah suatu polimer (material sintetik buatan manusia) yang mudah dibentuk, dicetak, mempunyai sifat unik dan luar biasa (Mujiarto, 2005). Plastik merupakan material yang baru secara luas dikembangkan dan digunakan sejak abad ke-20 yang berkembang secara luar biasa penggunaannya dari hanya beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, menjadi 150 juta ton/tahun pada tahun 1990-an dan 220 juta ton/tahun pada tahun [2005](#) (Wikipedia, 2016 a).

Selain itu, pada tanggal 5 Agustus 2017 Kementerian PUPR telah mengeluarkan surat edaran nomor SP.BIRKOM/VIII/2017/383 tentang inovasi teknologi dukung percepatan pembangunan infrastruktur PUPR. Salah satu isi dari surat edaran tersebut adalah penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambah dalam campuran beraspal. Belum lama ini, Kementerian PUPR juga telah menggelar uji coba aspal plastik sepanjang 700 meter yang bertempat di Universitas Udayana, Bali. Pemanfaatan limbah plastik sebagai aspal tersebut merupakan salah satu solusi bagi permasalahan sampah plastik, dengan kebutuhan limbah plastik sebanyak 2,5 hingga 5 ton untuk setiap 1 kilometer jalan dengan lebar 7 meter.

Selain dari uji coba campuran beraspal yang menggunakan limbah plastik di Bali telah digunakan pula di Tahun 2018 di Provinsi Sulawesi Selatan yaitu di jalan Bandara lama Sultan Hasanuddin di Maros. Tahun ini, di Provinsi Sulawesi Selatan digunakan pula limbah plastik PP sebagai bahan tambah pada campuran AC-WC yang diterapkan di Jalan Poros Bukumba-Bira melalui dana APBN. Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik jenis PET dan PP yang di kombinasikan.
2. Merumuskan model hubungan antara nilai kuat tekan dengan kadar limbah plastik jenis PET dan PP yang di kombinasikan.
3. Menemukan besaran kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi (J/m^3).

TINJAUAN PUSTAKA

Plastik dalam Campuran Aspal

Menurut Syarif, *et.al.* dalam Nurminah (2002), plastik dibagi atas dua jenis berdasarkan sifat fisiknya, yaitu :

- A. *Thermoplast*, merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang atau dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Polimer termoplastik memiliki sifat-sifat khusus yaitu jika dipanaskan akan melunak, jika didinginkan akan mengeras, mudah untuk diregangkan, fleksibel, titik leleh rendah, dapat dibentuk ulang atau di daur ulang, dan mudah larut dalam pelarut yang sesuai dengan kecocokan jenis plastik ini. Contoh plastik yang termasuk dalam jenis termoplastik adalah sebagai berikut :
 1. **Polyethylene (PE)**, yang terdiri dari PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan berat jenis yaitu sebesar 1,34-1,39; HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan berat jenis yaitu sebesar 0,96-0,97; dan LDPE (*Low Density Polyethylene*).
 2. **Polyvinilklorida (PVC)** dengan berat jenis 1,37–1,39.
 3. **Polipropena (PP)**.
 4. **Polistirena (PS)** dengan berat jenis 1,04-1,09.
 5. **Polycarbonate (Other)** dengan berat jenis 1,2.
- B. *Thermosetting*, merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur-ulang atau dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekul yang ada pada jenis plastik ini. Sifat polimer termosetting yaitu keras dan kaku (tidak fleksibel) sehingga jika dipanaskan jenis plastik ini akan mengeras, tidak dapat dibentuk ulang atau sukar didaur ulang, tidak dapat larut dalam pelarut apapun, jika dipanaskan akan meleleh, tahan terhadap asam basa, dan mempunyai ikatan silang antar rantai molekul yang ada pada jenis plastik ini. Contoh plastik dengan jenis *thermosetting* adalah terdiri dari asbak, *fitting* lampu listrik, *steker* listrik, peralatan fotografi, dan radio. Oleh karena itu, jenis plastik ini harus diberikan perlakuan yang khusus pada saat ingin di daur ulang dan dimanfaatkan kembali.

Botol plastik yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE) yang merupakan salah satu dari jenis polyethylene, yaitu polimer yang terdiri dari rantai panjang monomer etilena (IUPAC : etena). Struktur molekul etena yang terbentuk pada struktur C_2H_4 adalah $-CH_2-CH_2-n$. Dua kelompok CH_2 bersatu dengan ikatan ganda yang terjadi sehingga menjadikan struktur yang terjadi semakin kompleks. Polietilena dibentuk melalui proses polimerisasi dari etena. Polietilena umumnya bisa dilarutkan pada temperatur yang cukup tinggi dalam senyawa hidrokarbon aromatik (Wikipedia, 2016 b).

Menurut Suroso (2009), ada dua teknik (metode) pencampuran plastik ke dalam campuran aspal, yaitu :

- a. Cara basah, (*wet process*), yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, *mixer* kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.
- b. Cara kering (*dry process*), yaitu suatu cara dimana plastik dimasukkan ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini bisa lebih mudah dibandingkan cara basah, hanya dengan memasukkan plastik ke dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Namun, untuk cara ini harus diperhatikan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan atau dicampurkan.

Dalam penelitian ini menggunakan cara kering untuk menambahkan plastik ke dalam campuran beton aspal. Dari segi ekonomi, cara kering lebih murah karena waktu pencampuran lebih cepat, tidak membutuhkan peralatan lain untuk mencampur, lebih mudah ditangani dari pada cara basah (Suroso, 2009), dapat meningkatkan sifat pengikatan agregat pada campuran, mengurangi degradasi di jalan, serta mengurangi penggunaan kadar aspal pada campuran (Mir, 2015). Adapun, persentase plastik yang ditambahkan dalam campuran tidak boleh melebihi 17% (Dallas dalam Suroso, 2009) karena akan membuat karakteristiknya jauh dari disyaratkan. Selain itu, menurut Moghaddam, et.al. (2013) kepadatan dan kekakuan campuran akan meningkat jika hanya ditambahkan sedikit persentase plastik (0,2-1% dari berat agregat). Semakin besar kepadatan suatu campuran, maka akan semakin banyak jumlah siklus pembebanan yang dapat ditahan oleh beton aspal (Widodo dan Setiyaningsih, 2013). Hal tersebut dapat meningkatkan umur kelelahan campuran. Tabel 1 memperlihatkan jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik.

Tabel 1. Jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik

Simbol Daur Ulang	Jenis Plastik	Sifat-sifat	Aplikasi kemasan
	Polietilen Tereftalat (PET, PETE)	Bening, kuat, tangguh non permeabel (gas dan uap air)	Soft drink, botol air-salad keju kacang
	High Density Polietilen	Kaku, kuat, tangguh, tahan lembab,	Susu, jus buah, kantong belanja
	Polivinil Klorida (PVC)	Tangguh, kuat, mudah dicampur	Botol jus, pipa air bungkus plastik
	Low Density Polietilen (LDPE)	Mudah diproses, kuat tangguh, fleksibel, mudah disegel, tahan lembab	Kantong makanan beku, botol remas (kecap, saus, madu), bungkus plastik
	Polipropilen (PP)	Kuat, tangguh, tahan panas, minyak bahan kimia, tahan lembab	Peralatan dapur, peralatan microwave, wadah yoghurt, piring dan mangkok sekali pakai
	Polistiren (PS)	Mudah dibentuk dan diproses	Karton telur, styrofoam, mangkuk sekali pakai
	Plastik lain (Polikarbonat atau ABS)	Tergantung dari jenis polimernya	Botol minuman, botol susu bayi, barang-barang elektronik

Pengujian Kuat Tekan (*Unconfined Compressive Strength*) Campuran Beraspal

Kuat tekan (CS) adalah suatu metode untuk mengetahui nilai beban yang dapat diterima dari suatu campuran perkerasan tanpa mengalami kegagalan. Pada konstruksi perkerasan fleksibel kuat tekan merupakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban yang ada secara vertikal. Parameter-parameter hubungan kurva tegangan-regangan merupakan karakteristik dasar dari suatu benda akibat beban jangka pendek. Dalam menentukan hubungan tegangan - regangan campuran aspal beton akibat beban tekan dalam waktu jangka pendek digunakan uji kuat tekan.

Pengujian kuat tekan (*Compressive Strength*) bertujuan untuk membuat simulasi proses pembebanan akibat aktivitas lalu lintas yang melewati lapis perkerasan jalan, seperti beban akibat roda kendaraan. Nilai kuat tekan perlu diketahui untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima oleh suatu lapis perkerasan tanpa mengalami keruntuhan/kegagalan pada lapis perkerasan. Kuat tekan menyatakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban secara vertikal dan monotonik. *Output* atau keluaran dari pengujian kuat tekan yaitu hubungan antara nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada lapis perkerasan.

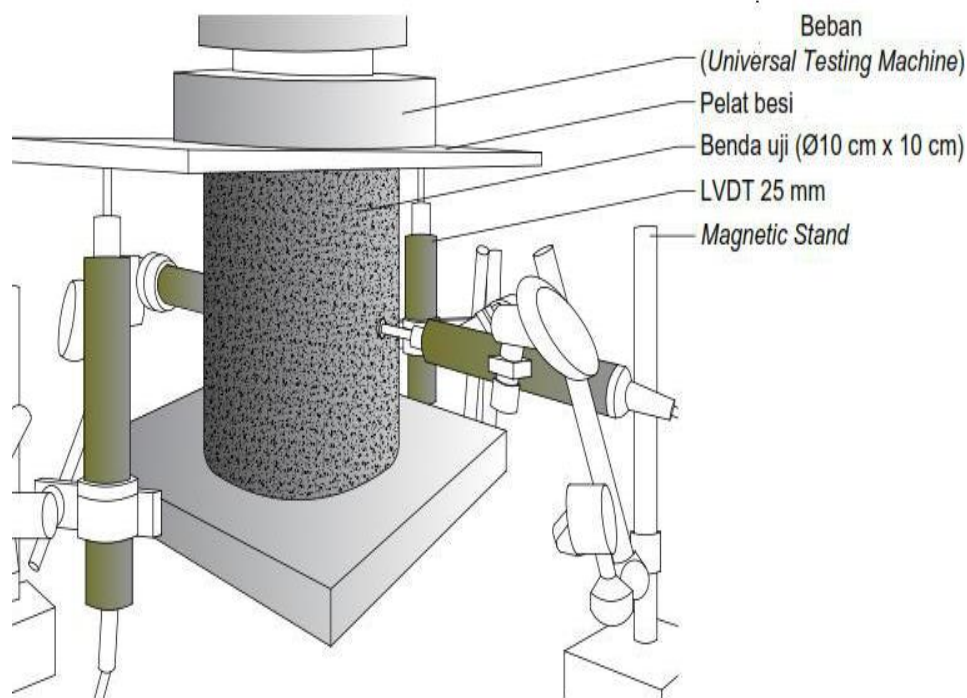
Starodubsky dkk, (1994) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menginvestigasi model keruntuhan benda uji aspal beton, mempelajari perilaku aspal beton di bawah beban sebagai penurunan kekuatan material, menjelaskan kurva tegangan-regangan aspal dibawah batas elastis pada daerah yang menanjak. Penelitian tersebut menggunakan benda uji dengan ukuran diameter 100 mm dan 150 mm dan dipadatkan dengan tekan pada berbagai variasi tekanan statik yang

diberikan yaitu sebesar 6, 12, 18, 24, 36 MPa atau dengan getaran, kandungan bitumen adalah sebesar 4, 5, dan 6%. Agregat yang digunakan adalah agregat basal dan batu kapur (*lime stone/dolomite*).

Perkerasan tidak dirancang dalam kondisi runtuh, tapi dalam kondisi dimana regangan yang terjadi masih kecil (zona elastis). Oleh karena itu, dalam perancangan perkerasan dibutuhkan untuk mengetahui sifat-sifat elastis material perkerasan dan seberapa tingkat tegangan yang masih dapat ditahan oleh perkerasan tanpa menyebabkan retak atau deformasi yang berlebihan pada perkerasan jalan (Hary C., 2015).

Gaus (2015) meneliti tentang karakteristik campuran AC-BC yang menggunakan *Buton Granular Asphalt* (BGA). Variasi kandungan BGA yang digunakan yaitu 0%, 5%, dan 8%. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa campuran dengan kandungan BGA 5% memiliki nilai kuat tekan paling besar di antara ketiga variasi campuran yaitu 4,45 MPa, sedangkan pada campuran dengan kandungan BGA 0% diperoleh 3,53 MPa dan sebesar 3,88 MPa pada campuran dengan kandungan BGA 8%.

Gambar 1 menunjukkan sketsa proses pengujian kuat tekan pada campuran beraspal dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* dan *LVDT Displacement Transducer* yang dihubungkan ke *Data Logger* untuk mendapatkan pembacaan lendutan yang terjadi.



Gambar 1. Sketsa pengujian kuat tekan

Kurva yang dihasilkan oleh aspal beton dapat memperlihatkan pola yang umum yang terlihat pada beton dan batuan. Analisa menunjukkan bahwa kurva tegangan–regangan dapat dibagi dalam lima bagian yang spesifik. (Peng dkk, 2006) menggunakan pengujian kuat tekan pada benda uji berdiameter 100 mm dan tinggi 100 mm yang diambil dari inti bor pada benda uji aspal AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*).

Widajat dkk, (2009) mengatakan untuk mengevaluasi kinerja campuran aspal busa digunakan uji *compressive strength* dengan menggunakan benda uji selinder yang didapatkan dari hasil *core drill* perkerasan *fleksibel*.

ASTM mengeluarkan pedoman dalam pengujian compressive strength dengan kode D1074-09 (Standart test method for compressive strength of bituminous mixtures).

Toughness dan Toughness Index

Toughness adalah kemampuan suatu material dalam menyerap energi selama proses deformasi plastis. Dalam pengujian tarik statis, energi ini diukur dari area yang berada di bagian bawah kurva tegangan – regangan, yang mewakili pekerjaan yang diperlukan untuk mematahkan benda uji. Sifat spesifik ini disebut dengan modulus toughness, yang merupakan jumlah maksimum energi volume satuan bahan dapat menyerap tanpa patah. Jika kurva tegangan – regangan tidak tersedia, modulus toughness (T) dapat ditentukan dengan mengalikan rata – rata tegangan yield dan tegangan Ultimate dari regangan yang gagal (Jastrzabski, 1987). Gambar 2 memperlihatkan diagram hubungan tegangan dan regangan menurut Jastrzabski, 1987.

$$T = \frac{\sigma_y \times \sigma_u}{2} \times \epsilon_f \quad (1)$$

$$T = \frac{2}{3} \sigma_u \times \epsilon_f \quad (2)$$

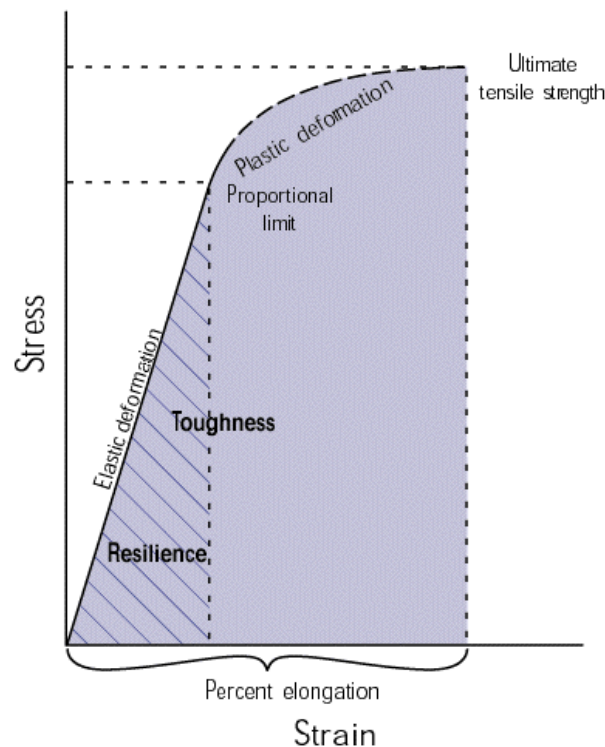
Dimana :

T = Toughness (MPa/mm)

σ_y = Tegangan yield (MPa)

σ_u = Tegangan ultimate (MPa)

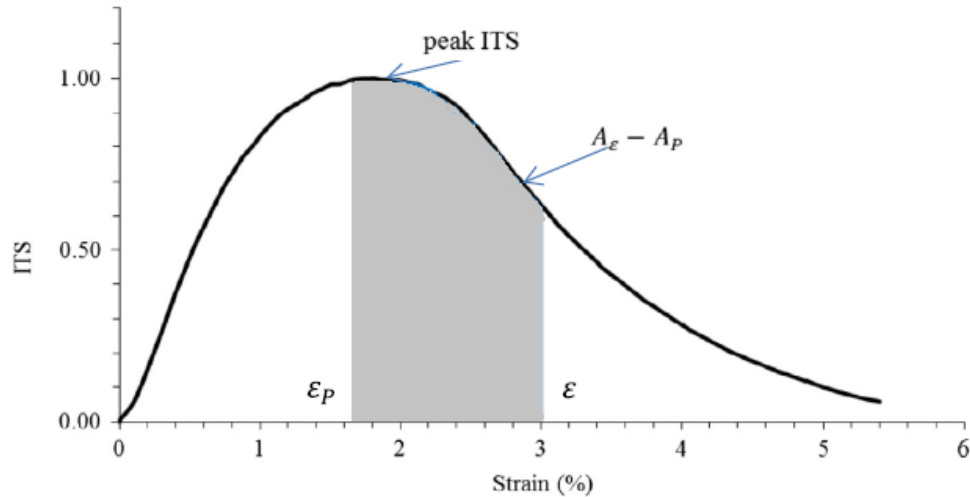
ϵ_f = Regangan putus (mm/mm)



Gambar 2. Diagram tegangan-regangan (Jastrzabski, 1987)

Untuk bahan yang memiliki kurva tegangan – regangan dengan bentuk parabola seperti besi cor dan beton, modulus toughness ditentukan dengan mengalikan dua per tiga dari kekuatan maksimal dari unit regangan saat putus (Jastrzabski, 1987).

Toughness Index merupakan parameter yang menggambarkan karakteristik ketangguhan yaitu kemampuan material untuk menyerap energi dan deformasi tanpa mengalami keruntuhan pada suatu campuran di daerah pasca tegangan *ultimate*, dihitung dari kurva tegangan-regangan (Modarres, 2013). Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara nilai ITS dengan strain. Nilai toughness indeks dapat dihitung dengan persamaan 3.



Gambar 3. Hubungan nilai ITS dan strain

$$TI = \frac{A\varepsilon - A_p}{\varepsilon - \varepsilon_p} \quad (3)$$

Dimana:

- TI = Toughness Indeks
 $A\varepsilon$ = Luasan kurva sampai regangan putus
 A_p = Luasan kurva sampai regangan ultimate
 ε = Regangan putus (mm/mm)
 ε_p = Regangan ultimate (mm/mm)

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan Juni 2019 sampai Bulan September 2019.

Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan/material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material agregat kasar, agregat halus dan abu batu diambil dari sungai Bili-Bili kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Aspal minyak dengan penetrasi 60/70 diperoleh dari salah satu produsen aspal minyak di Indonesia.
3. Parutan limbah plastik (lolos saringan no.4 dan tertahan di saringan no. 50) diperoleh dari hasil parutan botol plastik jenis PET dengan alat pamarut manual.

4. Parutan limbah plastik (lolos saringan no.4 dan tertahan di saringan no. 50) diperoleh dari hasil parutan botol plastik jenis PP dengan alat pamarut manual.

Rancangan Penelitian

Persiapan penelitian yang dilakukan dengan studi pustaka, yaitu untuk mendapatkan gambaran tentang penelitian-penelitian penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambah yang sudah pernah dilakukan sebelumnya. Adapun penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium diawali dengan melakukan persiapan peralatan dan material yang akan digunakan, dilanjutkan dengan penelitian karakteristik bahan berupa agregat, limbah plastik dan aspal.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan sampel (briket) untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO). Dibuak sampel perkerasan aspal dengan bahan pengikat berupa aspal minyak dengan penetrasi 60/70. Pembuatan sampel KAO dilakukan berdasarkan SNI 06-2489-1991 dengan kadar bitumen yang berbeda-beda berdasarkan perhitungan kadar aspal efektif.

Setelah nilai KAO didapatkan, langkah berikutnya adalah pembuatan sampel dengan kandungan limbah plastik yaitu 0,5%, 1,0%, 1,5% 2,0%, 2,5% dan benda uji yang tidak mengandung limbah plastik. Limbah plastik yang digunakan terdiri dari dua jenis yang di kombinasikan yaitu PET dan PP. Perbandingan antara limbah plastik PET dan PP adalah 0, 25, 50, 75 dan 100%). Selanjutnya sampel akan diberikan perlakuan normal sesuai dengan aturan yang terdapat dalam SNI 06-2489-1991.

Setelah benda uji dinyatakan siap yaitu benda uji dalam kondisi KAO dan telah mengandung limbah plastik sebagai bahan tambah, kemudian dilakukan pengujian-pengujian; kuat tekan (*Unconfined Compression Test*), XRF dan XRD (komposisi senyawa dominan) dan pengujian statistik (uji-t) untuk mengetahui karakteristiknya. Metode yang digunakan adalah penelitian di laboratorium, dengan mengacu pada :

- a. Standar Nasional Indonesia (SNI),
- b. American Association for Testing and Material (ASTM),
- c. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)
- d. Strategic Higway Research Program (SHRP-A-383)

Jumlah Benda Uji

Kadar limbah plastik yang digunakan yaitu sebesar 0,0%, 0,5%, 1,0%, 1,5% 2,0% dan 2,5%. Persentase kadar limbah plastik yang digunakan berdasarkan dari berat total agregat dalam satu campuran 1200 gram. Adapun kadar bitumen dalam campuran yaitu didapatkan dari proporsi agregat gabungan dan kadar bitumen yang digunakan berdasarkan dari berat total campuran, sesuai persyaratan spesifikasi 2010 revisi 3. Jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk mencari kadar aspal optimum adalah sebesar 30 buah yang ditunjukkan pada Tabel 2 sedangkan Tabel 3 memperlihatkan jumlah benda uji untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC yang menggunakan limbah plastik jenis PET dan PP yang di kombinasikan sebagai bahan tambah dari berat total agregat.

Tabel 2. Jumlah benda uji penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal (%)	Jumlah benda uji (buah)	Standar/metode
5,0	5	SNI 06-2489-1991 Tentang Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Metode Marshall
5,5	5	
6,0	5	
6,5	5	
7,0	5	
7,5	5	
Jumlah	30	

Tabel 3. Jumlah benda uji (dalam kondisi KAO) kombinasi limbah plastik PET dan PP

No	Pengujian	Kombinasi limbah plastik PET dan PP (0 : 100%) (%)						Jumlah (buah)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
1	UCS	5	5	5	5	5	5	30
2	XRF dan XRD	5	5	5	5	5	5	30
Jumlah								60
No	Pengujian	Kombinasi limbah plastik PET dan PP (100 : 0%) (%)						Jumlah (buah)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
1	UCS	5	5	5	5	5	5	30
2	XRF dan XRD	5	5	5	5	5	5	30
Jumlah								60
No	Pengujian	Kombinasi limbah plastik PET dan PP (25 : 75%) (%)						Jumlah (buah)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
1	UCS	5	5	5	5	5	5	30
2	XRF dan XRD	5	5	5	5	5	5	30
Jumlah								60
No	Pengujian	Kombinasi limbah plastik PET dan PP (75 : 25%) (%)						Jumlah (buah)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
1	UCS	5	5	5	5	5	5	30
2	XRF dan XRD	5	5	5	5	5	5	30
Jumlah								60
No	Pengujian	Kombinasi limbah plastik PET dan PP (50 : 50%) (%)						Jumlah (buah)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
1	UCS	5	5	5	5	5	5	30
2	XRF dan XRD	5	5	5	5	5	5	30
Jumlah								60

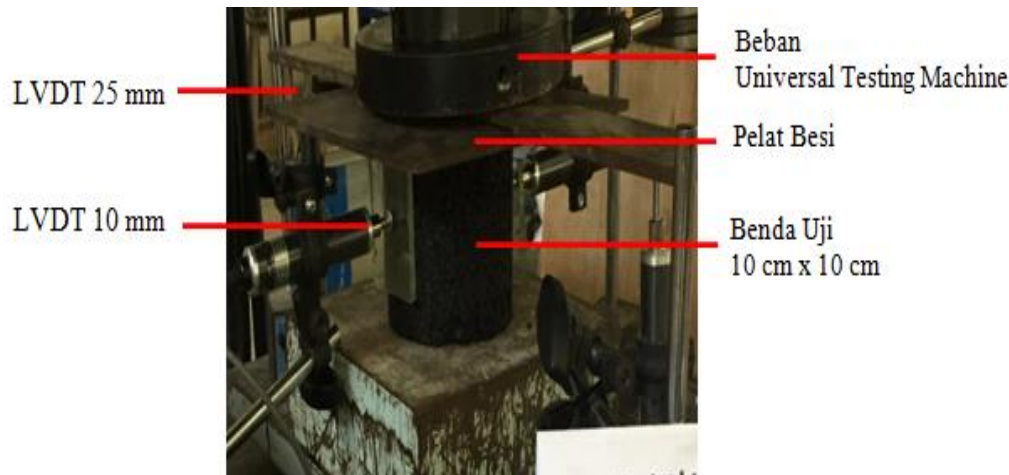
Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik PET dan PP sebagai bahan tambah adalah sebanyak 300 buah.

Pengujian Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compressive Strength)

Pengujian kuat tekan akan memperlihatkan keruntuhan/ keretakan yang terjadi setelah mengalami tegangan maksimum pada benda uji. Selain itu, benda uji juga akan mengalami perubahan panjang, yang dapat diketahui berdasarkan pembacaan nilai lendutan dari LVDT yang dipasang dan telah terhubung dengan *data logger*.

Standar pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 03-6758-2002 yang mengadopsi ASTM D1074-09. Sensor *Linear Variable Displacement Transducers* (LVDT) adalah suatu sensor yang bekerja berdasarkan prinsip trafo diferensial dengan gandengan variabel antara gandengan variabel antara kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada aplikasinya LVDT dapat digunakan sebagai sensor jarak, sensor sudut, dan sensor mekanik lainnya. Suatu LVDT pada dasarnya terdiri dari sebuah kumparan primer, dua buah kumparan sekunder, dan inti dari bahan feromagnetik. Kumparan-

kumparan tersebut dililitkan pada suatu selongsong, sedangkan inti besi ditempatkan didalam rongga selongsong tersebut. Selongsong ini terbuat dari bahan non-magnetik. Kumparan primer dililitkan ditengah selongsong, sedangkan kedua kumparan sekunder dililitkan disetiap sisi kumparan primer. Kedua kumparan sekunder ini dihubungkan seri secara berlawanan dengan jumlah lilitan yang sama.



Gambar 4. Pengujian kuat tekan

Gambar 4 menunjukkan sketsa proses pengujian kuat tekan pada campuran beraspal dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* dan LVDT yang dihubungkan ke *data logger* untuk mendapatkan pembacaan lendutan yang terjadi.

HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah :

1. Pemanfaatan limbah plastik jenis PET (Polyethylene Terephthalate) dan PP (Polypropylene) yang di kombinasikan sebagai bahan tambah dalam campuran AC-WC.
2. Mengetahui besarnya kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi.
3. Merumuskan model hubungan antara nilai kuat tekan dengan kadar limbah plastik jenis PET dan limbah plastik jenis PP yang di kombinasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D1074-09 Standard Test Method for Compressive Strength of Bituminous Mixtures.
- Gaus A., Tjaronge M.W., Ali N., & Djamaluddin R. (2015) **Compressive strength of asphalt concrete binder corse (AC-BC) mixture using Buton Granular Asphalt (BGA)**. *Procedia Engineering, The 5th International Confrence of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)*, 125: 657-662.
- Hermadi M., Sjahdanulirwan M., 2008. Usulan spesifikasi campuran beraspal panas asbuton Lawele untuk perkerasan jalan. *Jurnal jalan– jembatan*, Vol. 25 No. 3, hal. 327 - 349
- Jastrzebski, Zbigniew D, 2004. *The Nature and Properties of Engineering Materials*, John Willey & Sons Inc. New York.
- Mir, Anzar Hamid. 2015. *Use of Plastic Waste in Pavement Construction: An Example of Creative Waste Management*. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN).
- Moghaddam Taher Baghaee, et.al. 2015. *Optimization of Asphalt and Modifier Contents for Polyethylene Terephthalate Modified Asphalt Mixtures Using Response Surface Methodology*. Measurement, Elsevier.

- Moghaddam, Taher Baghaee, et.al. 2012. Dynamic Properties of Stone Mastic Asphalt Mixtures Containing Waste Plastic Bottles. *Construction and Building Materials*, Elsevier. 34: 236-242.
- Moghaddam, Taher Baghaee, et.al. 2013. Utilization of Waste Plastic Bottles in Asphalt Mixture. *Journal of Engineering Science and Technology*. 8: 264-271.
- Nurminah, Mimi. 2002. Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas serta Pengaruhnya terhadap Barang yang Dikemas, Fakultas Pertanian, Jurusan Tekonologi Pertanian, Universitas Sumatera Utara, (Online), (<http://library.usu.ac.id/download/fp/fp-mimi.pdf> diakses 21 Agustus 2016).
- SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Starodubsky S., Blechman I., Livneh M., 1994. Stress-strain relationship for asphalt concrete in compression. *Material and structures*, 27, hal. 474 - 482.
- Suroso, Tjitjik Wasiah. 2009. Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Poly Ethilen) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. *Puslitbang Jalan dan Jembatan*.
- Widajat D., Sjahdanulirwan M., 2009. Kinerja daur ulang campuran dingin dengan aspal busa pada lalu lintas berat. *Jurnal jalan – jembatan*, vol. 26, No. 3. Hal 256 – 265.
- Widodo, Sri & Setyaningsih, Ika. 2013. Modulus Elastisitas dan Umur Perkerasan Jalan Beton Aspal sebagai Fungsi Kepadatan. *Eco Rekayasa*.
- Wikipedia. 2016 a. Plastik, (Online), (<https://id.wikipedia.org/wiki/Plastik> diakses pada 18 Agustus 2016).

PENGARUH LIMBAH PLASTIK PET (*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*) TERHADAP KEMAMPUAN CAMPURAN AC-WC UNTUK MENYERAP ENERGI SELAMA DEFORMASI PLASTIS

Albert Meraudje¹, M. Isran Ramli², Mubassirang Pasra³ dan A. Arwin Amiruddin⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: alberthmerauje@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: muhisran@yahoo.com

³ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: mubapasra@gmail.com

⁴ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: a.arwinamiruddin@yahoo.com

ABSTRAK

Bertambahnya beban lalu lintas baik dari segi jumlah dan beban sumbu serta ditambah dengan pengaruh lingkungan dimana Indonesia beriklim tropis menjadi alasan banyak ditemukannya kerusakan dini dari perkerasan jalan. Berbagai macam modifikasi untuk meningkatkan mutu perkerasan jalan terus dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu bahan tambah yang umum digunakan adalah polimer. Plastik mengandung polimer yang bersifat *plastomer*. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan besaran kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi (J/m^3) campuran AC-WC yang mengandung kadar limbah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*). Penelitian ini berbentuk eksperimental di laboratorium. Kadar aspal yang digunakan adalah 5,0, 5,5, 6,0, 6,5, 7,0 dan 7,5%. Campuran yang dibuat menggunakan limbah plastik PET dengan kadar 0,0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 dan 2,5% dari berat total agregat untuk semua masing-masing variasi kadar aspal. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah mengetahui besarnya kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi, merumuskan model hubungan antara nilai stabilitas dan nilai kuat tarik tidak langsung dengan kadar limbah plastik jenis PET.

Kata kunci: beban lalu lintas, limbah plastik PET (Polyethylene Terephthalate), energi, deformasi plastis

PENDAHULUAN

Pada pembangunan sarana transportasi jalan raya di Indonesia saat ini untuk perkerasan masih didominasi oleh penggunaan aspal. Jenis aspal yang paling banyak digunakan untuk perkerasan jalan raya adalah aspal yang berasal dari destilasi minyak bumi, yang kemudian dikenal dengan sebutan aspal minyak.

Indonesia memiliki aspal alam dikenal dengan nama Asbuton, dinamakan demikian karena lokasi aspal berada di pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Kadar bitumen dalam Asbuton bervariasi dari 10-40%, bahkan pada beberapa lokasi dijumpai dengan kadar bitumen 90% yang dapat dijumpai pada daerah Kabungka dan Lawele. Asbuton memiliki deposit cukup besar sekitar 600 juta ton (Affandi, 2006). Deposit Asbuton diperkirakan setara dengan 24 juta aspal minyak (Suryana, 2003; Tjaronge & Irmawaty, 2012).

Pemerintah terus mendorong penggunaan Asbuton untuk dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan raya. Pada tahun 2006, melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 35/PRT/M/2006 tentang Peningkatan Pemanfaatan Aspal Buton untuk Pemeliharaan dan Pembangunan Jalan meyakinkan bahwa setelah melalui uji coba lapangan dan laboratorium, pemanfaatan Asbuton

dalam pemeliharaan dan pembangunan jalan cukup layak secara teknis dan ekonomi, dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan jalan.

Beberapa ahli perkerasan jalan telah melakukan penelitian pemanfaatan Asbuton jenis Lawele tipe 20/25 sebagai bahan substitusi aspal penetrasi 60/70 (Affandi dkk., 2006; Hermadi dkk., 2006; Suaryana dkk., 2008). Salah satu jenis perkerasan jalan raya yang sedang dikembangkan sebagai lapis aus (*wearing course*) adalah aspal porus (*Porous Asphalt*). Campuran perkerasan aspal ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) yang didominasi oleh agregat kasar sebanyak 70%-85% dan agregat halus sebanyak 30%-15% (Tjaronge dkk., 2013) untuk mendapatkan pori yang cukup tinggi sehingga diperoleh tingkat permeabilitas campuran yang tinggi, dimana permeabilitas difungsikan untuk *subsurface drain* (Ali dkk., 2013).

Aspal beton (AC) atau lapis aspal beton (laston) salah satu jenis perkerasan fleksibel yang banyak diterapkan di Indonesia. Laston yang dikenal di Indonesia terdiri dari *asphalt concrete wearing course* (AC-WC), *asphalt concrete binder course* (AC-BC), dan *asphalt concrete base* (AC base). Campuran aspal AC-BC merupakan lapis pengikat dengan gradasi yang lebih kasar dari AC-WC tetapi lebih halus daripada AC base. Laston biasanya digunakan pada daerah yang mengalami deformasi tinggi seperti daerah pegunungan, gerbang tol atau pada daerah dekat lampu lalu lintas dan daerah dengan lalu lintas berat.

Suatu lapis perkerasan jalan diharapkan mampu memenuhi sifat stabilitas, yaitu kemampuan perkerasan aspal menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang tetap. Namun kenyataannya, pada masa pelayanannya, perkerasan jalan sering mengalami kerusakan atau tidak mencapai umur layanan jalan. Di Jalan Lintas Timur Sumatera terjadi penurunan dalam pelayanan usia jalan sebesar 25,94% (Sentosa, 2012), jalan nasional di Aceh terjadi penurunan umur layanan sebesar 4,3 tahun dari umur rencana 10 tahun (Syafriana, 2015), di Jalan Pantura Jawa hanya memiliki umur jalan selama 1,5 hingga 2 tahun dari seharusnya 10 tahun (Antara News, 2008). Selain itu, menurut data informasi statistik PU dan Perumahan Rakyat (2015) jalan di Indonesia dalam kondisi baik hanya sebesar 62%, sedangkan kondisi jalan yang lain dalam keadaan rusak ringan ataupun rusak berat.

Salah satu penyebab kerusakan atau tidak mencapainya umur layanan jalan tersebut adalah bertambahnya tingkat kepadatan lalu lintas. Menurut Suparyanto dalam Latifa (2011), pengulangan beban lalu lintas sebagai akibat dari kepadatan lalu lintas menyebabkan terjadinya akumulasi deformasi permanen pada campuran beton aspal sehingga mengalami penurunan kinerja jalan. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan bahan tambah (*additive*) ke dalam campuran.

Saat ini pemakaian bahan tambah kedalam campuran beton aspal telah banyak digunakan baik di dalam maupun luar negeri, utamanya penggunaan material sisa/limbah yang banyak menjadi permasalahan lingkungan, seperti limbah plastik. Plastik merupakan jenis polimer yang tidak dapat terurai sendiri, yang membutuhkan waktu ratusan bahkan ribuan tahun untuk terurai kembali ke bumi. Limbah plastik telah menjadi sesuatu hal yang menakutkan di setiap belahan bumi. Tidak saja di negara-negara berkembang tetapi juga di negara-negara maju seperti Amerika, Inggris dan Jepang. Menurut *Indonesia Solid Waste Association* (2013), penggunaan material plastik di negara-negara Eropa Barat mencapai 60kg/orang/tahun, di Amerika Serikat mencapai 80kg/orang/tahun, dan di Inggris memproduksi sedikitnya 3 juta ton sampah plastik setiap tahun. Terdapat 57% limbah yang ditemukan di pantai berupa limbah plastik dan sebanyak 46 ribu limbah plastik mengapung di setiap mil persegi samudera bahkan kedalaman limbah plastik di samudera pasifik sudah mencapai hampir 100 meter.

Di Indonesia, menurut *Indonesia Solid Waste Association* (2013), jenis limbah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5,4 juta ton per tahun dan masuk dalam peringkat kedua di dunia sebagai penghasil limbah plastik kelaut setelah Tiongkok. Kategori limbah plastik yang terbesar berasal dari kemasan seperti botol minuman dan kantong plastik. Limbah plastik ini termasuk jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*), dimana plastik yang tergolong jenis ini bersifat *thermoplast*, dapat dicetak berulang-ulang (mudah didaur ulang), dan memiliki densitas antara 0,910 – 0,940 g/cm³.

Selain itu, jenis plastik ini bersifat sangat fleksibel, mempunyai daya proteksi yang baik terhadap uap air, namun kurang baik terhadap gas lainnya seperti oksigen (Billmeyer, 1984).

Sampai saat ini belum ada pengelolaan khusus limbah plastik di tingkat kota. Namun, pemulung memiliki peran yang sangat penting dalam mata rantai daur ulang limbah plastik yang dilakukan secara informal. Selain itu, ilmuwan juga terus dipicu untuk bisa mencari alternatif lain bahan pengganti plastik konvensional ataupun penggunaan limbah plastik dalam dunia konstruksi khususnya konstruksi jalan. Berbagai penelitian baik di dalam maupun luar negeri yang meneliti pemanfaatan limbah plastik dalam campuran aspal telah dilakukan.

Di Afrika, Sojobi *et al* (2016) meneliti tentang efek daur ulang botol plastik (PET) pada beton aspal dan diperoleh bahwa karakteristik *Marshall* meningkat seiring penambahan PET. Di India, Rajput dan Yadav (2016) menyelidiki penggunaan limbah plastik dalam proporsi yang berbeda pada campuran aspal dan diperoleh bahwa stabilitas *Marshall* berada dalam keadaan maksimum ketika 12% limbah plastik ditambahkan kedalam campuran. Di Portugal, Fernandes *et al* (2015) mengembangkan suatu inovasi bitumen penggunaan limbah plastik dan oli motor yang hasilnya bahwa penambahan limbah plastik meningkatkan beberapa karakteristik penting campuran aspal. Di Argentina, Angelone *et al* (2015) menyelidiki suatu pendekatan ramah lingkungan terhadap pengaruh limbah plastik pada campuran aspal yang menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik dapat menaikkan karakteristik campuran. Di Mesir, Mohammed *et al* (2014) mengevaluasi penambahan beberapa jenis polimer pada beton aspal dan dihasilkan bahwa penambahan polimer dalam keadaan optimum meningkatkan viskositas kinematik, stabilitas, *indirect tensile strength* dan menurunkan nilai penetrasi. Di Arab Saudi, Musa & Haron (2014) juga meneliti tentang limbah plastik jenis LDPE dan memperoleh hasil bahwa terjadi peningkatan karakteristik campuran aspal ketika ditambahkan limbah plastik LDPE dimana peningkatan signifikan terjadi pada stabilitas. Di Malaysia juga telah dilakukan penelitian oleh Soltani *et al* (2015) yang diperoleh hasil bahwa salah satu variabel yang mempengaruhi umur kelelahan dari campuran aspal adalah penggunaan plastik.

Di Indonesia, Arianti dkk (2015) menyelidiki kadar aspal optimum (KAO) serta karakteristiknya pada campuran aspal beton dengan atau tanpa menggunakan limbah plastik PET. Hasil penelitian ini menunjukkan seiring dengan meningkatnya kadar PET maka akan meningkatkan stabilitas, VMA, VFA, *flow*, dan MQ, serta menurunkan VIM. Israil dkk (2012) meneliti pengaruh penambahan serpihan plastik terhadap karakteristik campuran aspal beton dan diperoleh hasil bahwa terjadi peningkatan pada karakteristik *Marshall* terutama stabilitas dan juga penelitian dilakukan oleh Amiruddin dkk (2012) yang memperoleh hasil bahwa dengan penambahan polimer kedalam campuran aspal akan meningkatkan nilai stabilitas yang mengindikasikan bahwa *interlocking* antara gregat semakin baik.

Hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan perkerasan jalan adalah keawetan (*durability*). Sebagaimana diketahui bahwa aspal peka terhadap temperatur, karena aspal bersifat termoplastis, berarti akan menjadi keras atau kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah (Erwin, 2012). Mutu suatu campuran aspal dalam pelaksanaan konstruksi sebagai bahan perkerasan jalan dilapangan dipengaruhi beberapa faktor, salah satunya adalah faktor temperatur.

Dengan menyadari bahwa suhu atau temperatur sangat mempengaruhi kualitas campuran beraspal panas, maka sangat penting untuk memperhatikan dan menjaga seluruh proses hingga dapat menghasilkan konstruksi perkerasan jalan sesuai yang diharapkan. Nilai modulus elastisitas lapisan akan menurun dengan meningkatnya temperatur. Kecenderungan ini disebabkan oleh sifat visco-elastic dari material aspal yang kemudian mempengaruhi karakteristik dari lapisan beraspal (Kosasih DJ & Siegfried, 2006).

Hasil pengkajian menunjukkan penambahan bitumen Asbuton bisa menjadikan aspal lebih keras, lebih tahan terhadap temperature tinggi yang ditunjukkan dengan nilai titik lembeknya yang meningkat serta menjadi lebih kuat terhadap perubahan temperature (Affandi, 2006). Selain itu hasil pengkajian juga telah dilakukan dengan penambahan limbah plastik menjadikan campuran beraspal lebih kuat dan mempunyai durabilitas yang tinggi (Maal dkk., 2017).

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu yang telah dikemukakan di atas maka dapat dikatakan bahwa dengan pemanfaatan limbah plastik ke dalam campuran aspal akan menaikkan kinerja campuran khususnya menaikkan stabilitas dan menjadi salah satu solusi dari permasalahan limbah plastik. Selain itu, dengan menggunakan Asbuton sebagai bahan pengikat dan limbah plastik sebagai bahan tambah akan dilihat bagaimana kinerja yang terjadi akibat perpaduan antara limbah plastik dan Asbuton. Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik PET sebagai bahan tambah.
2. Merumuskan model hubungan hubungan antara nilai kuat tarik tidak langsung (tegangan) campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik PET sebagai bahan tambah.
3. Menemukan kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi.

TINJAUAN PUSTAKA

Nilai Strategis Aspal Alam Buton dan Isu Pemanfaatan Limbah Plastik dalam Campuran Aspal

Perkembangan konstruksi jalan yang digunakan oleh seluruh dunia diawali oleh temuan Thomas Telford (1757-1834) dan John London Mac Adam (1756-1836). Konstruksi ini diberi lapisan aus yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya dan seluruh dunia menggunakan teknologi ini sebagai konstruksi jalan. Perkembangan selanjutnya adalah konstruksi perkerasan jalan menggunakan aspal panas (*hot-mix*). Jenis perkerasan ini dinamakan perkerasan lentur.

Di Indonesia, kedua jenis perkerasan ini telah digunakan pada hampir seluruh proyek-proyek jalan nasional, provinsi dan kabupaten. Masalah yang dihadapi Direktorat Jenderal Bina Marga Indonesia adalah kerusakan dini pada konstruksi-konstruksi jalan. Baik yang terjadi pada perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Hampir 40 % jaringan jalan yang ada di Indonesia mengalami kerusakan ringan hingga kerusakan berat. Jaringan jalan nasional pada tahun 2002 mencapai 330.495 km. Secara keseluruhan jalan yang rusak meliputi jalan negara sekitar 12% (3.224 km), jalan provinsi sekitar 34% (12.636 km), sementara jalan kabupaten yang rusak mencapai 47% (113.244 km) (Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2005).

Kekurangan perkerasan beton dibandingkan perkerasan beraspal adalah biaya awal dan perbaikan konstruksi yang cukup tinggi, butuh waktu sampai cukup kuat untuk dilewati, tidak sesuai bagi konstruksi badan jalan yang labil atau masih terjadi bongkar pasang utilitas, kurang nyaman (kekasaran, sambungan) dan silau akibat warna perkerasan yang cenderung putih (Sjahdanulirwan, 2009).

Selain masalah kerusakan struktur jalan, masalah limbah plastik juga muncul. Kedua masalah ini merupakan suatu tantangan bagi peneliti untuk melakukan penelitian yang bersifat aplikatif agar masalah tersebut dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penggunaan limbah plastik dapat dijadikan bahan tambah dalam campuran beraspal, khususnya pada campuran laston lapis aus (AC-WC).

Penggunaan bahan tambah dalam campuran beton aspal menjadi suatu pilihan. Ada banyak hal ketika diputuskan menggunakan bahan tambah dalam campuran aspal, salah satunya untuk meningkatkan kinerja campuran terutama dalam hal kinerja campuran beraspal dan hal ketahanan beton aspal menahan pembebanan berulang di jalan khususnya dapat meningkatkan kekuatan tarik tidak langsung. Adapun dalam penelitian ini menggunakan limbah plastik (polimer mutu rendah) sebagai bahan tambah.

Menurut Suroso (2009), penambahan limbah plastik ke dalam campuran aspal telah banyak dilakukan baik di dalam maupun luar negeri dan telah dibuktikan dapat meningkatkan mutu campuran beraspal. Moghaddam *et al* (2013) menyatakan bahwa terjadi peningkatan stabilitas dari campuran aspal dengan menambahkan botol plastik sebesar 0-1% dari berat agregat ke dalam campuran. Penambahan limbah botol plastik tersebut meningkatkan ketahanan leleh campuran dibandingkan dengan campuran aspal biasa. Arianti dkk (2015) memperoleh hasil penelitian bahwa

seiring dengan meningkatnya kadar botol plastik dalam campuran aspal maka akan meningkatkan stabilitas, VMA, VFA, *flow*, dan MQ, serta menurunkan VIM. Kadar botol plastik yang terbaik untuk karakteristik *Marshall* adalah 2%. Israil dkk (2012) memperoleh hasil bahwa penambahan serpih sampah plastik ke dalam campuran beton aspal AC-WC dapat meningkatkan stabilitas campuran, nilai *Marshall Quotient* (MQ), VFB (*Void Filled with Bitumen*), serta menurunkan nilai *flow*, VIM (*Void in Mix*), VMA (*Void in Mineral Agregat*).

Plastik adalah suatu polimer (material sintetik buatan manusia) yang mudah dibentuk, dicetak, mempunyai sifat unik dan luar biasa. (Mujiarto, 2005). Plastik merupakan material yang baru secara luas dikembangkan dan digunakan sejak abad ke-20 yang berkembang secara luar biasa penggunaannya dari hanya beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, menjadi 150 juta ton/tahun pada tahun 1990-an dan 220 juta ton/tahun pada tahun 2005 (Wikipedia, 2016 a).

Selain itu, pada tanggal 5 Agustus 2017 Kementerian PUPR telah mengeluarkan surat edaran nomor SP.BIRKOM/VIII/2017/383 tentang inovasi teknologi dukung percepatan pembangunan infrastruktur PUPR. Salah satu isi dari surat edaran tersebut adalah penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambah dalam campuran beraspal. Belum lama ini, Kementerian PUPR juga telah menggelar uji coba aspal plastik sepanjang 700 meter yang bertempat di Universitas Udayana, Bali. Pemanfaatan limbah plastik sebagai aspal tersebut merupakan salah satu solusi bagi permasalahan sampah plastik, dengan kebutuhan limbah plastik sebanyak 2,5 hingga 5 ton untuk setiap 1 kilometer jalan dengan lebar 7 meter.

Selain masalah-masalah kerusakan struktur jalan dan masalah limbah plastik, masalah kelangkaan aspal juga selalu muncul. Dimana kebutuhan aspal bangsa Indonesia diproyeksi mencapai angka 1.2 juta ton pertahun, hanya mampu disediakan oleh PT. Pertamina 600 ribu ton, sehingga kekurangannya adalah separuhnya yaitu sebesar 600 ribu ton (Suaryana, 2008).

Muncul pemikiran penggunaan aspal Buton Indonesia secara maksimal hingga saat ini diperkuat oleh surat edaran Direktorat Jenderal Bina Marga yang mewajibkan seluruh paket-paket proyek *hot-mix* agar menggunakan Asbuton butir sebagai bahan substitusi dalam campuran *hot-mix*. Namun setelah diterapkan, substitusi ini hanya efektif penggunaannya pada penggunaan 8% terhadap campuran. Sehingga hanya kurang lebih 2,5 % bitumennya yang mampu mensubstitusi aspal minyak.

Aspal Buton merupakan aspal alam yang berada di Indonesia yaitu di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Asbuton atau Aspal batu Buton ini pada umumnya berbentuk butiran yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses terbentuknya Asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang *porous* (Dept. PU, 2006). Diperkirakan deposit Asbuton sekitar 60.991.554,38 ton atau setara dengan 24.352.833,07 barel minyak (Suryana, 2003 ; Tjaronge & Irmawaty, 2013).

Aspal Buton (Asbuton)

Aspal batu buton atau biasa disebut asbuton ditemukan tahun 1924 di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton mulai digunakan dalam pengaspalan jalan sejak tahun 1926. Berdasarkan data yang ada, asbuton memiliki deposit sekitar 677 juta ton atau setara dengan 170 juta ton aspal minyak. Asbuton merupakan deposit aspal alam terbesar di dunia.

Kebutuhan aspal bangsa Indonesia diproyeksi mencapai angka 1.2 juta ton pertahun, hanya mampu disediakan oleh PT. Pertamina 600 ribu ton, sehingga kekurangannya adalah separuhnya yaitu sebesar 600 ribu ton (Suaryana, 2008).

Asbuton berbentuk padat dan terbentuk secara alami akibat proses geologi. Dalam Buku 1, Pemanfaatan Asbuton (Pedoman Konstruksi dan Bangunan) No : 001 – 01/BM/2006 oleh Departemen Pekerjaan Umum (Indonesia) menjelaskan bahwa Asbuton butir adalah hasil pengolahan dari Asbuton berbentuk padat yang di pecah dengan alat pemecah batu (*crusher*) atau alat pemecah lainnya yang sesuai sehingga memiliki ukuran butir tertentu. Nilai penetrasi dari aspal alam Buton (Asbuton) ini kurang lebih 10. Jika dibandingkan dengan aspal minyak, penetrasi aspal

minyak lebih besar dibanding Asbuton. Hal yang paling mendasar mengenai perbedaan dari aspal minyak dengan aspal alam Buton (Asbuton) adalah Asbuton lebih kaku sedangkan aspal minyak lebih daktail.

Namun demikian, sesuai dengan Renstra Departemen Pekerjaan Umum 2005-2009, Asbuton dipatok sebanyak 556.000 ton untuk digunakan pada pemeliharaan jalan nasional. Disamping itu, sekitar 550.000 km jalan-jalan provinsi, kabupaten, dan kota serta jalan lainnya berpeluang untuk menerapkan Asbuton dalam lapisan aspalnya. Gambar 1 memperlihatkan deposit Aspal Buton (Asbuton) yang terletak di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara-Indonesia. Deposit Asbuton ini tersebar di beberapa kecamatan di Pulau Buton diantaranya Enreke sebesar 170 juta ton, Lawele sebesar 210 juta ton, Siantopina dan Ulala sebesar 220 juta ton, Kabungka sebesar 60 juta ton dan Banabungi.



Gambar 1. Lokasi deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara

Eksplorasi besar-besaran yang telah dilakukan oleh Alberta Research Council di daerah Lawele (Supriyadi S., Alberta Research Council, 1989 dalam buku 1, pemanfaatan Asbuton Dirjen Bina Marga, 2006) pada sejumlah 132 titik pengeboran diperoleh hasil dengan ekspektasi bahwa ketebalan Asbuton yang terdapat di daerah Lawele berkisar antara 9 meter sampai 45 meter atau ketebalan rata-rata yang ada yaitu sebesar 29,88 meter dengan tebal tanah penutup pada daerah Lawele tersebut yang berkisar antara 0 meter sampai 17 meter atau rata-rata tebal tanah penutup yang ada yaitu sebesar 3,47 meter dengan luas daerah pengaruh Asbuton pada daerah Pulau Buton secara keseluruhan khususnya pada daerah Lawele sebesar 1.527.343,5 m².

Kurniadji, 1993 dan banyak peneliti-peneliti lainnya telah meneliti mengenai Asbuton yang dimuat dalam jurnal Puslitbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006. Permasalahan Asbuton memang sangat kompleks dan menantang banyak peneliti untuk melakukan penelitian tentang pemanfaatan Asbuton ini mengingat Asbuton sangat melimpah dengan deposit penambangan sekitar 300 juta tahun.

Beberapa peneliti telah menyepakati bahwa Asbuton memiliki kinerja yang baik dan mampu mensubstitusi penggunaan aspal minyak serta mampu meningkatkan kinerja campuran beraspal seperti campuran laston lapis aus, laston lapis antara, lataston lapis aus, lataston lapis antara, aspal porus dan bahkan dapat digunakan sebagai bahan penstabilisasi tanah lunak. Tabel 1 memperlihatkan perkiraan deposit Aspal Buton (Asbuton) dari 7 lokasi di pulau Buton diantaranya Batuawu, Mempenga, Langunturu, Kabukubuku, Wangkaburu, Siantopina dan Ulala serta Tabel 2 dan Tabel 3 masing-masing memperlihatkan tipikal sifat-sifat fisik bitumen Aspal Buton (Asbuton) diantaranya penetrasi, titik lembek, titik nyala, kadar aspal, penurunan berat, kelarutan dalam C₂HCl₃, daktilitas dan viskositas yang dikeluarkan oleh Alberta Research Council, (1989) dalam Suaryana, 2008 dan sifat-sifat fisik bitumen Asbuton yang dikeluarkan oleh Puslitbang Jalan dan

Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006. Sifat-sifat fisik bitumen Asbuton yang telah disebutkan diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran beraspal.

Tabel 1. Perkiraan deposit Asbuton (Kurniadji, 1993)

No.	Lokasi	Luas (m ²)	Tebal (m)	Kadar Aspal (%)	Deposit (Juta Ton)
1	Batuawu	550.000	76,1	20 – 40	60,69
2	Mempenga	280.000	72	20 – 30	29,232
3	Langunturu	420.000	61	20 – 25	37,149
4	Kabukubuku	570.000	50	20 – 35	41,325
5	Wangkaburu	460.000	62,8	20 – 35	41,888
6	Siantopina	5.000.000	25	Belum	181,25
7	Ulala	1.500.000	21,65	Belum	47,089

Tabel 2. Tipikal sifat-sifat fisik bitumen Asbuton (Suaryana, 2008)

Lokasi	Penetrasi (dmm, 25°C)	Titik Lembek (°C)	Viskositas (135°C, poises)
1. Lawele - I2	75	48	4.0
2. Lawele - G7	150	42	2.8
3. Lawele - E – 13	120	45	4.1
4. Lawele - G17	160	40	3.1
5. Kabungka	22	63	5.1

Terlihat perbedaan yang sangat menonjol yang terjadi pada sifat-sifat fisik bitumen Asbuton antara Asbuton padat dari Kabungka dan Asbuton padat dari Lawele setelah dilakukan beberapa jenis pengujian yaitu pada pengujian kadar aspal, pengujian penetrasi pada 25°C, 100 gr, 5 detik, 0.1 mm, pengujian titik lembek, pengujian daktilitas, pengujian kelarutan dalam C₂HCl₃, pengujian titik nyala baik sebelum TFOT maupun setelah TFOT dan pengujian berat jenis.

Tabel 3. Sifat-sifat fisik bitumen Asbuton (Pusjatan Kementerian PU, 2006)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton padat dari Lawele
Kadar Aspal, %	20	30,08
Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5 detik, 0.1 mm	4	36
Titik Lembek, °C	101	59
Daktilitas, 25°C, 5 cm/menit, cm	<140	>140
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ , %	-	99,6
Titik Nyala, °C	-	198
Berat Jenis	1.046	1,037
Penurunan Berat (TFOT), 163°C, 5 jam	-	0,31
Penetrasi Setelah TFOT, % asli	-	94
Titik Lembek setelah TFOT, °C	-	62
Daktilitas setelah TFOT, cm	-	>140

Tabel 4 memperlihatkan perbandingan sifat-sifat kimia bitumen Aspal Buton (Asbuton) antara Asbuton padat dari daerah Kabungka dan Asbuton padat dari daerah Lawele yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006, dimana parameter yang paling menonjol adalah parameter maltene dan kandungan asphaltene pada Asbuton padat dari daerah Kabungka parameter maltene sebesar 1,5 sedangkan pada Asbuton padat dari daerah Lawele sebesar 2,06 serta kandungan asphaltene pada Asbuton padat dari daerah Kabungka dan Asbuton padat dari daerah Lawele masing-masing sebesar 39,45% dan 46,92%.

Mengingat asphaltene dan maltene merupakan senyawa utama penyusun dari aspal sehingga hal ini merupakan suatu hal yang sangat penting dalam susunan senyawa pada aspal khususnya aspal Buton. Tabel 5 menunjukkan perbandingan komposisi kimia mineral Asbuton antara Asbuton padat dari daerah Kabungka dan Asbuton padat dari daerah Lawele yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006.

Tabel 4. Sifat-sifat kimia bitumen Asbuton (Pusjatan Kementerian PU, 2006)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton Padat dari Lawele
Nitrogen (N), %	29,04	30,08
Acidafins (A1), %	9,33	6,6
Acidafins (A2), %	12,98	8,43
Parafin (P), %	11,23	8,86
Parameter Maltene	1,5	2,06
Nitrogen/Parafin, N/P	2,41	3,28
Kandungan Asphaltene, %	39,45	46,92

Tabel 5. Komposisi kimia mineral Asbuton (Pusjatan Kementerian PU, 2006)

Senyawa	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton Padat dari Lawele
CaCO ₃	86,66	72,9
MgCO ₃	1,43	1,28
CaS	1,11	1,94
H ₂ O	0,36	0,52
SiO ₂	0,99	2,94
Al ₂ O ₃	5,64	17,06
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	1,52	2,31
Residu	0,96	1,05

Plastik dalam Campuran Beraspal

Menurut Suroso (2009), ada dua teknik (metode) pencampuran plastik ke dalam campuran aspal, yaitu :

- Cara basah, (*wet process*), yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, *mixer* kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.

- b. Cara kering (*dry process*), yaitu suatu cara dimana plastik dimasukkan ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini bisa lebih mudah dibandingkan cara basah, hanya dengan memasukkan plastik ke dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Namun, untuk cara ini harus diperhatikan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan atau dicampurkan.

Dalam penelitian ini menggunakan cara kering untuk menambahkan plastik ke dalam campuran beton aspal. Dari segi ekonomi, cara kering lebih murah karena waktu pencampuran lebih cepat, tidak membutuhkan peralatan lain untuk mencampur, lebih mudah ditangani dari pada cara basah (Suroso, 2009), dapat meningkatkan sifat pengikatan agregat pada campuran, mengurangi degradasi di jalan, serta mengurangi penggunaan kadar aspal pada campuran (Mir, 2015). Adapun, persentase plastik yang ditambahkan dalam campuran tidak boleh melebihi 17% (Dallas dalam Suroso, 2009) karena akan membuat karakteristiknya jauh dari disyaratkan. Selain itu, menurut Moghaddam, et.al. (2013) kepadatan dan kekakuan campuran akan meningkat jika hanya ditambahkan sedikit persentase plastik (0,2-1% dari berat agregat). Semakin besar kepadatan suatu campuran, maka akan semakin banyak jumlah siklus pembebanan yang dapat ditahan oleh beton aspal (Widodo dan Setiyaningsih, 2013). Hal tersebut dapat meningkatkan umur kelelahan campuran.

Toughness dan Toughness Index

Toughness adalah kemampuan suatu material dalam menyerap energi selama proses deformasi plastis. Dalam pengujian tarik statis, energi ini diukur dari area yang berada di bagian bawah kurva tegangan – regangan, yang mewakili pekerjaan yang diperlukan untuk mematahkan benda uji. Sifat spesifik ini disebut dengan modulus toughness, yang merupakan jumlah maksimum energi volume satuan bahan dapat menyerap tanpa patah. Jika kurva tegangan – regangan tidak tersedia, modulus toughness (T) dapat ditentukan dengan mengalikan rata – rata tegangan yield dan tegangan Ultimate dari regangan yang gagal (Jastrzabski, 1987). Gambar 4 memperlihatkan diagram hubungan tegangan dan regangan menurut Jastrzabski, 1987.

$$T = \frac{\sigma_y \times \sigma_u}{2} \times \epsilon_f \quad (1)$$

$$T = \frac{2}{3} \sigma_u \times \epsilon_f \quad (2)$$

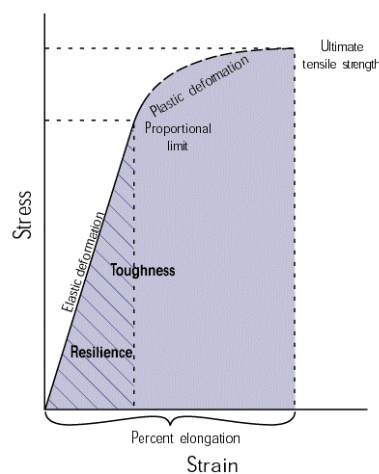
Dimana :

T = Toughness (MPa/mm)

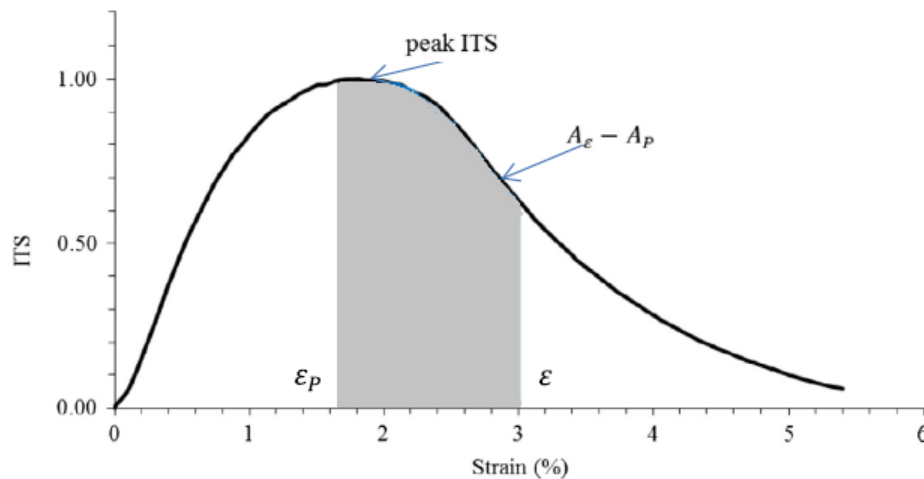
σ_y = Tegangan yield (MPa)

σ_U = Tegangan ultimate (MPa)

ϵ_f = Regangan putus (mm/mm)



Gambar 2. Diagram tegangan-regangan (Jastrzabski, 1987)



Gambar 3. Hubungan nilai ITS dan strain

$$TI = \frac{A_\epsilon - A_p}{\epsilon - \epsilon_p} \quad (3)$$

Dimana:

- TI = Toughness Indeks
- A_ϵ = Luasan kurva sampai regangan putus
- A_p = Luasan kurva sampai regangan ultimate
- ϵ = Regangan putus (mm/mm)
- ϵ_p = Regangan ultimate (mm/mm)

Untuk bahan yang memiliki kurva tegangan – regangan dengan bentuk parabola seperti besi cor dan beton, modulus toughness ditentukan dengan mengalikan dua per tiga dari kekuatan maksimal dari unit regangan saat putus (Jastrzabski, 1987).

Toughness Index merupakan parameter yang menggambarkan karakteristik ketangguhan yaitu kemampuan material untuk menyerap energi dan deformasi tanpa mengalami keruntuhan pada suatu campuran di daerah pasca tegangan *ultimate*, dihitung dari kurva tegangan-regangan (Modarres, 2013). Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara nilai ITS dengan strain. Nilai toughness indeks dapat dihitung dengan persamaan 3.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan Juni 2019 sampai Bulan September 2019.

Rancangan Penelitian

Pembuatan sampel (briket) untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan variasi kadar Asbuton modifikasi berdasarkan hasil perhitungan kadar aspal perkiraan untuk masing-masing variasi kadar limbah plastik yang digunakan (0,0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 dan 2,5%). Dibuat sampel perkerasan aspal dengan bahan pengikat berupa Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55. Pembuatan sampel dilakukan berdasarkan SNI 06-2489-1991 dengan kadar bitumen yang berbeda-beda berdasarkan perhitungan kadar aspal efektif.

Setelah nilai KAO didapatkan untuk masing-masing kadar limbah plastik selanjutnya dibuat benda uji berdasarkan KAO tersebut. Limbah plastik yang digunakan yaitu PET. Selanjutnya sampel akan diberikan perlakuan normal sesuai SNI 06-2489-1991.

Setelah benda uji dinyatakan siap yaitu benda uji dalam kondisi KAO dan telah mengandung limbah plastik sebagai bahan tambah, kemudian dilakukan pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) dan pengujian statistik (uji-t) untuk mengetahui karakteristiknya. Metode yang digunakan adalah penelitian di laboratorium, dengan mengacu pada beberapa aturan yang ada di Indonesia maupun aturan yang ada di luar Indonesia diantaranya : Standar Nasional Indonesia (SNI), *American Association for Testing and Material (ASTM)*, *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, *Strategic Highway Research Program (SHRP-A-383)*

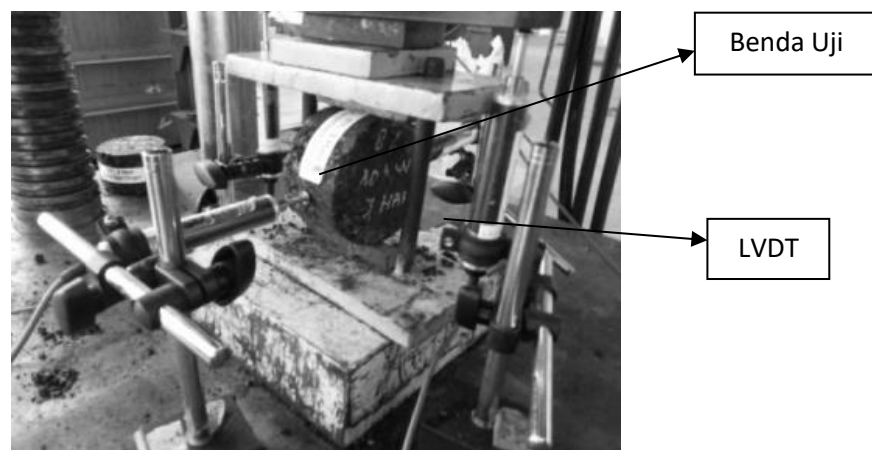
Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan atau material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material agregat kasar, agregat halus dan abu batu diambil dari sungai Bili-Bili kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Aspal minyak dengan penetrasi 60/70 diperoleh dari salah satu produsen aspal minyak di Indonesia.
3. Parutan limbah plastik (lolos saringan no.4 dan tertahan di saringan no.50) diperoleh dari hasil parutan botol plastik jenis PET dengan alat pamarut manual.

Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (*Indirect Tensile Strength*)

Standar pengujian ITS mengacu pada ASTM D6931-12. Gambar 6 memperlihatkan posisi benda uji pengujian ITS (*Indirect Tensile Strength*). LVDT digunakan untuk mengukur perubahan bentuk arah horizontal dan vertikal ketika menerima beban tarik. Besarnya *Indirect Tensile Strength* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 4.



Gambar 6. Posisi benda uji pengujian ITS (*Indirect Tensile Strength*)

$$ITS = \frac{2 P}{\pi D H} \quad (4)$$

Dimana :

- ITS = Nilai kuat tarik tak langsung (N/mm^2)
P = Beban (N)
H = Tinggi/tebal bendauji (mm)
D = Diameter benda uji (mm)

HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah :

1. Pemanfaatan limbah plastik jenis PET sebagai bahan tambah dalam campuran AC-WC.
2. Mengetahui besarnya kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi.
3. Merumuskan model hubungan antara nilai kuat tarik tidak langsung dengan kadar limbah plastik jenis PET.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2005). Persyaratan Teknik Bandar Udara. Petunjuk Pelaksanaan Pemeliharaan Konstruksi Landas Pacu (Runway), Landas Hubung (Taxiway) dan Landas Parkir (Apron) serta Fasilitas Penunjang Bandar Udara Nomor : SKEP/78/VI/2005.
- Gul. W. A., Guler M., 2014. Rutting susceptibility of asphalt concrete with recycled concrete aggregate using revised Marshall procedure Construction and building materials, 55 hal. 341 – 349.
- Israil, Djameluddin, Rudy, & Adisasmita, Sakti A.. 2012. Studi Pengaruh Plastik sebagai Bahan Substitusi Aspal terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton (AC-WC). Tesis tidak diterbitkan. Makassar: Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
- SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Stephen B., the Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham, July 2015.
- Suroso, Tjitjik Wasiah. 2009. Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. *Puslitbang Jalan dan Jembatan*.
- Tayfur S., Ozen H., Aksoy A., 2007. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. ScienceDirect, Construction and Building Materials, hal. 328 -337.
- Widajat D., Sjahdanulirwan M., 2009. Kinerja daur ulang campuran dingin dengan aspal busa pada lalu lintas berat. *Jurnal jalan – jembatan*, vol. 26, No. 3. Hal 256 – 265.
- Widodo, Sri & Setyaningsih, Ika. 2013. Modulus Elastisitas dan Umur Perkerasan Jalan Beton Aspal sebagai Fungsi Kepadatan. *Eco Rekayasa*.
- Wikipedia. 2016 a. Plastik, (Online), (<https://id.wikipedia.org/wiki/Plastik> diakses pada 18 Agustus 2016).

KONSEP PENGEMBANGAN TRANSPORTASI BERKELANJUTAN SEBAGAI UPAYA PENYEDIAAN INFRASTRUKTUR KOTA MANDIRI (STUDI KASUS KOTA BARU MEDAN HILLS)

Ryan Michael Rerung¹, Marco Wakim²

*1Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl.Babarsari 44 Yogyakarta
Email: ryanmichael0296@gmail.com*

*2Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl.Babarsari 44 Yogyakarta
Email: marcowakim15@gmail.com*

ABSTRACT

Urban development in Medan City brings together business and trade centers and central government in the CBD area of Medan. The concept of a tentative spatial layout setting causes the city government of Medan not to have the power and authority in deciding the location for the investor's business in accordance with the RTRW master plan and thus far the spatial arrangement and urban transportation system follow the wishes of the investors. Consequently, this leads to severe congestion that could spread throughout the city's territory and spread throughout the time because traffic distribution is focused on the CBD area and also causes air and noise pollution, low health quality and reduced morality. The population morality is increasingly increasing the level of city criminality. An independent city concept is offered to be applied in Medan. In addition to revitalizing the public transport system, which is also the main problem of traffic in Medan, is also offered in this journal

Keyword: Independent city, sustainable transport, alternative congestion solution, Medan City.

ABSTRAK

Pengembangan urban di Kota Medan menyatukan pusat bisnis dan perdagangan dan pemerintah pusat di daerah CBD Medan. Konsep tentatif Pengaturan Tata Ruang Kota menyebabkan Pemerintah Kota Medan tidak memiliki kekuatan dan wewenang dalam memutuskan lokasi untuk bisnis investor sesuai dengan Rencana Induk RTRW dan sejauh ini pengaturan ruang dan sistem transportasi perkotaan mengikuti keinginan para investor. Akibatnya, ini menyebabkan kemacetan parah yang bisa menyebar ke seluruh wilayah kota dan menyebar ke seluruh waktu karena distribusi lalu lintas difokuskan pada area CBD dan juga menyebabkan udara dan polusi suara, kualitas kesehatan yang rendah dan mengurangi moralitas penduduk yang semakin meningkatkan tingkat kriminalitas kota. Konsep kota mandiri ditawarkan untuk diterapkan di Medan. Selain itu revitalisasi sistem transportasi umum, yang juga merupakan masalah utama lalu lintas di Medan, juga ditawarkan di jurnal ini.

Kata Kunci : Kota Mandiri, Transportasi Berkelanjutan, Alternatif Solusi Kemacetan, Kota Medan.

PENDAHULUAN

Masalah kemacetan lalu lintas biasanya timbul pada kota yang penduduknya mencapai lebih dari 2 juta jiwa, dan sampai tahun 1996 telah dicapai oleh beberapa kota di Indonesia, salah satunya di kota Medan. Tingkat pertumbuhan ekonomi yang cukup tinggi di wilayah perkotaan telah menarik arus urbanisasi yang tinggi pula, karena bagi banyak orang hal ini menjanjikan kesempatan kerja yang lebih luas. Gejala serupa terjadi pada daerah penyangga di sekitar perkotaan tersebut. Peningkatan penggunaan kendaraan pribadi mengakibatkan peningkatan kerusakan kualitas

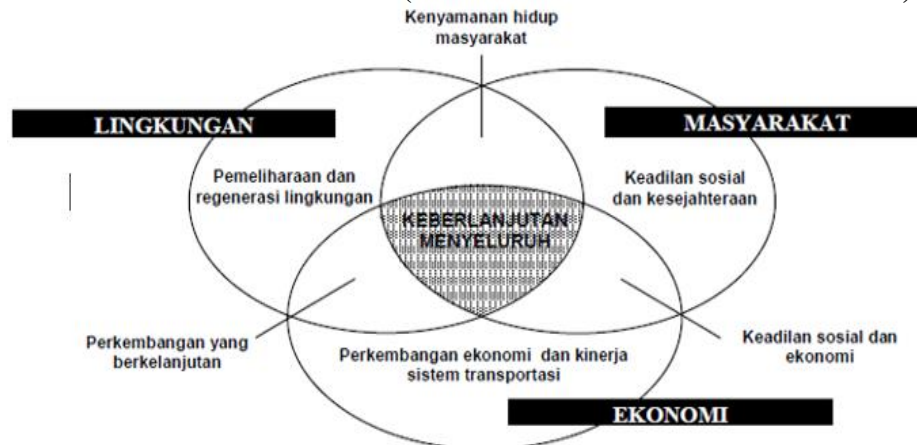
kehidupan, terutama di daerah pusat perkotaan. Kemacetan, dan tundaan sering terjadi pada beberapa ruas jalan, yang mengakibatkan polusi terhadap lingkungan, baik suara maupun udara. Tingkat pertumbuhan pergerakan yang sangat tinggi yang tidak mungkin dihambat, sementara sarana dan prasarana transportasi sangat terbatas, mengakibatkan aksesibilitas dan mobilitas menjadi terganggu. Sekarang ini program pembangunan jalan di daerah perkotaan membutuhkan biaya dalam jumlah yang sangat besar. Kemacetan lalu lintas tersebut telah menimbulkan akibat serius, karena terjadi pemborosan akibat inefisiensi pemakaian bahan bakar, waktu hilang terbuang, polusi dan stres, serta penurunan tingkat kesehatan penduduk. Kerugian akibat kemacetan lalu lintas diperkirakan mencapai Rp 9 triliun rupiah per tahun (Prayudyanto, 2006).

Biaya tersebut dikeluarkan untuk biaya operasional kendaraan akibat bahan bakar yang terbuang saat kendaraan terjebak dalam kemacetan. Polusi udara di kota Medan, 80% disebabkan oleh emisi gas buang kendaraan. Biaya yang dikeluarkan untuk kesehatan yang diakibatkan oleh polusi udara di kota Medan mencapai sebesar 100 sampai dengan 450 juta rupiah per tahun. Kota Medan, menjadi pusat pemerintahan dan perdagangan aktifitas ini menarik mobilitas penduduk dari wilayah Kota Medan pinggiran Binjai dan Deli Serdang. Pertumbuhan sepeda motor mendominasi 86,29%, mobil penumpang 7,91%, mobil barang 4,50% dan bus 1,30%. Tahun 2015 kendaraan bermotor 5.605.495 unit. Panjang jalan raya di kota Medan; kondisi baik 2.984,5 Km; kondisi rusak dan rusak berat 191,2 Km. Walau jumlah jalan yang tidak baik 6,4 % dari keseluruhan cukup menjadi penyebab kemacetan. Perilaku pengendara sepeda motor, becak, mobil melanggar rambu lalu lintas, berhenti di daerah rambu larangan, berjalan dan parkir di trotoar. Kondisi ketersediaan sarana pendukung; marka jalan, lampu pengatur lalu lintas, penerangan jalan, jembatan penyeberangan, fasilitas pejalan kaki, kondisi sarana dan prasarana transportasi.

Di Kota Medan, angkutan umum penumpang terdiri dari berbagai jenis moda angkutan darat, seperti: becak bermotor, taksi, mobil penumpang umum (MPU) dan bus damri. (Data dari Dinas Perhubungan Kota Medan) didapat bahwa dari tahun 2009, jumlah armada angkutan umum (angum) yang beroperasi sudah sekitar 7.583 unit, jumlah armada taksi yang beroperasi 1187 unit, becak bermotor sekitar 18.800 unit. Selama tahun 2009-2013 jumlah armada angkutan umum penumpang yang beroperasi jelas semakin meningkat. Perkembangan transportasi publik perkotaan saat ini sedang memasuki era baru dengan munculnya konsep Transportasi Keberlanjutan. Transportasi berkelanjutan didefinisikan sebagai suatu sistem transportasi yang penggunaan bahan bakar, emisi kendaraan, tingkat keamanan, kemacetan, serta akses sosial dan ekonominya tidak menimbulkan dampak negatif yang tidak dapat diantisipasi generasi yang akan datang (Richardson, 2000). Pengertian lain dari transportasi berkelanjutan adalah transportasi harus memiliki tiga aspek yang dipenuhi (OECD, 1996 dan NRTEE, 1996 dalam Brotodewo, 2010) :

- a. Lingkungan, transportasi yang tidak menimbulkan polusi udara, air, dan tanah serta tidak menggunakan sumber daya yang berlebihan.
- b. Ekonomi, transportasi yang terjangkau oleh masyarakat dan dapat memenuhi kebutuhan biaya operasional transportasi perkotaan yang produktif.
- c. Sosial, transportasi yang dapat mendukung terwujudnya lingkungan sosial yang sehat, meminimalisasi kebisingan, kemacetan, dan dapat meningkatkan keadilan sosial dan tingkat kesehatan.

TRANSPORTASI BERKELANJUTAN (SUSTAINABLE TRANSPORTATION)



Gambar 1. Interaksi Antar Elemen dalam Sistem yang Berkelanjutan (Center For Sustainable Development, 1997)

TINJAUAN PUSTAKA

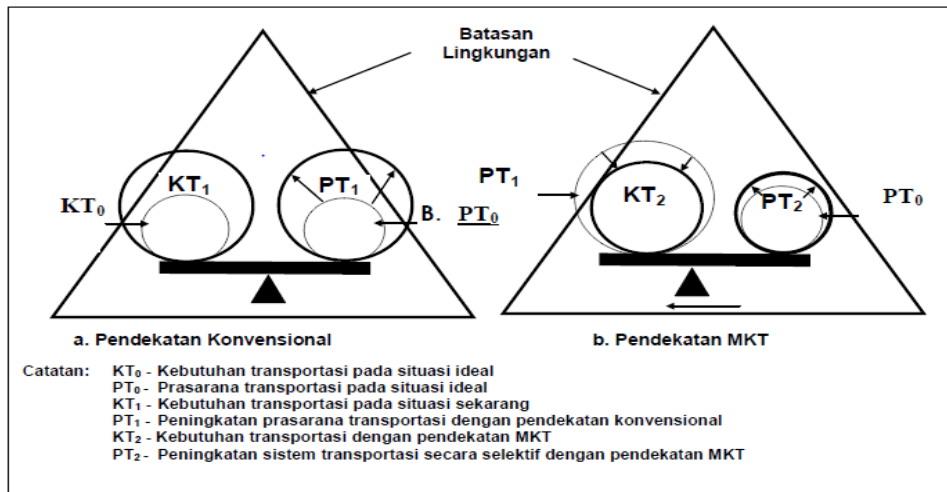
Konsep kota mandiri yang menginginkan penduduknya bekerja dan beraktivitas di dalam kota mandiri tersebut dapat meningkatkan efisiensi penggunaan angkutan umum, misalnya rute menjadi lebih pendek. Juga dapat mengurangi penggunaan kendaraan pribadi serta meningkatkan penggunaan sepeda dan fungsi pejalan kaki/pedestrian. Hal ini juga dapat mengurangi penggunaan kendaraan pribadi, sehingga kemacetan lalu lintas, polusi udara dan suara yang mengakibatkan rendahnya mutu kesehatan penduduk terutama anak-anak dapat, berkurang. Keuntungan lain dari adanya kota mandiri yakni dapat mengoptimalkan kelangsungan usaha daripada fasilitas-fasilitas kota seperti toko, sekolah, klinik dan praktik dokter sampai halte yang terletak dekat dengan rumah-rumah penduduk. Namun ternyata pengadaaan kota-kota mandiri seperti Bintaro dan BSD (Bumi Serpong Damai) yang terdapat di Jakarta ternyata tidak dapat mencapai tujuan daripada pengadaaan kota mandiri tersebut. Hal ini disebabkan bahwa penduduk yang berdiam di kota mandiri tersebut belum tentu bekerja, bersekolah atau berbisnis di dalam kota mandiri tersebut. Selain itu fasilitas kota satelit tersebut juga belum tentu sesuai dengan keinginan penduduknya sehingga sebaran kemacetan lalu lintas tetap saja terjadi. Bagaimana dengan Kota Medan? Konsep kota mandiri yang bagaimana sebaiknya dilaksanakan untuk Kota Medan sehingga dapat mengatasi masalah kemacetan lalu lintas di Kota Medan khususnya di wilayah inti kota? Sebaiknya daerah mana yang dapat menjadi lokasi-lokasi baru bagi kota-kota satelit tersebut? Apakah konsep kota mandiri dapat menyelesaikan masalah sistem angkutan umum (angum) di Kota Medan yang tak kalah peliknya.

DATA ANALISA DAN LOKASI PENELITIAN

Alternatif solusi yang paling ampuh untuk mengatasi kesemrawutan perkembangan Kota Medan serta juga menjadi solusi untuk mengurangi kemacetan lalu lintas ini adalah dengan mengadakan pembangunan kota-kota baru ataupun kota-kota mandiri di wilayah batas kota (wilayah pinggiran) seperti yang banyak dilakukan oleh negara-negara lain, yang berhasil misalnya Turki, Jepang dan RRC. Pembangunan kota mandiri dapat dilakukan dengan membangun dan mengembangkan lapangan pekerjaan dan aktivitas komersial ke suatu lokasi baru yang jauh dari wilayah inti kota namun tetap dihubungkan oleh sistem jaringan transportasi yang memadai dengan pusat kota. Penelitian dilakukan di jl. Abdullah Lubis No.30, darat, Medan baru, Kota Medan Sumatera Utara. Mengingat kota medan sudah terlalu padat dan sangat susah mencari tempat bermukim, Kota satelit medan hills yang akan dibangun terdapat, Perkantoran Pemerintahan, Pusat Industri, Pusat Perbelanjaan, Rumah Sakit, Terminal, Kampus, Sekolah dan Perumahan dan Ruko agar akses nya lebih mudah.

METODOLOGI PENELITIAN

Terlihat pada Gambar 2 pendekatan konvensional mengusulkan berbagai kebijakan peningkatan sistem prasarana transportasi yang dapat mengakomodir besarnya kebutuhan transportasi tanpa sedikitpun memperhatikan kondisi sosial, lingkungan, dan operasional yang ditimbulkan oleh pelaksanaan kebijakan tersebut. Tambahan lain tentunya kebijakan ini membutuhkan biaya yang sangat besar yang tidak mungkin dapat tersedia pada kondisi ekonomi seperti sekarang ini.



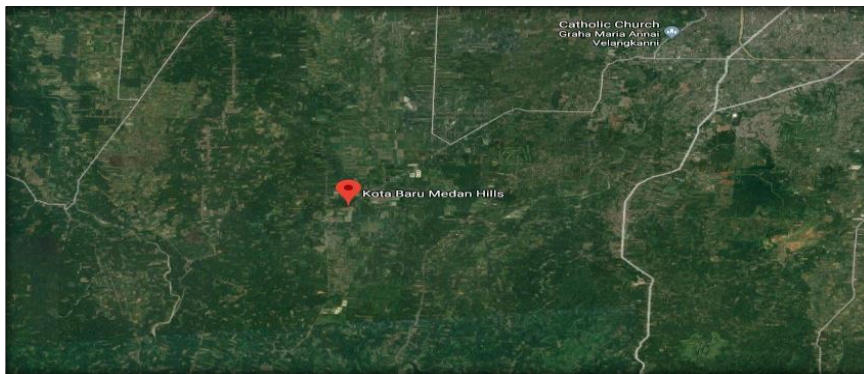
Gambar 2. Pergeseran Paradigma dalam Kebijakan Transportasi Perkotaan (Ohta, 1997)

Oleh karena itu, kebijakan yang dapat dilakukan dalam pelaksanaan konsep MKT ini harus dapat mengarah pada terjadinya beberapa dampak pergeseran pergerakan dalam ruang dan waktu seperti berikut:

1. Dampak pergeseran waktu; proses pergerakan terjadi pada lokasi yang sama, tetapi pada waktu yang berbeda.
2. Dampak pergeseran rute/lokasi; proses pergerakan terjadi pada waktu yang sama, tetapi pada rute atau lokasi yang berbeda.
3. Dampak pergeseran moda; proses pergerakan terjadi pada lokasi yang sama dan pada waktu yang sama, tetapi dengan moda transportasi yang berbeda.
4. Dampak pergeseran lokasi tujuan; proses pergerakan terjadi pada lokasi yang sama, waktu yang sama, dan moda transportasi yang sama, tetapi dengan lokasi tujuan yang berbeda.

PEMBAHASAN

Jadi sebenarnya setiap kota yang notabene punya masalah kota dan masalah lalu lintas tersendiri yang khusus dan berbeda di tiap-tiap kota mestinya punya konsep kota mandiri tersendiri. Semestinya masalah masalah khusus kota tersebut diselesaikan terlebih dahulu agar pengembangan kota mandiri dapat maksimal fungsinya. Keberadaan pusat pemerintahan dan pusat bisnis dan perbelanjaan di dalam satu wilayah/zona yang sama yakni di inti kota adalah masalah yang mendasar dan utama bagi Kota Medan yang harus diselesaikan terlebih dahulu. Karena sekalipun dibangun kota-kota satelit misalnya di wilayah-wilayah lingkaran luar, maka kemacetan tetap saja akan terjadi di inti kota yang menyebar ke seluruh penjuru Kota Medan. Jadi aktivitas-aktivitas apa saja yang semestinya disatelitkan terlebih dahulu di Kota Medan. Jadi kota baru medan hills menawarkan beberapa konsep yang akan di bangun nanti nya dan akan menjadi kota mandiri di kota medan dan bisa menjadi alternatif dan solusi mengurangi dampak kemacetan yang ada di kota medan.



Gambar 3. Peta yang akan di bangun Kota Mandiri (Sumber : Google Map)

KONSEP KOTA MANDIRI MEDAN HILLS



Gambar 4. Konsep Kota Mandiri Medan Hills (Sumber : Google)

1. Pusat Pemerintahan: Sudah saatnya Pemkot Medan memikirkan lokasi baru bagi pusat pemerintahan Kota Medan, maksudnya seperti Kantor Walikota, Kantor Pengadilan Negeri, Pengadilan Tinggi, Dinas Tarukim, TKTB, Kantor DPRD/DPR Provinsi, Kantor Imigrasi dan semua instansi-instansi pemerintah berada pada satu lokasi yang sama. Dengan demikian masyarakat yang ingin mengurus keperluannya terkait dengan instansi pemerintah, hanya perlu *travel* ke satu tempat saja. Selanjutnya dikembangkan juga perumahan-perumahan, khususnya bagi para pegawai pemerintahan tersebut beserta dengan segala fasilitasnya seperti toko, -toko, rumah sakit, sekolah dan fasilitas rekreasi.
2. Pusat Bisnis dan Perbelanjaan: tetap dikembangkan di wilayah inti kota yang dengan sendirinya akan berkembang memenuhi segala kebutuhan akan fasilitas-fasilitasnya yang sesuai seperti hotel, kondominium, apartemen, rumah sakit ataupun *exhibition center*.
3. Pusat Pendidikan Tinggi Swasta: banyaknya pertumbuhan perguruan-perguruan tinggi swasta (PTS) di wilayah inti kota., misalnya: Microskill di Jl. Thamrin, STIE di Jl. Sungai Deli atau LP3I di Jl. Gajah Mada dan kursus-kursus keahlian jangka pendek seperti kursus komputer, akuntansi serta bahasa yang menyebar di seluruh wilayah inti kota.
4. Pusat Industri: tetap dikembangkan di kawasan utara Kota Medan, termasuk rencana pengembangan Pelabuhan Belawan menjadi Hub-Port Internasional, Pabrik *Finishing Industrial* di wilayah sekitar Belawan, pengembangan KIM (Kawasan Industri Medan), Pengembangan *Airport* Internasional Kuala Namun serta rencana sistem infrastruktur yang menghubungkan ketiga kegiatan urat nadi kota satu dengan lainnya dan terhadap wilayah inti kota dan pusat pemerintahan.
5. Pusat *Automobile (Showroom)*, Penjualan *Spareparts* dan Perbengkelan: tingginya pertumbuhan mobil-mobil pribadi maupun sepeda motor dengan berbagai jenis merek dengan kelebihan dan kekurangan dari masing masing merk mobil tersebut, menjadikan

kebutuhan akan *spareparts*, *showrooms* dan perbengkelan yang signifikan bagi masyarakat Kota Medan. Bila semua kegiatan yang berhubungan dengan *automobile* ini ditempatkan dalam satu wilayah yang sama, maka selain signifikan mengurangi kemacetan lalu lintas, juga akan lebih menguntungkan pengusaha *automobile* tersebut karena terkonsentrasi dalam satu wilayah. Selanjutnya juga akan berkembang di kawasan ini fasilitas perumahan bagi pengusaha maupun pegawai, cafe, resto, dan fasilitas hiburan/rekreasi lainnya.

6. Pusat pemukiman: tidak menutup kemungkinan jika pemukiman yang telah ada di kembangkan lagi, ataupun dibangun pusat-pusat pemukiman baru sehingga dapat menampung jumlah penduduk yang akan bertambah ketika kota medan hills menjadi kota mandiri. karena jika tidak maka pengaturan sistem transportasinya akan bermasalah. Permasalahan yang akan terjadi jika pengaturan sistem transportasinya tidak diatur dengan baik maka, Pergerakan orang dan barang yang akan masuk dan keluar di dalam kota mandiri akan mengalami kesemrawutan yang berujung pada tingkat kemacetan lalu lintas yang tinggi.

Konsep pengembangan transportasi berkelanjutan pada kota medan hills yaitu dengan menggunakan sistem transportasi menyeluruh (mikro) yang mana pembangunan sarana transportasi harus memperhatikan besarnya pergerakan yang akan terjadi. Pembangunan sarana transportasi akan berdekatan dengan pusat pemukiman, pemerintahan, bisnis dan perbelanjaan, pendidikan, industri, sehingga para pengguna transportasi umum akan lebih mudah mencapai sarana transportasi yang dibangun dan lebih mudah untuk melakukan perjalanan. Tujuannya adalah pergerakan orang dan barang yang masuk dan keluar akan lebih tertata dan tidak mengalami penundaan waktu perjalanan. Pengaturan sistem transportasi yang lebih awal dalam pembangunan suatu kota mandiri akan lebih tertata dibandingkan dengan mengatur ulang sistem transportasi pada kota yang sudah ada.

Dampak Pergeseran Waktu

Kebijakan transportasi yang menghasilkan dampak pergeseran waktu dibutuhkan agar proses pergerakan masih dapat dilakukan pada lokasi yang sama tetapi tidak pada waktu yang bersamaan. Beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk mendukung kebijakan ini adalah:

1. Strategi jam masuk/keluar kantor atau sekolah yang berbeda-beda; usaha untuk menghindari terjadinya jam puncak dapat juga dilakukan dengan melakukan pergerakan lebih awal sebelum jam sibuk atau sebaliknya menunda pergerakan setelah jam sibuk.
2. Batasan waktu pergerakan untuk angkutan barang; ada beberapa strategi lain yang dapat dilakukan meliputi hari kerja yang dipadatkan (enam hari kerja menjadi lima hari kerja), skeepul kerja fleksibel, *three-in-one*, kebijakan hari kerja tanpa angkutan pribadi, dan lain-lain.

Tabel 1 Strategi kota satelit

Kebijakan	Strategi	Teknis
Pergeseran Waktu	Strategi Jam Masuk/ Keluar Kantor/ Sekolah	Mengarahkan agar Kegiatan yang Terjadi Tidak Bersamaan Waktunya
	Batasan Waktu Pergerakan Angkutan Barang	Kendaraan Berat Pengangkut Barang dapat Bergerak pada Waktu Tertentu
Pergeseran Rute atau Lokasi	<i>Road Pricing</i>	<i>Electronic Road Pricing</i> <i>Area Licensing System</i>
	Jalan Khusus Angkutan Umum	<i>Busway</i> <i>Truck Only Lane</i> <i>Bicycle Lane</i>
Pergeseran Moda	Pembatasan Jumlah Keterisian Kendaraan	"3 in 1" <i>Car Pooling</i>
	Peningkatan Pelayanan Angkutan Umum	MRT (Subway) Monorail
	Pengembangan Moda Telekomunikasi	e-mail, faksimili, internet
Pergeseran Lokasi Tujuan	Pembangunan Tata Guna Lahan	Pergerakan diarahkan pada Satu atau Beberapa Lokasi Berdekatan Penyebaran Sentra-sentra Perjalanan

Dampak Pergeseran Moda

Kebijakan yang menghasilkan dampak pergeseran moda dibutuhkan agar proses pergerakan masih dapat dilakukan pada lokasi dan waktu yang sama, tetapi dengan moda transportasi yang berbeda. Pada prinsipnya, kebijakan ini didukung oleh kenyataan bahwa terdapat ketidakefisienan dalam penggunaan ruang jalan yang memang sudah sangat terbatas. Untuk meningkatkan efisiensi ruang jalan tersebut (tanpa bermaksud mengurangi atau membatasi jumlah pergerakan yang ada), dapat dilakukan dengan cara mengurangi jumlah kendaraan yang bergerak. Hal ini dapat dilakukan dengan cara merangsang pergerakan agar menggunakan kendaraan yang berkapasitas lebih besar, seperti penggunaan angkutan umum. Jumlah pergerakan yang terjadi tetap (tidak berubah) diharapkan terjadi pergeseran persentase jumlah pergerakan dari yang menggunakan kendaraan berkapasitas kecil ke kendaraan berkapasitas lebih besar sehingga jumlah kendaraan yang bergerak menjadi lebih sedikit, sedangkan jumlah pergerakan tetap atau malah bertambah.

Dampak Pergeseran Lokasi Tujuan

Kebijakan yang menghasilkan dampak pergeseran lokasi tujuan dibutuhkan agar proses pergerakan masih dapat dilakukan pada lokasi, waktu, dan moda transportasi yang sama tetapi dengan lokasi tujuan yang berbeda. Beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk mendukung kebijakan ini adalah:

1. Upaya mengarahkan pembangunan tata guna lahan sedemikian rupa sehingga pergerakan yang dibangkitkan atau yang tertarik terjadi hanya pada satu lokasi atau beberapa lokasi yang saling berdekatan saja. Semakin jauh pelaku perjalanan bergerak dan semakin lama menggunakan jaringan jalan, maka semakin besar kontribusi pelaku perjalanan tersebut dalam proses terjadinya kemacetan lalu lintas. Beberapa strategi yang dapat dilakukan adalah dengan mengupayakan pembangunan pusat-pusat kegiatan yang terpadu dengan berbagai jenis dan macam kegiatan sehingga penduduk untuk pergi bekerja, belanja, sekolah, dan lain-lain cukup hanya pada satu lokasi yang berdekatan saja.
2. Penyebaran secara lebih merata lokasi pusat kegiatan utama (sentra-sentra primer) dan rayonisasi sekolah di daerah perkotaan juga akan sangat mendukung kebijakan pergeseran lokasi. Seseorang tidak perlu jauh-jauh untuk mendapatkan kebutuhan atau sekolah, karena semakin jauh seseorang bergerak, semakin besar kontribusinya terhadap terjadinya kemacetan lalu lintas.

KESIMPULAN

Tulisan ini menjelaskan secara rinci tentang konsep Manajemen Kebutuhan Transportasi dan beberapa strategi yang dapat diterapkan di kota medan baru hills. Kebijakan yang dapat dilakukan dalam pelaksanaan konsep kota mandiri ini harus dapat mengarah pada terjadinya beberapa dampak pergeseran pergerakan dalam ruang dan waktu yaitu:

1. Dampak pergeseran waktu; proses pergerakan terjadi pada lokasi yang sama, tetapi pada waktu yang berbeda.
2. Dampak pergeseran rute/lokasi; proses pergerakan terjadi pada waktu yang sama, tetapi pada rute atau lokasi yang berbeda.
3. Dampak pergeseran moda; proses pergerakan terjadi pada lokasi yang sama dan pada waktu yang sama, tetapi dengan moda transportasi yang berbeda.
4. Dampak pergeseran lokasi tujuan; proses pergerakan terjadi pada lokasi yang sama, waktu yang sama, dan moda transportasi yang sama, akan tetapi dengan lokasi tujuan yang berbeda.

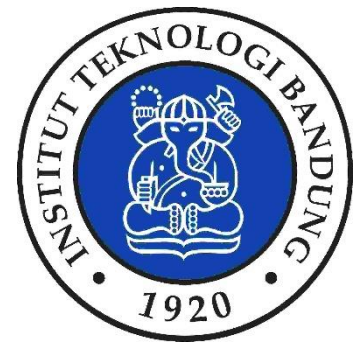
SARAN

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, penyediaan transportasi berkelanjutan sebagai upaya penyediaan infrastruktur kota mandiri perlu adanya kajian yang lebih lanjut dan lebih mendetail.

sehingga dapat langsung memecahkan secara tuntas masalah transportasi perkotaan. Kebijakan yang harus diambil harus merupakan gabungan dari beberapa kebijakan atau strategi yang secara sinergi akan dapat memecahkan masalah transportasi yang ada. Beberapa kebijakan penunjang lainnya yang harus dilakukan secara bersama-sama agar dapat menunjang keberhasilan konsep kota mandiri tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Banister, D and Hall, P. 1981. *Transport and Public Policy Planning*. London.
- Center for Sustainable Development. 1997. *Definition and Vision of Sustainable Transportation*. Toronto, Canada.
- Cresswell, R. 1979. *Urban Planning and Public Transport*. Construction Press.
- Data dari Dinas Perhubungan Kota Medan tahun 2009
- Gray, G. E and Lester, H. 1979. *Public Transportation: Planning, Operation, and Management*. Prentice Hall.
- LP-ITB. 1998. *Kajian Manajemen Perparkiran di Wilayah DKI-Jakarta*. KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil ITB. Bandung: Penerbit ITB.
- McGovern, E. 2005. *Social Marketing Applications and Transportation Demand Management: An Information Instrument for the 21st Century*, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- Ohta, K. 1998. *TDM Measures Toward Sustainable Mobility*. Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences, 22(1), 6–13.
- Orski, C. K. 1998. *TDM Trends in the United States*. Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences, 22(1), 25–32.
- Prayudyanto, M. N. 2006. *Kajian Perbandingan Penerapan Travel Demand Management di Singapura- London*. Jurnal FSTPT, Malang.
- Tamin, O. Z. 1993. *Strategi Peningkatan Pelayanan Angkutan Umum Sebagai Usaha Mengatasi Masalah Kemacetan di Daerah Perkotaan*, Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota, 8, Jurusan Teknik Planologi. Bandung: Penerbit ITB.



5

REKAYASA GEOTEKNIK

Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2019

Bandung, 5 November 2019

PUNCAK PERCEPATAN BATUAN DI PULAU JAWA KALA ULANG 2500 TAHUN MENGGUNAKAN USGS PSHA MODIFIKASI

Arifan Jaya Syahbana¹, Masyhur Irsyam², M. Asrurifak³ dan Hendriyawan⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Email: arifanjaya@students.itb.ac.id

² Staf Pengajar, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Email: masyhur.irsyam@yahoo.co.id

³ Peneliti, Pusat Penelitian Mitigasi Bencana, Institut Teknologi Bandung, Email: asrurifak@gmail.com

⁴ Staf Pengajar, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Email: hendriyawan_nln@yahoo.com

ABSTRAK

Pemakaian piranti lunak kegempaan dalam analisis puncak percepatan batuan (*Peak Ground Acceleration/PGA*) pada umumnya menggunakan piranti yang sudah siap digunakan sehingga hal ini membuat banyak pengguna enggan untuk mengembangkan piranti lunak *open source*. Pada sisi lain, perkembangan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) yang ada tiap selang tahun tertentu harus diakomodir dengan baik. Studi ini menekankan pada langkah pembaruan GMPE yang ada dalam piranti lunak USGS PSHA dan dilaksanakan analisis pada Pulau Jawa dengan kala ulang 2500 tahun. Pembaruan dilakukan dengan menambahkan kode pada file fortran HazgridXnga, yaitu GMPE BC Hydro 2012 untuk sumber gempa subduksi interslab. Hasil yang diperoleh adalah dengan menggunakan USGS PSHA modifikasi ini (1) daerah di dekat sekitar sesar mempunyai nilai PGA yang lebih tinggi, (2) berdasar sumber gempa *background*, daerah yang disinyalir terdapat zona subduksi dan sesar mengalami pembentukan zona PGA yang lebih tinggi (3) terdapat kesesuaian dengan hasil analisis Peta Gempa Indonesia 2017 menggunakan OpenQuake.

Kata kunci: PGA, USGS PSHA modifikasi, BC Hydro 2012, OpenQuake

PENDAHULUAN

Analisis kegempaan merupakan hal yang dirasakan bertambah penting seiring dengan perkembangan pembangunan serta tata ruang dan wilayah suatu daerah. Kegiatan ini mengalami perubahan dengan adanya kemajuan di bidang keilmuan yang terkait dengan hal tersebut, seperti geofisika, geologi, seismologi dan teknik sipil. Pada waktu awal mula ilmu ini berkembang, analisis kegempaan, yang dipakai adalah metode deterministik, dimana hanya melibatkan beberapa sumber gempa yang dirasa mempunyai peran besar pada area dan titik yang dihitung merupakan satu-satunya poin yang mempunyai peluang terjadi gempa. Selanjutnya dilaksanakan metode probabilistik yang melibatkan seluruh sumber gempa yang ada dengan anggapan daerah yang dianalisis mempunyai peluang yang sama terjadi gempa. Pada PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*), salah satu parameter yang menjadi perhatian adalah GMPE (*Ground Motion Prediction Equation*) atau yang sering disebut atenuasi dimana persamaan ini yang menghubungkan parameter jarak, magnitude, kedalaman, kecepatan geser tanah/batuan dan sebagainya terhadap kecepatan, akselerasi atau perpindahan. Penyempurnaan terhadap GMPE akan berimbas kepada *data base* piranti lunak yang dipakai dalam pengolahan atau analisis kegempaan tersebut. Karenanya dalam studi ini akan digunakan GMPE BC Hydro 2012 (BC Hydro, 2012) di Pulau Jawa dengan katalog gempa yang bersumber dari Pusgen 2016 (PusGen, 2017).

USGS PSHA merupakan piranti lunak berbasis bahasa pemrograman fortran yang dikembangkan oleh instansi geologi Amerika Serikat (Bella, 2008; Idriss, 2007; Mueller, Briggs, Wesson, & Petersen, 2015; Petersen et al., 2008). Dalam perkembangannya, piranti ini mempunyai indikasi telah dihentikan semenjak adanya piranti lunak sejenis (berkisar tahun 2014). Hal ini ditandai

dengan data file terakhir yang dapat diunduh merupakan hasil studi pada tahun tersebut. Mekanisme perhitungan mempertimbangkan sumber gempa yang ada: 1) Sumber gempa background diolah dengan modul *agridMLsm.v2* dan *hazgridXnga2* secara berturutan, 2) sumber gempa sesar diolah dengan *filtrate.v2* dan *hazFXnga7c* secara simultan dan terakhir 3) sumber gempa subduksi dengan *hazSUBXnga*. Keseluruhan dapat diolah dengan *hazallXL.v2* untuk dilihat hasilnya. Pada studi ini dilakukan modifikasi pada piranti lunak tahun 2007 dengan alasan program ini yang lebih umum digunakan hingga pada pembuatan Peta Gempa Indonesia 2017 (PusGen, 2017) dengan menggunakan *logic tree* GMPE Peta Gempa Indonesia tahun 2010 (Asrurifak, 2010).

Pada sisi lain, GMPE BC Hydro mempunyai latar belakang yang menarik. BC Hydro merupakan pemilik dam di daerah British Columbia, Canada yang memulai proyek penilaian gempa untuk daerah dam mereka. Lokasi ini dipengaruhi dominan oleh sumber gempa subduksi di Cascadia. Dari kegiatan tersebut terciptalah persamaan atenuasi yang kemudian diberi nama BC Hydro (Abrahamson, Gregor, & Addo, 2016). Subroutine yang dimasukkan ke dalam modul *hazSUBXnga* tahun 2007 merupakan bagian dari *hazSUBXnga* tahun 2014 (BC Hydro, 2012).

METODOLOGI

Tahap pertama studi ini dimulai dengan pengumpulan dan pengolahan data gempa. Data gempa yang akan digunakan dalam studi ini akan dikumpulkan dari beberapa katalog, baik nasional, internasional, maupun perseorangan. Data gempa yang akan digunakan dikelompokkan berdasarkan magnitudo (M_w 4.5-6, 6-7, dan di atas 7). Pengelompokan tersebut untuk mengetahui tingkat kelengkapan data (*completeness*) dengan menggunakan metode Stepp (Nasir, Lenhardt, Hintersberger, & Decker, 2013). Metode ini akan menghitung frekuensi magnitudo berdasarkan tingkat kelengkapan data per durasi gempa terekam secara baik. Tujuan dari *completeness* ini adalah untuk meningkatkan validitas hasil. Dalam langkah ini, ketersediaan data untuk tiap rentang magnitudo berbeda dapat terlihat dan dengan demikian dalam penghitungan frekuensi kejadian tidak dapat disamaratakan, dengan kata lain tergantung dari kelengkapan data. Semakin kecil magnitudo, terdapat kecenderungan data pada tahun yang lama akan semakin tidak lengkap, hal ini disebabkan karena perkembangan teknologi perekam gempa yang belum canggih.

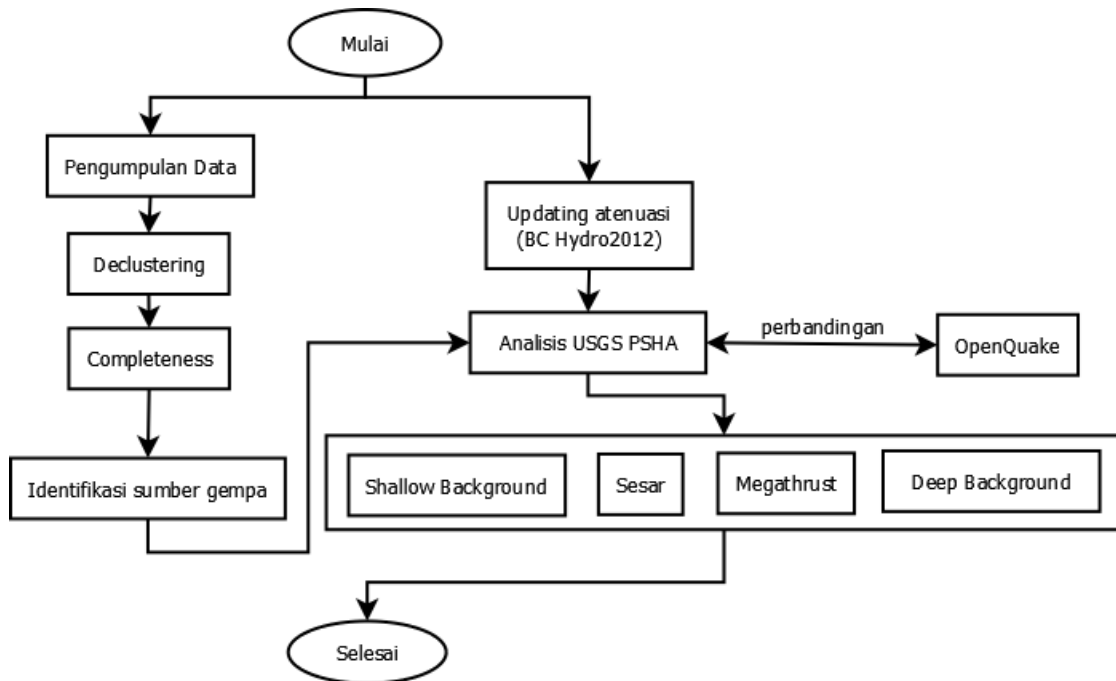
Tahap kedua yaitu identifikasi sumber-sumber gempa. Sumber-sumber gempa yang akan digunakan dikumpulkan juga dari beberapa sumber sebagaimana yang telah disebutkan di tahap sebelumnya. Sumber-sumber tersebut akan dibedakan menjadi 3 mekanisme, yaitu: (1) subduksi megathrust, (2) subduksi beniof, dan (3) *shallow crustal* yang terdiri atas *background* dan sesar. Tujuan dari pemisahan mekanisme tersebut terkait dengan fungsi atenuasi yang akan digunakan.

Tahap ketiga adalah merangkum semua langkah di atas untuk dianalisis menggunakan piranti lunak USGS PSHA dan dilakukan *pilot project* pada lokasi studi, yaitu di Pulau Jawa. Selain hal tersebut juga dilaksanakan perbandingan dengan menggunakan hasil OpenQuake. Alasan dipilih Pulau Jawa adalah tingkat kepentingan dari berbagai sisi seperti poleksusbudhankam dan keanekaragaman sumber gempa yang ada di daerah tersebut. Seluruh langkah ini disajikan pada Gambar 1.

Dalam paper ini disampaikan hasil studi pada sebagian tahap ketiga. Dapat dikatakan sebagian karena pada tahap pertama belum dimasukkan semua atenuasi/GMPE terbaru (tahun 2014) pada piranti lunak USGS PSHA. Diharapkan dengan hasil pertama ini dapat mempermudah pemahaman penulis mengenai pembaruan *subroutine* pada program tersebut.

Analisis pada sumber gempa *background* dilakukan sebagai berikut: (1) pembuatan input yang akan diolah menggunakan modul *agridMLsm.v2*. Dalam input ini dimasukkan data batas area yang akan diolah, jarak antar titik yang akan dihitung, tahun data, jarak korelasi, file sumber gempa serta minimum magnitudo. Hasilnya berupa file dengan yang nantinya menjadi input pada modul *hazgridXnga2*. Mirip dengan sumber gempa *background*, untuk sumber sesar juga mengalami dua tahap perhitungan, yang pertama dengan *filtrate.v2* dan dilanjutkan dengan *HazFXnga7c*. Yang terakhir, sumber subduksi (megathrust), berbeda dengan kedua sumber di atas, yang ini hanya menggunakan sekali perhitungan, yaitu *hazSUBXnga* yang telah dimodifikasi pada file dengan adanya *subroutine* BC Hydro 2012. Percobaan pembaruan *subroutine* dari modul *hazSUBXnga*

tahun 2014 ke tahun 2007 dilakukan dengan alasan modul tahun 2007 yang terbukti handal untuk dipakai pada pembuatan Peta Gempa Indonesia 2017.



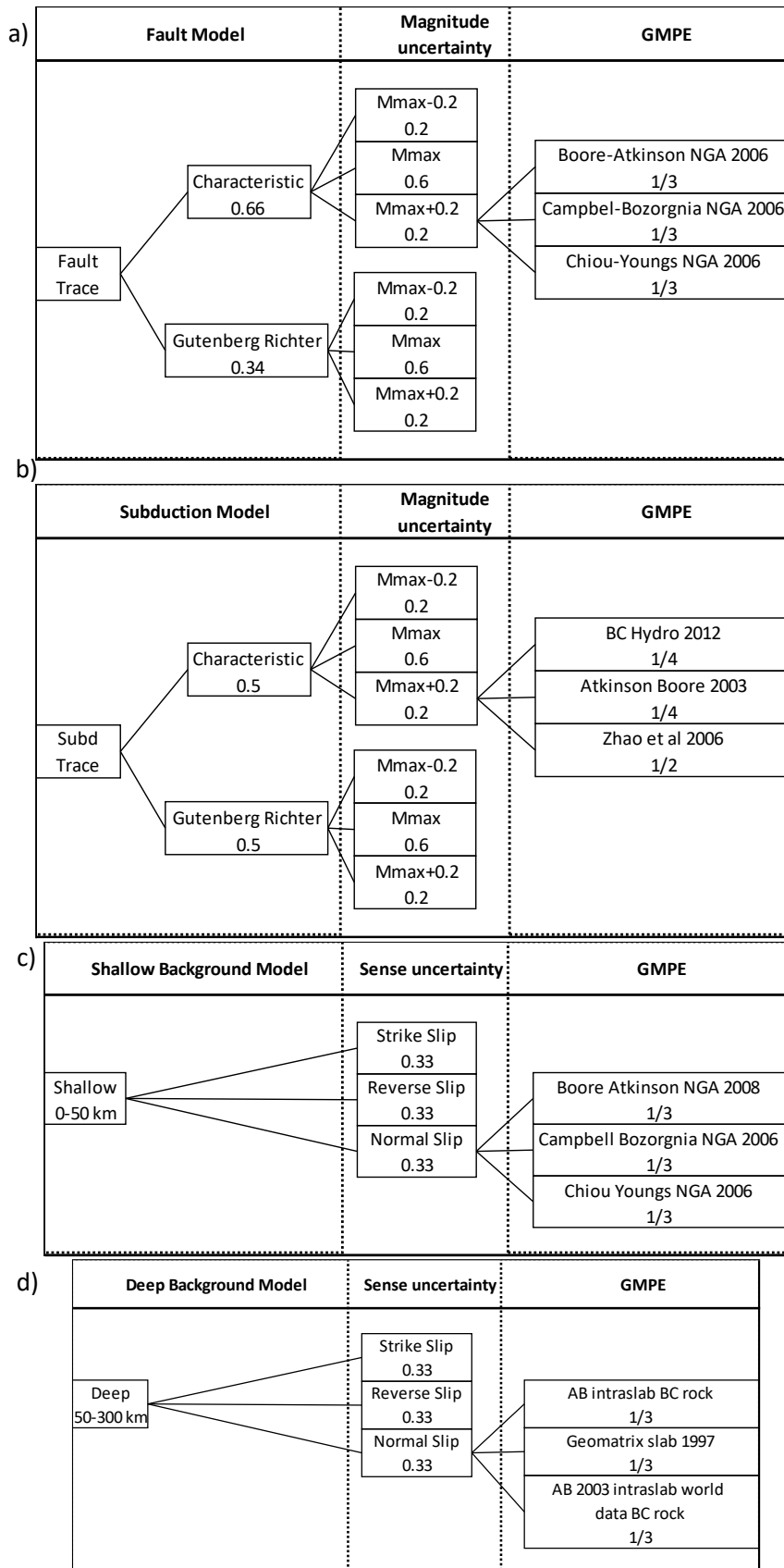
Gambar 1. Alur metode penelitian dalam studi ini. Pengumpulan data sumber gempa diakomodir oleh tim PusGen (Pusat Studi Gempa Nasional) dan pembaruan atenuasi dimulai dengan penambahan GMPE BC Hydro 2012 untuk mekanisme subduksi megathrust/interslab.

Logic tree yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 2a-d. Terlihat pada *logic tree* tersebut bahwa terdapat pembobotan tipe *character* dan *Gutenberg Richter* untuk tipe sesar dan subduksi megathrust, magnitudo maksimum dengan rentang 0.2 Mw dan GMPE berdasar mekanisme yang ada. Magnitudo gempa *background* dangkal dibatasi pada rentang $4.5 \leq Mw < 6.5$, sedangkan pada kedalaman yang lebih dalam, yaitu sampai dengan 300 km pada rentang $4.5 \leq Mw < 7.8$. Untuk sumber gempa sesar dan subduksi megathrust dibatasi magnitudo minimum lebih dari 6.5 Mw. Penggunaan nilai b untuk semua sumber bernilai 1 kecuali untuk sumber gempa megathrust (lihat Tabel 1)

Tabel 1. Properties nilai a dan b untuk sumber gempa megathrust

No	Nama	Properties
1	M4	Mentawai-Siberut Mw=8.9 a=4.25 b=0.85
2	M5	Mentawai-Pagai Mw=8.9 a=3.02 b=0.63
3	M6	Enggano Mw=8.4 a=5.57 b=1.05
4	M7	Selat Sunda Mw=8.7 a=5.99 b=1.15
5	M8	West-Central Java Mw=8.7 a=5.55 b=1.08
6	M9-10	East Java Mw=8.7 a=5.63 b=1.08
7	M11-12-13	Sumba Mw=8.5 a=5.63 b=1.11

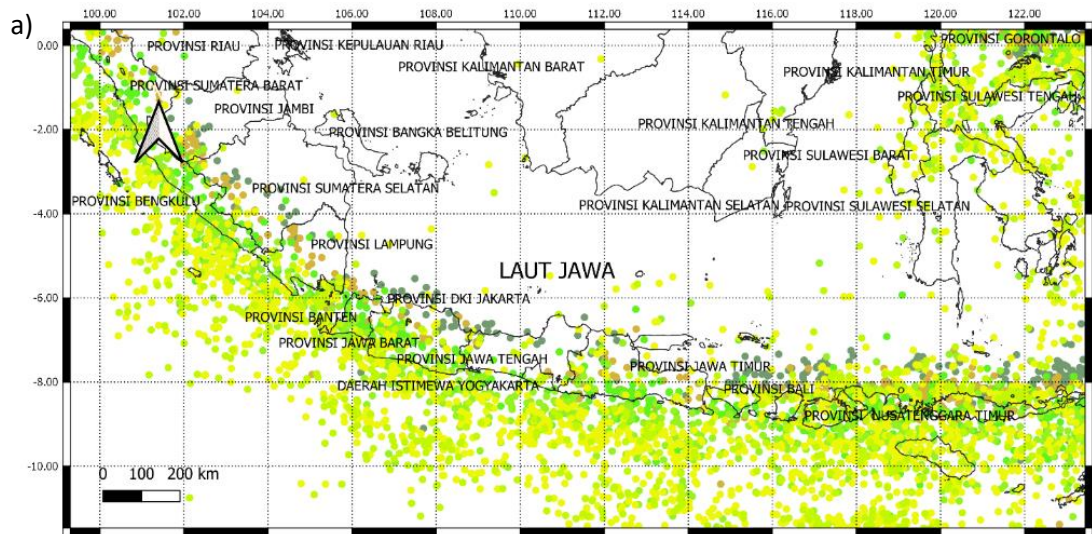
Di sisi lain, nilai a pada sumber gempa *background* dihitung berdasarkan metode *smoothed gridded seismicity* (Frankel, 1995) yang sudah termasuk pada modul *agridXLsm.v2*, sementara untuk sumber sesar dihitung terhadap parameter *slip-rate* yang ada pada modul *filtrate.v2* (Harmsen, 2010). Dengan demikian maka nilai a dan b pada semua sumber gempa sudah tersedia pada setiap masukan piranti lunak USGS PSHA.



Gambar 2. Logic tree pada semua skenario sumber gempa yang terdiri atas pembobotan model, sense, magnitud dan GMPE (Asrurifak, 2010), dengan a) model sesar, b) model subduksi megathrust, c) model *background* dan d) model Benioff

DATA

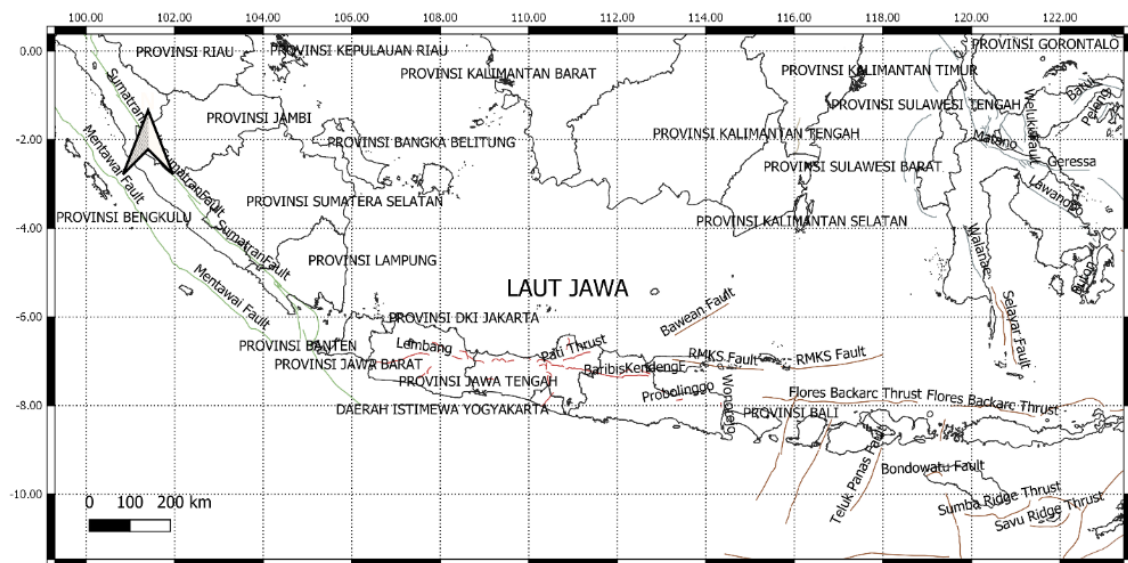
Pada penelitian ini digunakan data yang berasal dari katalog Pusgen 2016 dan Buku Sumber Gempa Indonesia 2017. Data yang digunakan berjumlah sekitar 70.718 data gempa baik *mainshock*, *fore shock* dan *after shock*. Data ini kemudian dilakukan *declustering* dengan metode Gardner Knopoff 1974 (Gardner & Knopoff, 1974) untuk mendapatkan *mainshock*-nya. Semua sumber tersebut kemudian dipilih berdasarkan ketentuan radius lebih kurang 500 km dari posisi terluar daerah studi (Pulau Jawa). Untuk data sumber *background*, dipisahkan menjadi 6 interval kedalaman sebagaimana yang disajikan pada Gambar 3a, sementara untuk sesar dan subduksi juga dapat diamati pada Gambar 3b dan 3c.

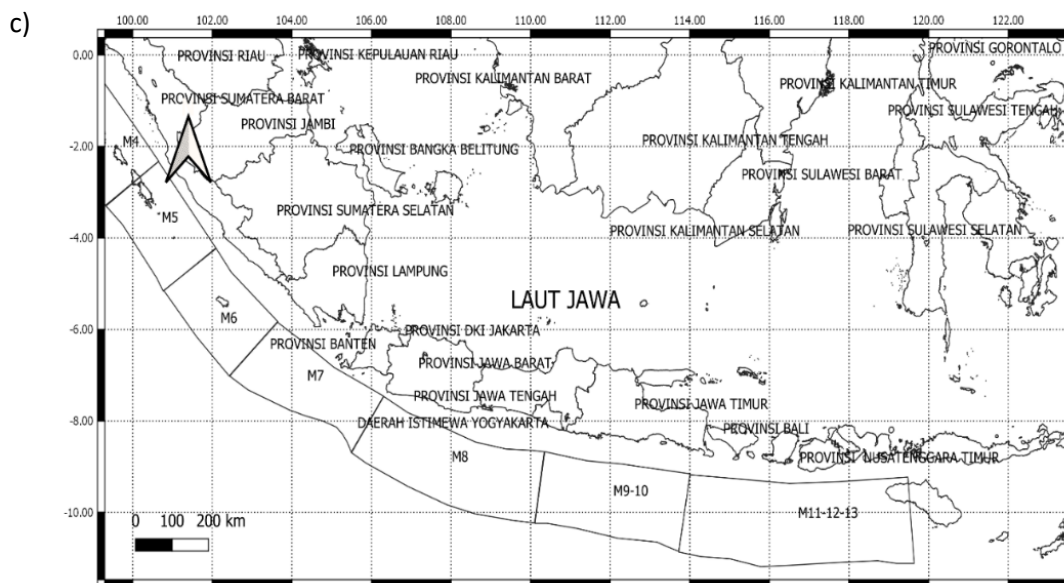


Legends

- Depth 0-25 km
- Depth 25-50 km
- Depth 50-100 km
- Depth 100-150 km
- Depth 150-200 km
- Depth 200-300 km

b)





Gambar 3. Penyajian peta menggunakan QGis (Team, 2015) mengenai sumber gempa yang dipergunakan dalam analisis ini (a) Data gempa background yang digunakan pada studi ini. Berasal dari katalog Pusgen 2016 untuk daerah sekitar Pulau Jawa radius 605 km dengan magnitudo antara 4.5 sampai dengan 6.5 Mw, kedalaman maksimal 300 km dan tahun kejadian dari 1900 sampai dengan 2016. (b) Sumber sesar dengan jumlah sesar 66 buah dan magnitudo maksimum di atas 6.5 Mw (c) Sumber subduksi interslab/interface dengan kedalaman maksimum 50 km yang terdiri dari M4-M13.

Parameter yang digunakan dalam analisis sumber gempa sesar mengacu kepada data yang ada pada Buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017. Terdapat keterangan menarik pada variable *sliprate* untuk daerah Baribis-Kendeng, dimana data yang ada merupakan nilai 20% dari nilai yang terukur. Hal ini disebabkan adanya ketidaklengkapan data untuk mengukur keaktivitasan sesar yang sebenarnya membutuhkan data dengan rentang waktu yang lebih lama.

Tabel 2. Properties sesar untuk analisis PSHA Pulau Jawa (Pusgen, 2017) dengan keterangan mekanisme sesar tipe 1= *strike slip*, tipe 2= *reverse* dan tipe 3=normal

No	Nama	Sliprate (mm/y)	Tipe *	Panjang fault (km)	Dip (°)	Top (km)	Bottom (km)	Width (km)	Mmax
1	CimandiriFault-Cimandiri	0.55	2	23	45	3	18	28	6.7
2	CimandiriFault-Nyalindung-Cibeber	0.4	2	15	45	3	18	28	6.5
3	CimandiriFault-Rajamandala	0.1	1	22.5	90	3	18	20	6.6
4	LembangFault-Lembang	2	1	29.5	90	3	18	20	6.8
5	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Subang	0.1	2	16.5	45	3	18	30	6.6
6	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Tegal	0.1	2	15	45	3	18	30	6.5
7	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Pekalongan	0.1	2	16	45	3	18	30	6.6
8	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Weleri	0.1	2	17	45	3	18	30	6.6
9	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Semarang	0.1	2	17	45	3	18	30	6.6
10	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Demak	0.1	2	15.5	45	3	18	30	6.6
11	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Purwodadi	0.1	2	19	45	3	18	30	6.7
12	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Cepu	0.1	2	50	45	3	18	30	7.1
13	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Waru	0.05	2	32	45	3	18	30	6.9
14	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Surabaya	0.05	2	12.5	45	3	18	30	6.5
15	Baribis-KendengFold-ThrustZone-Blumbang	0.05	2	15.5	45	3	18	30	6.6
16	Ciremai-StrikeSlipFault	0.1	1	20	90	3	18	20	6.6
17	Ajibarang-StrikeSlipFault	0.1	1	20	90	3	18	20	6.6
18	Opak-StrikeSlipFault	0.75	1	45	60	3	18	20	7

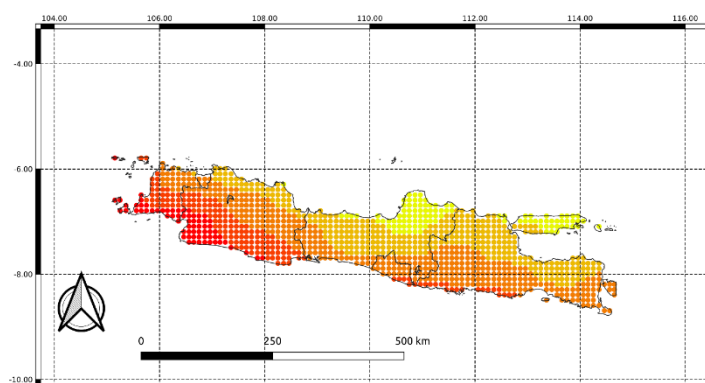
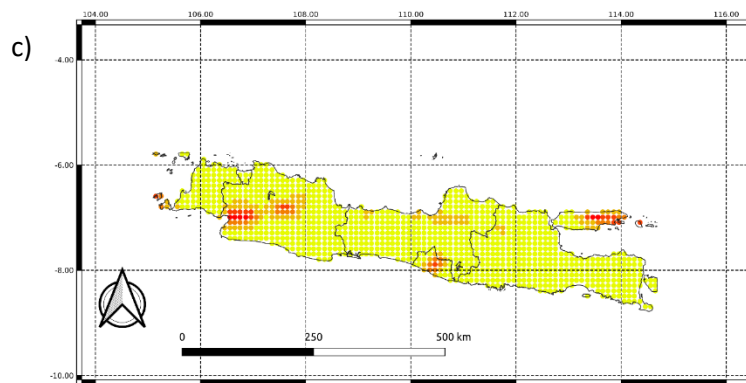
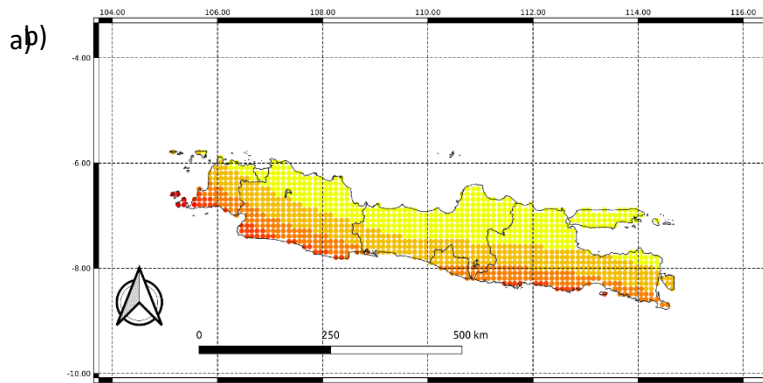
Lanjutan Tabel 2. Properties sesar untuk analisis PSHA Pulau Jawa (Pusgen, 2017) dengan keterangan mekanisme sesar tipe 1= *strike slip*, tipe 2= *reverse* dan tipe 3=*normal*

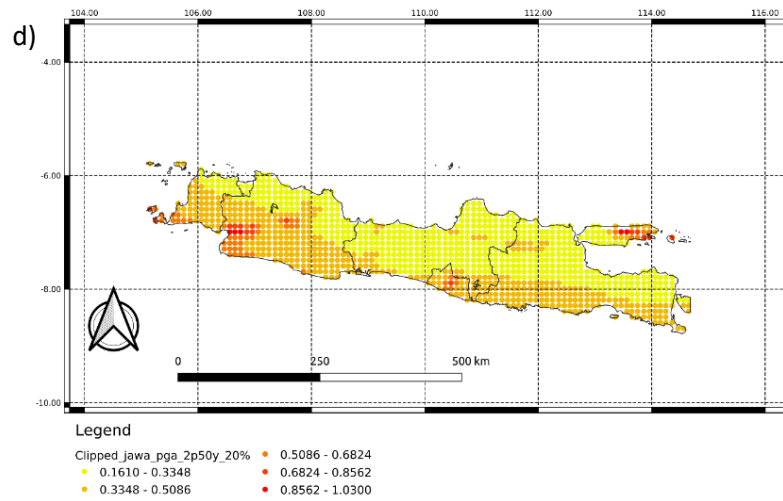
No	Nama	Sliprate (mm/y)	Tipe *	Panjang fault (km)	Dip (°)	Top (km)	Bottom (km)	Width (km)	Mmax
19	Merapi-Merbabu-StrikeSlipFault	0.1	1	28	90	3	18	20	6.8
20	PatiThrust	0.1	1	34.5	90	3	18	30	6.9
21	SumateraFault_Sianok	14	1	90	90	3	20	20	7.4
22	SumateraFault_Sumani	14	1	60	90	3	20	20	7.2
23	SumateraFault_Suliti	14	1	95	90	3	20	20	7.4
24	SumateraFault_Siulak	14	1	70	90	3	20	20	7.3
25	SumateraFault_Dikit	12	1	60	90	3	20	20	7.2
26	SumateraFault_Ketaun	12	1	85	90	3	20	20	7.4
27	SumateraFault_Musi	13.5	1	70	90	3	20	20	7.3
28	SumateraFault_Manna	13.5	1	85	90	3	20	20	7.4
29	MentawaiFault_Mentawai	5	2	560	45	3	20	20	8.5
30	MentawaiFault_Enggano	5	2	160	45	3	20	20	7.7
31	SumateraFault_KumeringN	12.5	1	111	90	3	20	20	7.5
32	SumateraFault_KumeringS	12.5	1	60	90	3	20	20	7.2
33	SumateraFault_SemangkoBaratA	8	1	90	90	3	20	20	7.4
34	SumateraFault_SemangkoTimurB	3	1	35	90	3	20	20	6.9
35	SumbawaStraitStrikeslipFault-Central	0.5	1	104	90	3	18	20	7.4
36	SumbawaStraitStrikeslipFault-South2	0.5	1	40	90	3	18	20	6.9
37	SumbawaStraitStrikeslipFault-South1	0.5	1	47	90	3	18	20	7
38	LombokStraitStrikeslipFault-North	0.5	1	156	90	3	18	20	7.6
39	LombokStraitStrikeslipFault-North	0.5	1	156	90	3	18	20	7.6
40	LombokStraitStrikeslipFault-Central	0.5	1	133	90	3	18	20	7.6
41	SumbaStrikeslip-1	0.5	1	83	90	3	18	20	7.3
42	FloresBackarcThrust-Bali	13.9	2	84	45	3	18	20	7.3
43	SumbaStrikeslip-2	0.5	1	42	90	3	18	20	7
44	SumbaStrikeslip-3	0.5	1	25	90	3	18	20	6.7
45	SumbaStrikeslip-4	0.5	1	31	90	3	18	20	6.8
46	SumbaStrikeslip-5	0.5	1	46	90	3	18	20	7
47	FloresBackarcThrust-LombokSumbawa	19.8	2	310	45	3	18	20	7.9
48	MakasarStraitThrust-North	2	2	50	45	3	18	30	7.12
49	MakasarStraitThrust-Central	3	2	85	45	3	18	30	7.38
50	MakasarStraitThrust-Mamuju	6	2	40	45	3	18	30	7.02
51	MakasarStraitThrust-Somba	6	2	80	45	3	18	30	7.35
52	PalukoroFault-Moa	33	1	66	90	3	18	20	7.19
53	PalukoroFault-Saluki	33	1	44	90	3	18	20	6.99
54	PalukoroFault-Palu	33	1	31	90	3	18	20	6.81
55	Walanae	0.1	1	65	90	3	18	20	7
56	SumateraFault_UjungKulonA	10	1	80	90	3	20	20	7.4
57	SumateraFault_UjungKulonB	10	1	150	90	3	20	20	7.7
58	SumateraFault_SemangkoBaratB	8	1	80	90	3	20	20	7.4
59	SumateraFault_SemangkoGraben	3	3	50	60	3	20	20	7.1
60	RMKSFault-West	3	1	258	90	3	18	20	7.9
61	RMKSFault-East	3	1	230	90	3	18	20	7.8
62	SapeStrikeslip	0.5	1	27	90	3	18	20	6.7
63	BondowatuFault	0.5	3	44	60	3	18	20	6.5
64	TelukPanasFault-North	0.5	1	175	90	3	18	20	7.7
65	BaweanFault	0.5	1	156	90	3	18	20	7.6
66	Meratus	0.2	2	52.5	45	3	18	30	7

HASIL

Berdasarkan simulasi dengan keseluruhan data gempa, maka dapat dilihat hasilnya sebagaimana disajikan pada Gambar 4 a-d. Pada daerah subduksi (megathrust) dapat dilihat untuk kedalaman dangkal maka nilai PGA akan meningkat (Gambar 4a), hal ini disebabkan jarak sumber terhadap titik perhitungan (kedalaman 0 km) adalah semakin kecil. Sama halnya untuk sumber sesar (Gambar

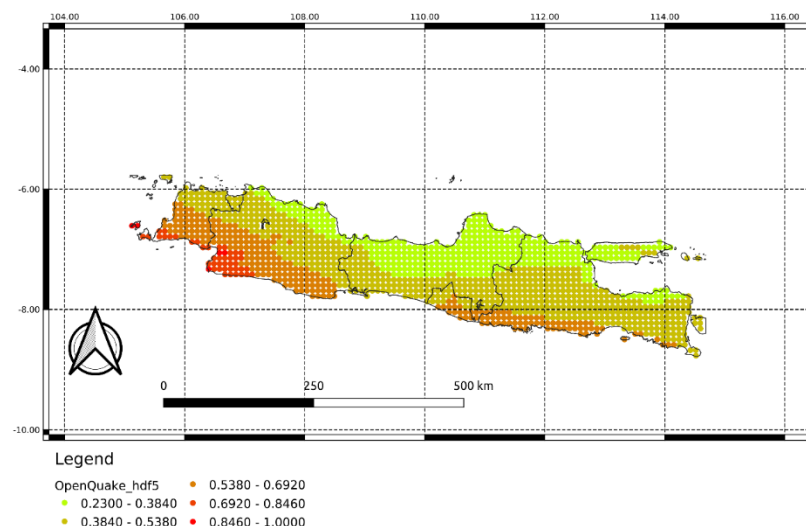
4b), maka nilai PGA akan meningkat seiring dengan dekatnya terhadap sumber gempa. Yang terakhir, untuk sumber *background* (Gambar 4c), akan tampak zona-zona yang secara sepintas terlihat adanya sumber gempa yang telah teridentifikasi maupun belum, hal ini tampak pada semakin tingginya nilai PGA pada area subduksi dangkal dan sesar. Semua sumber tersebut jika digabungkan maka akan terlihat seperti Gambar 4d yang mana tampak zona dengan PGA tinggi berada pada area dekat subduksi dan sesar.





Gambar 4. Peta PGA batuan Pulau Jawa kala ulang 2500 tahun menggunakan USGS PSHA modifikasi (a) hubungannya dengan daerah megathrust, (b) hubungannya dengan sumber sesar dan (c) hubungannya dengan sumber *background*. (d) semua sumber gempa

Sebagai perbandingan dengan hasil analisis pada Peta Gempa Indonesia 2017 dengan menggunakan OpenQuake (Gambar 5) maka dapat terlihat ada kemiripan. Kemiripan tersebut adalah adanya penampakan zonasi PGA yang semakin meningkat seiring dengan dekatnya kepada sumber megathrust, dan juga semakin meningkat dengan adanya kedekatan terhadap sumber gempa sesar. Sementara itu juga terdapat perbedaan, yaitu dengan menggunakan USGS PSHA lebih sensitif terhadap keberadaan sesar, sehingga untuk daerah yang berada di sekitar sesar akan lebih besar nilai PGA nya. Adapun rentang maksimum PGA yang dihasilkan tidak terpaud jauh, yaitu pada kisaran 1,0g.



Gambar 5. PGA batuan Pulau Jawa dengan kala ulang 2500 tahun menggunakan OpenQuake (GEM (2016), courtesy Phil Cummin (2019)). Tampak dengan pirani lunak ini, sensitifitas terhadap keberadaan sesar kurang tinggi dibandingkan dengan USGS PSHA sebagaimana yang terlihat pada daerah sekitar Sesar Cimandiri, Lembang dan Pati.

KESIMPULAN

Makalah ini memaparkan hasil kemajuan penelitian disertasi yang telah dilakukan sampai saat ini. Hasil analisis menunjukkan keberhasilan pembaruan atenuasi pada USGS PSHA, yaitu pada GMPE BC Hydro 2012 untuk mekanisme megathrust/intraslab. Di samping itu, terdapat kesesuaian antara piranti lunak USGS PSHA dan OpenQuake yang mewakili Peta Gempa Indonesia 2017. Rentang PGA batuan yang dihasilkan berada pada rentang 0,0-1,0g dengan zonasi tinggi berada pada jarak yang dekat dengan sumber gempa baik subduksi maupun sesar. Sementara itu sumber gempa *background* memiliki kelebihan dalam mengidentifikasi sumber gempa baik yang sudah diketahui maupun belum. Dari studi ini juga dapat diamati bahwa USGS PSHA lebih sensitif terhadap sumber gempa sesar. Kedepannya diharapkan dengan mengetahui proses pembaruan, maka GMPE yang baru dapat diakomodir lebih cepat sehingga ketergantungan kita terhadap piranti lunak lain dapat berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamson, N., Gregor, N., & Addo, K. (2016). BC Hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes. *Earthquake Spectra*, 32(1), 23–44.
- Asrurifak, M. (2010). Peta Respon Spektra Indonesia Untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Dengan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi Dalam Analisis Probabilitas. *Disertasi Doktor Teknik Sipil ITB, Indonesia*.
- BC Hydro. (2012). Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) Model Volumes 1, 2, 3 and 4. *BC Hydro Engineering Report E658*, (November).
- Bella, R. A. (2008). Pembuatan Program Interface untuk Software USGS PSHA 2007 dengan Studi Kasus Pembuatan Peta Spectra Hazard di Wilayah Nusa Tenggara Timur. *Tesis Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung*, 116.
- Frankel, A. (1995). Mapping seismic hazard in the central and eastern United States. *Seismological Research Letters*, 66(4), 8–695.
- Gardner, J. K., & Knopoff, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64(5), 1363–1367.
- GEM. (2016). The OpenQuake-engine User Manual. *Global Earthquake Model (GEM) Technical Report 2016-06*, 193. <https://doi.org/10.13117/GEM.OPENQUAKE.MAN.ENGINE.2.0/01>
- Harmsen, S. (2010). USGS Software for Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). *Manual USGS PSHA Software (Unpublished)*, (July 20, 2010).
- Idriss, I. M. (2007). Empirical Model for Estimating The Average Horizontal Values of Pseudo-Absolute Spectral Accelerations Generated By Crustal Earthquakes. *Interim Report Issued for USGS Review*, (January 2007), 76.
- Mueller, C. S., Briggs, R. W., Wesson, R. L., & Petersen, M. D. (2015). Updating the USGS seismic hazard maps for Alaska. *Quaternary Science Reviews*, 113, 39–47.
- Nasir, A., Lenhardt, W., Hintersberger, E., & Decker, K. (2013). Assessing the completeness of historical and instrumental earthquake data in Austria and the surrounding areas. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 106/1, 13.
- Petersen, M. D., Harmsen, S., Mueller, C., Haller, K., Dewey, J., Luco, N., ... Lidke, D. (2008). New USGS Southeast Asia seismic hazard maps. In *The 14th World Conf. Earthquake Engineering* (pp. 12–17).
- PusGen. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017* (1st ed.). Bandung: Puslitbang Perumahan dan Pemukiman.
- Team, Q. D. (2015). QGIS geographic information system. *Open Source Geospatial Foundation Project, Versão*, 2(7).

PENGARUH INFILTRASI TERHADAP ANALISIS STABILITAS LERENG

Reny Rochmawati¹, Mursalim Tonggiroh²

¹ Staf Pengajar, Fakultas Teknik dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua, Email: rochmawati.reny@rocketmail.com

² Staf Pengajar, Fakultas Teknik dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua, Email: mursalim.t@gmail.com

ABSTRAK

Karakteristik Provinsi Papua merupakan daerah pegunungan dengan relief bergelombang dan curam. Terdapat banyak lokasi yang mempunyai kemiringan lereng yang curam, salah satunya yaitu lereng yang terletak di sepanjang jalan raya sentani. Kemiringan lereng di daerah ini berkisar 5 % - 30 % dengan ketinggian aktual 0,5 m dpl – 1500 m dpl. Kebutuhan akan pelebaran jalan memaksa lereng di sepanjang jalan raya sentani dikikis, akibat dari pengikisan lereng mengalami perubahan secara fisika atau perubahan mekanik. Perubahan sifat dari material lereng memicu potensi terjadinya longsor. Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk memprediksi dan mensimulasikan potensi terjadinya bahaya longsor di lereng sepanjang jalan raya Sentani dengan menggunakan *SoilVision* dan *Geostudio Slope/W* serta metode *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) untuk mengetahui pengaruh dari infiltrasi terhadap kestabilan lereng. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *SoilVision* merupakan salah satu metode untuk menghitung dan menentukan beberapa parameter tanah dari hasil pengujian laboratorium. Hasil dari perhitungan ini kemudian digabungkan dengan pengolahan data hujan menggunakan *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) untuk kemudian disimulasikan menggunakan *Geostudio Slope/W*. Luaran yang ditargetkan dalam penelitian ini berupa prediksi peluang terjadinya longsor dan mensimulasikan bentuk (trend) atau pola longsor yang bisa terjadi di lokasi penelitian dalam bentuk karya ilmiah yang dipublikasikan.

Kata kunci: SoilVision, Geostudio Slope/W, TRMM, Longsor, Sentani

PENDAHULUAN

Kecamatan Sentani yang terletak di Kabupaten Jayapura memiliki keadaan topografi dari dataran rendah, dataran tinggi, daerah perbukitan serta pegunungan dan lereng yang umumnya relatif terjal dengan kemiringan 5% - 30% serta mempunyai ketinggian aktual 0,5 m dpl – 1500 m dpl. Daerah pesisir pantai utara berupa dataran rendah yang bergelombang dengan kemiringan 0% - 10% yang ditutupi dengan endapan alluvial. Sebagian besar wilayah Kabupaten Jayapura (72,09%) berada pada kemiringan diatas 41%, sedangkan yang mempunyai kemiringan 0 – 15% berkisar 23,74%. Kecamatan Sentani memiliki karakteristik kemiringan lahan > 65% sehingga dikategorikan lahan dengan kemiringan sangat curam. Penggunaan lahan di sepanjang jalan raya sentani pada umumnya digunakan sebagai daerah permukiman dan tanah terbuka alami. Kebutuhan akan sarana akses jalan memaksa lereng di sepanjang jalan raya sentani dikikis, akibatnya lereng mengalami perubahan sifat material secara fisika atau mekanik. Hujan yang turun secara berkala menyebabkan air di dalam tanah mengalir ke arah lateral, aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah dikenal dengan istilah Infiltrasi. Infiltrasi air hujan menaikkan derajat kejenuhan tanah dan mereduksi tekanan air pori negatif, sehingga kuat geser menjadi turun. Hal ini menyebabkan perubahan pada kondisi tanah yang awalnya jenuh sebagian (*unsaturated*) berubah menjadi kondisi jenuh (*saturated*). Akibatnya tekanan air pori menjadi naik dan kuat geser tanah menurun, sehingga stabilitas tanah berkurang.

Permasalahan yang akan diteliti pada penelitian ini yaitu lereng yang dikaji terletak di sepanjang Jalan Raya Sentani, khususnya KM 21 s/d KM 22. Sampel tanah yang diambil kemudian diuji di laboratorium untuk mendapatkan beberapa parameter nilai tanah. Perhitungan nilai infiltrasi menggunakan metode *Horton*, dalam perhitungan atau analisis tidak memperhitungkan faktor keempaan hanya memasukkan data curah hujan untuk mengetahui kapasitas air yang terinfiltrasi ke dalam tanah.

Secara garis besar tujuan khusus yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh curah hujan terhadap potensi kelongsoran lereng serta mengetahui pengaruh infiltrasi terhadap kestabilan lereng dengan mensimulasikan pola terjadinya longsor.

Analisis perhitungan dan simulasi terhadap potensi longsor pada lereng yang dianggap rentan terhadap bahaya kelongsoran sangatlah penting untuk membantu pemerintah atau pihak terkait agar dapat mengambil tindakan penanganan ataupun pencegahan sebelum bencana longsor benar-benar terjadi pada lereng tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Lereng

Lereng ditinjau dari terbentuknya menurut Wesley (1977), dibagi menjadi tiga macam, yakni:

1. Lereng alam, terbentuk karena proses alam
2. Lereng yang dibuat dalam tanah asli, maksudnya disini adalah tanah dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air
3. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, seperti tanggul untuk jalan atau bendungan tanah.

Lereng yang terdapat di Kecamatan Sentani pada umumnya merupakan lereng alam yang rentan terhadap bahaya longsor, dikarenakan kondisi geografisnya berada pada jalur pegunungan.

Definisi Tanah Longsor

Skempton dan Hutchinson (1969) mengungkapkan, tanah longsor atau gerakan tanah didefinisikan sebagai gerakan menuruni lereng oleh massa tanah dan atau batuan penyusun lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Sedangkan menurut Varnes (1978), mengusulkan terminologi gerakan lereng (*slope movement*) yang dianggap lebih tepat untuk mendefinisikan longsoran yaitu sebagai gerakan material penyusun lereng ke arah bawah atau keluar lereng di bawah pengaruh gravitasi bumi.

Brook dkk (1991) mengatakan bahwa tanah longsor adalah salah satu bentuk dari gerak massa tanah, batuan dan reruntuhan batuan / tanah yang terjadi seketika yang bergerak menuju lereng bawah yang dikendalikan oleh gaya gravitasi dan meluncur dari atas suatu lapisan kedap yang jenuh air (bidang luncur). Oleh karena itu tanah longsor dapat juga dikatakan sebagai bentuk erosi. Sedangkan menurut Karnawati (2005) sebenarnya longsoran merupakan salah satu jenis gerakan massa tanah ataupun batuan ataupun bahan rombakan yang menuruni lereng.

Pengaruh Hujan Terhadap Kestabilan Lereng

Faktor pemicu utama kelongsoran tanah adalah air hujan. Hujan diperkirakan sebagai penyebab utama terjadinya kelongsoran (Brand, 1994 dalam Lim et.al, 1996 dalam Prasetyowati, 2007). Meningkatnya kandungan air dalam tanah dapat disebabkan oleh hujan selama periode tertentu, sehingga tegangan efektif menurun dan berakibat tegangan geser dalam tanah menurun pula (Suryolelono, 2001).

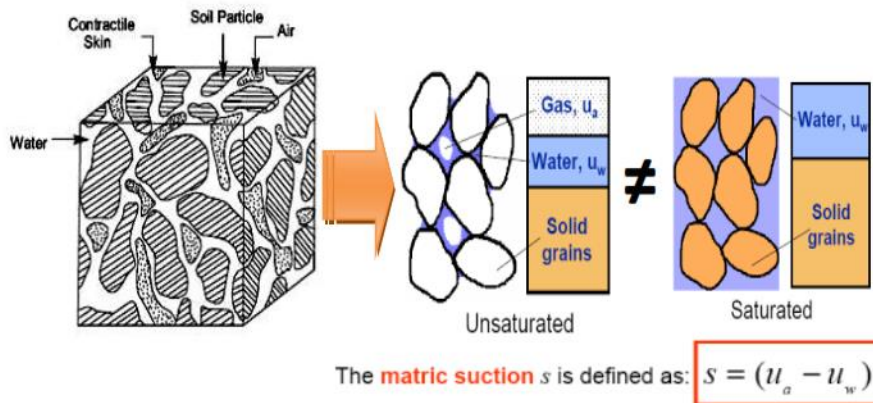
Pengklasifikasian besarnya curah hujan menurut Badan Klimatologi dan Geofisika (BMKG) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi pembobotan curah hujan bulanan (BMKG)

Curah Hujan Bulanan	Kelas	Nilai Bobot	Total Bobot (Bobot*10)
> 301 mm	Tinggi	0.4	4
101 - 300 mm	Sedang	0.3	3
0 - 100 mm	Rendah	0.2	2

Konsep Tanah Jenuh Sebagian dan Tekanan Air Pori Negatif

Tanah jenuh sebagian umumnya mempunyai tiga fase elemen yaitu fase butiran, air dan udara. Berbeda dengan tanah jenuh yang hanya mempunyai dua fase (butiran dan air) yang menimbulkan hadirnya dua jenis tekanan pori (u_w) dan tekanan udara pori (u_a) yang mengakibatkan adanya batas (*interface*) antara air dan udara yang dikenal dengan sebutan *contractile skin* (Fredlund dan Morgenstern, 1997).



Gambar 1. Elemen tanah jenuh sebagian (Fredlund dan Rahardjo,1993)

Infiltrasi

Infiltrasi didefinisikan sebagai proses masuknya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah (Chow, et al., 1998). Jika air hujan meresap ke dalam tanah maka kadar lengas tanah meningkat hingga mencapai kapasitas lapang. Kapasitas infiltrasi terjadi ketika intensitas hujan melebihi kemampuan tanah dalam menyerap kelembaban tanah. Sebaliknya apabila intensitas hujan lebih kecil dari pada kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi sama dengan curah hujan. Laju infiltrasi umumnya dinyatakan dalam satuan yang sama dengan satuan intensitas curah hujan, yaitu millimeter per jam (mm/jam). Air infiltrasi yang tidak kembali lagi ke atmosfer melalui proses evapotranspirasi akan menjadi air tanah untuk seterusnya mengalir ke sungai disekitar (Sastrodarsono dan Takeda, 1999).

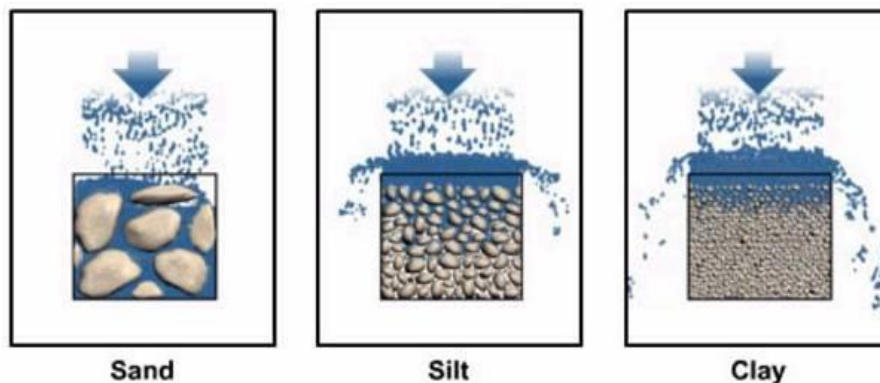
Sifat bagian lapisan suatu profil tanah juga menentukan kecepatan masuknya air ke dalam tanah. Ketika air hujan jatuh di atas permukaan tanah, maka proses infiltrasi tergantung pada kondisi biofisik permukaan tanah, sebagian atau seluruh air hujan tersebut akan mengalir masuk ke dalam tanah melalui pori-pori permukaan tanah. Proses mengalirnya air hujan ke dalam tanah disebabkan oleh tarikan gaya gravitasi dan gaya kapiler tanah. Oleh karena itu, infiltrasi juga biasanya disebut sebagai aliran air yang masuk ke dalam tanah sebagai akibat gaya kapiler dan gravitasi.

Pengaruh Infiltrasi terhadap stabilitas lereng

Menurut Karnawati (2006) dalam Heriansyah (2014), infiltrasi hujan menyebabkan air menyerap ke dalam lereng sehingga mengakibatkan :

1. Meningkatkan berat isi tanah (peningkatan beban massa tanah),
2. Berkurang atau hilangnya tegangan *suction* (tegangan isap) pada zona tidak jenuh air,
3. Peningkatan tekanan air pori di dalam tanah,
4. Erosi internal,
5. Perubahan kandungan mineral penyusun massa tanah pada lereng.

Tipe tanah mempengaruhi laju infiltrasi berkaitan dengan distribusi ukuran pori. Tipe tanah yang dimaksud adalah berkaitan dengan tekstur dominan dari tanah yang bersangkutan. Istilah umum yang sering digunakan adalah tanah berpasir, tanah berlempung dan tanah berliat, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi tentang pengaruh infiltrasi terhadap tipe tanah.

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan di Kecamatan Sentani selama kurang lebih 8 bulan.

Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode *Horton* untuk menghitung besarnya nilai infiltrasi pada lereng, kemudian dilakukan uji laboratorium terhadap sampel tanah untuk mendapatkan beberapa parameter yang akan dihitung menggunakan *SoilVision*. Perhitungan sampel tersebut digabung dengan analisis pengolahan data curah hujan berdasarkan metode *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*. Hasil dari perhitungan nilai tersebut selanjutnya diolah menggunakan *Geostudio Slope/W* untuk memperoleh gambaran simulasi pola atau bentuk longsor yang terjadi pada lokasi penelitian.

Data

Data-data pendukung yang digunakan dalam penelitian ini berupa data topografi dan geografi Kecamatan Sentani.

Tahapan Penelitian

Proses pelaksanaan penelitian dibagi menjadi tiga tahapan yaitu :

1. Tahap Persiapan Penelitian
Pada tahap ini dimulai dengan mengumpulkan referensi yang berkaitan dengan permasalahan di lokasi penelitian dan dilanjutkan dengan penyusunan usulan penelitian.

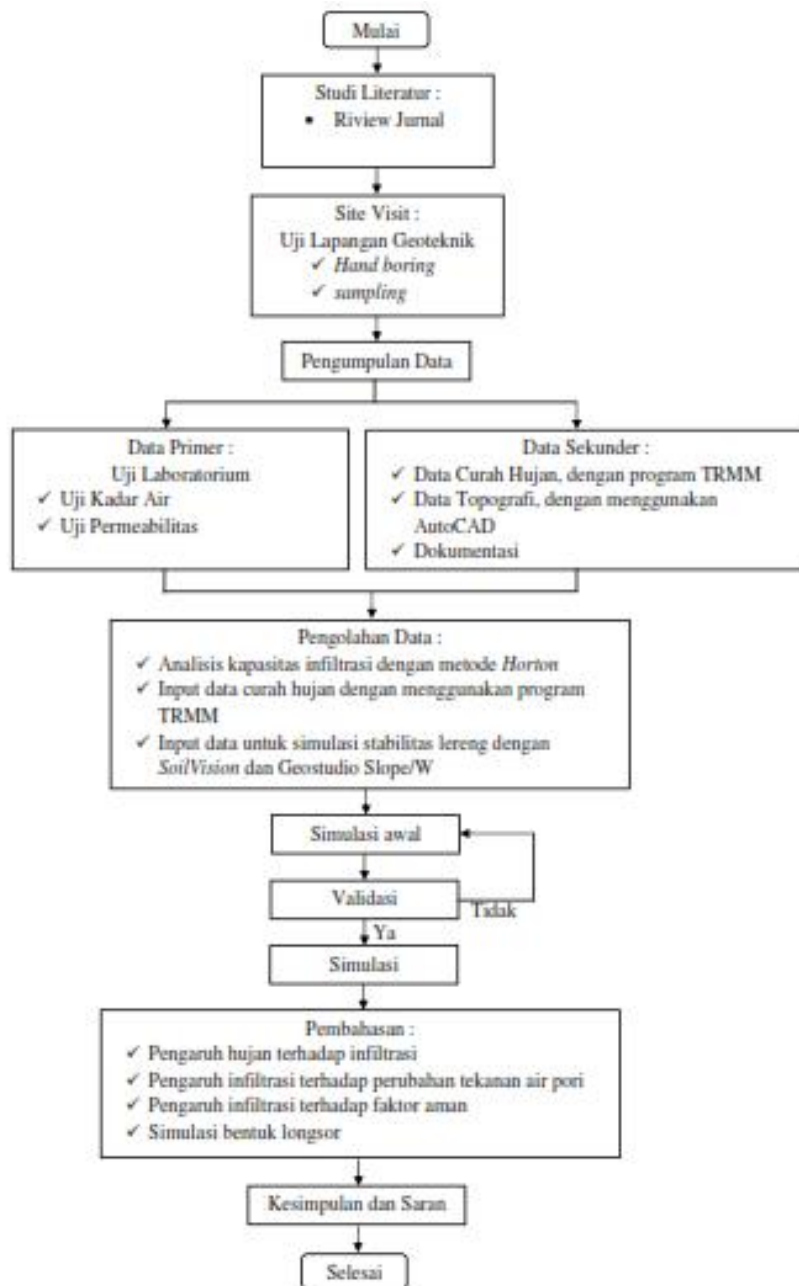
2. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai terlebih dahulu dengan melakukan *Site Visit* (survei lokasi untuk mengambil sampel uji tanah. Pengambilan sampel uji dilakukan dengan *Hand boring*. Hasil dari pengujian kemudian dianalisis menggunakan metode yang telah ditetapkan untuk selanjutnya diolah dan divalidasi.

3. Tahap Penyelesaian

Pada tahap ini merupakan akhir dari keseluruhan rangkaian penelitian, yaitu dengan menganalisis hasil perhitungan dan validasi dari data primer dan sekunder untuk selanjutnya diambil kesimpulan.

Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

HASIL

Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini berupa prediksi peluang terjadinya longsor dan mensimulasikan bentuk atau pola longsor yang bisa terjadi di lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, VT, Maidment, DR., Mays, LW., 1988, Applied Hydrology, Mc Graw-Hill International Editions Civil Engineering Series, Singapura.
- Fredlund, D. G., and Morgenstern, N. R., 1997, Stress State Variables for Unsaturated Soils, Journal of Geotechnical Engineering Division, Proceeding, American Society of Civil Engineering (GTS), 103 : 447 – 466.
- Fredlund, D.G. & Rahardjo, H., 1993. *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. Canada: John Willey & Sons, Inc.
- Karnawati, D. 2005. *Geologi Umum dan Teknik*. Yogyakarta: Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Prasetyowati, SH., 2007, Analisis Pengaruh Karakteristik Hujan Terhadap Gerakan Lereng, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Putra, H. 2014. *Pengaruh Infiltrasi terhadap Perubahan Parameter Tanah Jenuh Sebagian dalam Analisis Stabilitas Lereng*. Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada.
- Suryolelono, K.B. 2001, Konsep dan Analisa Penanggulangan Bahaya Tanah Longsor, Prosiding Studium General Penanggulangan dan Penanganan Bahaya Tanah Longsor, KMTS UGM, Yogyakarta.
- Wesley, D, Laurence. 2012, *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan & Residu*, Penerbit Andi, Yogyakarta.

PENGGUNAAN METODE DUA TAHAP UNTUK MENENTUKAN KADAR OPTIMUM PENAMBAHAN KAPUR LAPIS PONDASI JALAN (STUDI KASUS: RUAS JALAN BUPUL – ERAMBU SOTA KABUPATEN MERAUKE)

Franky E. P. Lopian¹

¹*Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) XXII Merauke, Jalan RE. Martadinata Kompleks Bina Marga Merauke, Email: lapianedwin@gmail.com*

ABSTRAK

Isu pemanfaatan material lokal terus digalakkan oleh Kementerian Pekerjaan dan Perumahan Rakyat Indonesia. Material lokal yang dapat dimanfaatkan adalah kapur untuk menstabilisasi tanah laterit yang ada di Kabupaten Merauke. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan persentase kadar penggunaan kapur dan semen pada perkerasan tanah kapur semen untuk lapis pondasi jalan dan perbandingan penggunaan tanah semen dengan tanah kapur. Dasar pengujian ini dari besar nilai UCS dengan SNI 03-6887-2002 dengan nilai sebesar 20-35 kg/cm². Dari hasil pengujian laboratorium yang telah dilakukan diperoleh hasil yaitu, dengan variasi campuran kapur 5% diperoleh nilai UCS sebesar 21,399 kg/cm², kapur 10% diperoleh nilai UCS sebesar 25,529 kg/cm², kapur 15% diperoleh nilai UCS sebesar 28,282 kg/cm², dan kapur 20% diperoleh nilai UCS sebesar 27,030 kg/cm². Setiap campuran ini menggunakan kadar semen yang sama. Berdasarkan persyaratan SNI semua variasi kadar kapur memenuhi persyaratan. Setiap benda uji telah melewati masa pemeraman selama 3 hari saat pencampuran kapur dan 7 hari saat pencampuran dengan semen.

Kata kunci: material lokal, tanah laterit, semen UCS

PENDAHULUAN

Pada saat ini, sebagian daerah yang ada di Indonesia sudah menggunakan lapis pondasi *Soil Cement Base (SCB)* baik untuk kegiatan peningkatan maupun pembangunan jalan baru. Khususnya daerah yang tidak mempunyai material agregat kasar, mempunyai tanah dengan jenis tanah laterit dan pemanfaatan material lokal seperti di daerah Merauke, Papua. Lapis pondasi *Soil Cement Base (SCB)* adalah suatu jenis pondasi atas (*Base Course*) yang menggunakan tanah pilihan yang distabilisasi dengan semen dan air. Dan ada juga yang menggunakan bahan tambahan, yaitu bahan adiktif seperti matos dan diva, namun ada juga jenis pondasi yang menggunakan bahan tambah lain seperti kapur karena memiliki nilai PI (*Plastis Indeks*) antara 10%-20% bahkan diatas 20%. Penggunaan kapur ini diharapkan dapat menurunkan kadar PI tanah tersebut sebelum dicampur lagi menggunakan semen. Metode pelaksanaan ini disebut juga sebagai metode stabilisasi 2 tahap. Penelitian ini adalah penelitian lanjutan untuk mengetahui kadar kapur yang baik dan memenuhi standar yang telah ditentukan.

Dalam pelaksanaan pekerjaan lapis pondasi atas (*Base Course*) ini, yang menggunakan lapis pondasi *Soil Cement Base (SCB)* kekuatan dari jenis pondasi tersebut harus selalu di perhatikan. Untuk itu diadakan pengujian kuat tekan bebas atau *Unconfined Compression Strength (UCS)* pada lapis pondasi tersebut untuk mendapatkan kekuatan sasaran seperti yang disyaratkan 20-35 Kg/cm² pada tabel dalam Spesifikasi Khusus Interim Seksi 5.4 Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. Berdasarkan hal-hal tersebut diatas, maka penulis mengambil judul: "Penggunaan Metode Dua Tahap Untuk Menentukan Kadar Optimum Penambahan Kapur Lapis Pondasi Jalan (Studi Kasus : Ruas Jalan Bupul – Erambu Sota Kabupaten Merauke)."

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Laterit

Tanah laterit dikenal juga sebagai tanah merah. Tanah laterit atau tanah merah merupakan tanah yang mempunyai warna merah hingga warna kecoklatan yang terbentuk pada lingkungan yang lembab, dingin, dan mungkin juga genangan- genangan air. Untuk informasi yang lebih mendetail dari tanah ini adalah mempunyai profil tanah yang dalam, mudah menyerap air, memiliki kandungan bahan organik yang sedang dan juga memiliki pH atau tingkat keasaman netral.

Semen Portland Type 1

Semen *Portland type* 1 adalah semen yang paling sering digunakan oleh masyarakat luas dan beredar dipasaran. Jenis ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus untuk hidrasi panas dan kekuatan tekan awal. Kegunaan *Semen Portland Type* diantaranya konstruksi bangunan untuk rumah permukiman, gedung bertingkat, dan jalan raya. Karakteristik Semen *Portland Type* I ini cocok digunakan di lokasi pembangunan di kawasan yang jauh dari pantai dan memiliki kadar sulfat rendah.

Kapur

Kapur adalah kalsium oksida (CaO) yang dapat dibuat dari batuan karbonat yang dipanaskan pada suhu sangat tinggi. Kapur tersebut umumnya berasal dari batukapur (*limestone*) atau dolomite.

Stabilitas Tanah

Dalam bidang jalan raya, istilah tanah mencakup semua bahan dari tanah lempung (*clay*) sampai kerakal (batu-batu yang besar) yang dapat digunakan sebagai bahan jalan baik sebagai tanah dasar maupun sebagai lapisan lainnya pada struktur perkerasan jalan. Salah satu persyaratan utama dalam penggunaan bahan tanah sebagai tanah dasar untuk perkerasan jalan adalah bahwa tanah tersebut harus cukup kuat untuk meneruskan dan mendukung beban volume lalu lintas.

Dash S.K., dkk., 2012, melakukan penelitian tentang penggunaan kapur untuk menstabilisasi tanah. Pengaruh stabilisasi kapur (CaO) terhadap tanah dievaluasi dengan menentukan karakteristik geoteknik dan salah satu diantaranya adalah uji kuat tekan bebas. Hasil pengujian kuat tekan pada tanah ekspansif menunjukkan bahwa ada nilai optimum untuk kandungan kapur. Pada umur 7 hari, tanah ekspansif yang dicampur kapur 9% dan 13% memiliki kuat tekan sebesar 2200 kPa dan 1500 kPa. Penggunaan kapur yang berlebihan harus dihindari untuk tanah yang mengandung banyak silika.

Suksun Horpibulsuk, dkk., 2005 memanfaatkan uji kuat tekan dan regangan vertikal akibat beban tekan pada tanah lempung jenuh air yang dicampur semen. Pengujian kuat tekan bebas dilakukan pada contoh tanah lempung dari Ariake, Saga Jepang. Batas Atterberg tanah adalah $wL = 120\%$ dan $wP = 57\%$, dengan berat jenis γ , pH dari larutan dalam pori serta konsentrasi sodium klorida adalah masing-masing sebesar 2,61, 8,8, and 3,2 g/L. Pada kondisi asli kandungan airnya adalah 130%. Pada penelitian tersebut kandungan airnya, w_c sekitar 120–250%. Kandungan semennya adalah sekitar 8 – 33%, menghasilkan penambahan air dengan semen w_c/C sebesar 7,5, 10 dan 15%. Hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan kuat tekan pada w_c/C sebesar 7,5% sebesar 1900 - 2200 kPa dengan regangan vertikal sebesar 1 - 1,5%.

F.H.M. Portelinha, dkk., (2012), melakukan penelitian dengan mencampurkan semen dan kapur (*hydrated lime*) pada tanah laterit (*red-yellow latosol*) sebesar 1%, 2% dan 3% untuk meningkatkan kapasitas tanah pada aplikasi konstruksi jalan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan tanah asli pada umur 7 dan 28 hari adalah sebesar 300 kPa dan kuat tekan tanah pada umur 7 hari dengan kandungan semen 3% adalah 1100 kPa dan dengan kapur 3% sekitar 600 kPa.

Penelitian yang dilakukan oleh Consoli N.C., dkk., 2001 memanfaatkan abu terbang kelas F dan kapur (*carbide lime*) untuk meningkatkan kapasitas lempung berpasir tidak plastis (*non plastic silty sand*). Salah satu instrumen pengujian yang dilakukannya adalah kuat tekan bebas. Hubungan tegangan dan regangan akibat beban tekan dievaluasi untuk memahami respon tanah yang

distabilisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh bahan pozzolan dari abu terbang akan memberikan pengaruh yang optimal pada peningkatan kuat tekan setelah waktu lebih 90 hari.

Kajian eksperimental yang dilakukan oleh Suksun Horpibulsuk, (2003) menggunakan uji tekan bebas untuk menilai perkembangan kekuatan lempung yang dicampur dengan semen dan kandungan air yang tinggi. Hukum Abram yang digunakan di beton diterapkan untuk menentukan hubungan kuat tekan dengan jumlah air.

Yaolin Yi, dkk., 2014, memanfaatkan berbagai variasi jumlah dan campuran terak tanur tinggi (*ground granulated blast furnace slag, ggbs*), MgO, kapur dan semen Portland (jenis CEM I berdasarkan BS EN 197-1) untuk meningkatkan kapasitas mekanik tanah. Dua jenis tanah yang digunakan yaitu *slightly clayey silty sand* dan *clayey silt*. Salah satu uji mekanik yang dilakukan adalah uji kuat tekan. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan komposisi terak tanur tinggi dan MgO lebih efisien sebagai bahan pengikat dengan kandungan MgO sekitar 5 - 20% dan jumlah campuran. Pada umur 28 hari, campuran yang mengandung terak tanur tinggi - MgO memiliki kuat tekan empat kali lebih besar dibandingkan campuran yang mengandung semen Portland.

N. Latifi, dkk., (2015) melakukan penelitian terhadap tanah laterit yang dapat ditemukan didaerah tropis dan tanah laterit tersebut memiliki komposisi SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan CO_2 masing masing sebesar 25,46%, 31,10%, 35,53% dan 7,91%. Bahan stabilisasi cair (*liquid-stabilized*) TX-85 yang dapat diperoleh di pasaran di Malaysia digunakan untuk meningkatkan kemampuan tanah laterit yang telah disaring dengan saringan no. #2. Pengujian kuat tekan bebas dilaksanakan sebagai salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi peningkatan kemampuan tanah laterit yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi cair. Hasil uji kuat tekan bebas campuran yang mengandung 9% bahan stabilisasi adalah 984 kPa setelah umur 7 hari. Nilai ini sekitar empat kali lebih besar dari kekuatan tanah yang tidak mengandung bahan stabilisasi liquid.

C. Tang, dkk., (2007) melakukan penelitian menggunakan semen untuk meningkatkan kemampuan tanah lempung (*clayed soil*). Salah satu hasil penelitian menunjukkan bahwa semen mampu bekerja sama dengan serat PP untuk meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik langsung tanah lempung (*clayed soil*). Setelah umur 28 hari, campuran tanah berlempung tanpa semen memiliki kuat tekan sebesar 0,2 MPa dan penambahan semen 5% serta 8% akan menghasilkan campuran dengan kuat tekan sebesar 0,4 MPa dan 0,64 MPa.

D. K. Paul dkk., (2013) menggunakan bahan pozzolan yaitu terak tanur tinggi dan abu terbang. Ada dua campuran yang diuji, yang pertama semen dan abu terbang serta campuran kedua yaitu terak tanur tinggi dan kapur padam digunakan dalam jumlah hingga 3% dari berat campuran untuk menstabilisasi material granular berupa batu pecah. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahan pozzolan dan bahan abu terbang dan terak tanur tinggi yang dicampur dengan bahan pengikat kapur padam dan semen mampu menyatukan material granular. Pada umur 28 hari kuat tekan campuran yang mengandung semen dan abu terbang dapat mencapai 4,2 MPa sedang campuran yang menggunakan kapur dan terak tanur tinggi dapat mencapai 3 MPa.

Soil Semen

Lapisan Pondasi Semen Tanah atau *Soil Cement oil cement* adalah hasil pencampuran tanah, semen dan air, yang dengan tingkat pemadatan tertentu akan menghasilkan suatu campuran material baru, *soil cement*, yang mana dikarenakan kekuatannya, karakteristik ketahanan terhadap oleh air, panas dan pengaruh cuaca lainnya adalah sangat baik.

Unconfined Compression Strength (UCS)

Uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test*) merupakan cara yang dilakukan di laboratorium untuk menghitung kekuatan geser tanah. Uji kuat ini mengukur seberapa kuat tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya juga mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut. Uji tekan bebas ini dilakukan pada contoh tanah asli dan contoh tanah tidak asli lalu diukur kemampuannya masing-masing contoh terhadap kuat tekan bebas. Dari nilai kuat tekan maksimum yang dapat diterima pada masing-masing contoh akan

didapat sensitivitas tanah. Nilai sensitivitas ini mengukur bagaimana perilaku tanah jika terjadi gangguan yang diberikan dari luar.

METODE PENELITIAN

Pemeriksaan Karakteristik Material

Material yang akan diuji berupa tanah lempung yang pengambilan materialnya berasal dari Erambu Merauke, Papua. Adapun pengujian dan metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada Tabel 1. Kapur padam Ca(OH)_2 digunakan sebagai bahan stabilisasi yang diharapkan mampu meningkatkan kuat tekan tanah laterit serta menjadi bahan pertimbangan untuk meningkatkan kemampuan material lokal sehingga mengurangi harga satuan biaya pembangunan jalan di daerah Papua khususnya. Metode pengujian karakteristik kapur padam yang digunakan diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik tanah laterit

No.	Jenis Pemeriksaan	Standar/Metode Uji
1	Pemeriksaan Klasifikasi Tanah	AASTO M145
2	Pemeriksaan Analisa Saringan	ASTM D 422
Pemeriksaan Batas-batas Atterberg:		
3	Batas Cair (LL)	ASTM D-432C
	Batas Plastis (PL)	ASTM D-424
	Batas Susut (SL)	ASTM D-427
4	Pemeriksaan Berat Jenis	SNI 03-1964-2008
5	Kompaksi	SNI 03-2832-1992

Tabel 2. Metode pengujian karakteristik Ca(OH)_2

No.	Karakteristik Material	Standar/Metode Uji
1	Berat Jenis	SNI 03-1964-2008
2	Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990

Karakteristik semen juga diperlukan untuk mengetahui karakteristik dan kelayaakan semen untuk digunakan dalam campuran tanah laterit dengan kapur sebagai material lokal dan mendukung peningkatan nilai kuat tekan maksimum campuran tanah laterit dengan kapur dan semen. Karakteristik semen diperlihatkan pada Tabel 3 dimana semen yang digunakan adalah semen *Portland* Komposit.

Tabel 3. Karakteristik semen

Karakteristik Material	SNI 15-7064-2004 Standar
Kadar air (%)	12 maks
Kehalusan	280 min
Pengembangan, %(maks)	0,8 maks
Kuat Tekan:	
a. 3 hari (kg/cm^2)	125 min
b. 7 hari (kg/cm^2)	200 min
c. 28 hari (kg/cm^2)	250 min
Waktu Pengerasan (Vicat tes)	
a. Pengerasan awal, menit	45 min
b. Pengerasan akhir	375 min
Waktu ikat palsu	50 min

Campuran yang dibuat adalah campuran antara tanah laterit dengan kapur padam dan semen Portland Komposit. Pada penelitian ini menggunakan campuran kapur padam dengan variasi penambah sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% dan penambahan kadar semen sebesar 10%.

Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 5,5 cm dan tinggi 11 cm yang telah diperam selama waktu yang ditentukan dikeluarkan dari plastik. Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah harus memenuhi ketentuan seperti pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Sifat-sifat yang disyaratkan untuk lapisan pondasi semen komposit tanah

Pengujian	Batas-Batas Sifat (Setelah Perawatan 7 Hari)		Metode Pengujian
	Minimum	Maksimum	
Unconfined Compressive Strenght (UCS) kg/cm2	20	35	SNI 03-6887-2002

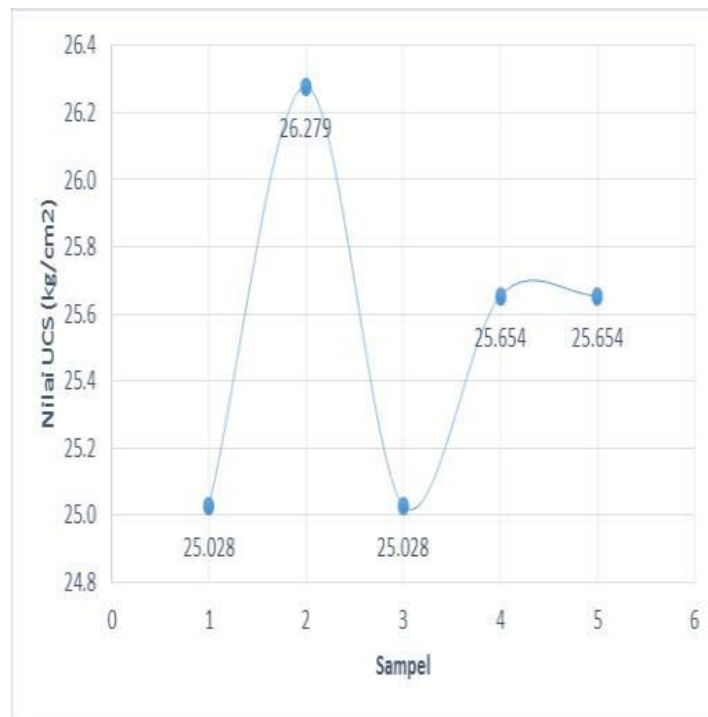
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Sampel yang dibuat sebanyak 5 buah sampel dengan komposisi bahan yang sama, setelah diperam selama 7 hari akan dilakukan pengujian Kuat Tekan (*UCS*).

Tabel 5. Hasil pengujian UCS kapur 10% dan semen 10%

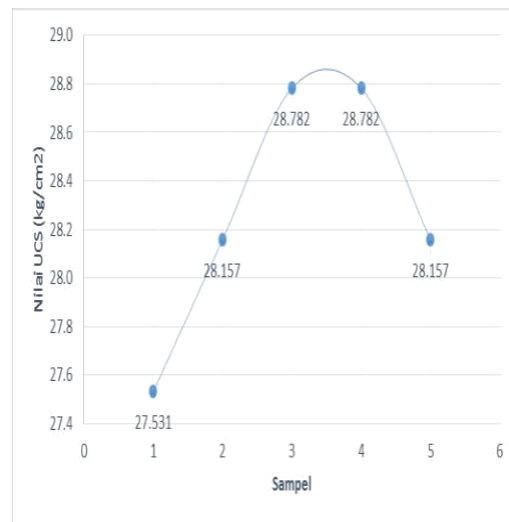
Sampel	Nilai UCS (Kg/cm ²)
1	25.028
2	26.279
3	25.028
4	25.654
5	25.654



Gambar 1. Grafik nilai UCS 10% kapur dan 10% semen

Tabel 6. Hasil pengujian UCS kapur 15% dan semen 10%

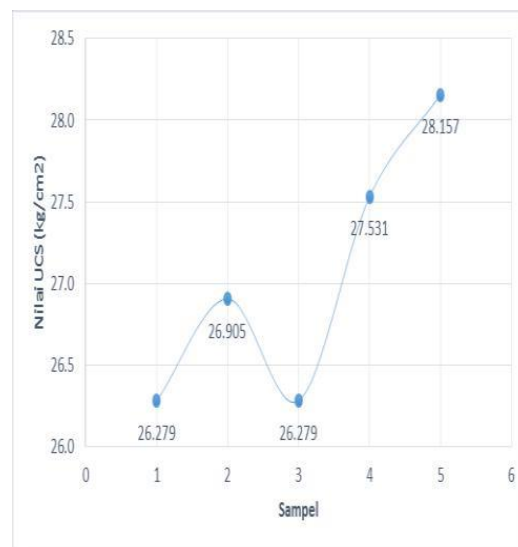
Sampel	Nilai UCS (Kg/cm ²)
1	27.531
2	28.157
3	28.782
4	28.782
5	28.157



Gambar 2. Grafik nilai UCS 15% kapur dan 10% semen

Tabel 7. Hasil pengujian UCS kapur 20% dan semen 10%

Sampel	Nilai UCS (Kg/cm ²)
1	26.279
2	26.905
3	26.279
4	27.531
5	28.157



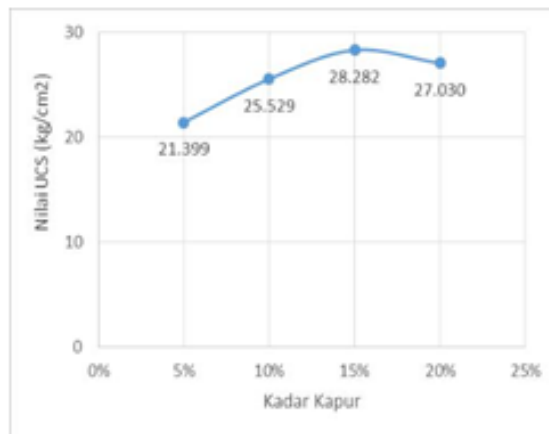
Gambar 3. Grafik nilai UCS 20% kapur dan 10% semen

PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai Kuat Tekan (*UCS*) yang sesuai dengan standar SNI 03-6887-2002 dengan nilai 20-35 Kg/cm² dapat digunakan sebagai konstruksi jalan, maka dari hasil penelitian yang dilakukan dilaboratorium bahwa dengan pemadatan untuk kapur 5% dan semen 10% telah memenuhi spesifikasi pemerintah sebesar 21,399 kg/cm². Namun untuk hasil pemadatan maksimumm didapat pada kadar kapur 15% dan semen 10% dengan hasil 28,529 kg/cm², ini dapat dilihat pada grafik Gambar 4.5 bahwa terjadi penurunan nilai kuat teka pada campuran kapur 20% dan semen 10%. Hasil pengujian dengan variasi kapur 5% ; 10%; 15% dan 20% dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 4 berikut:

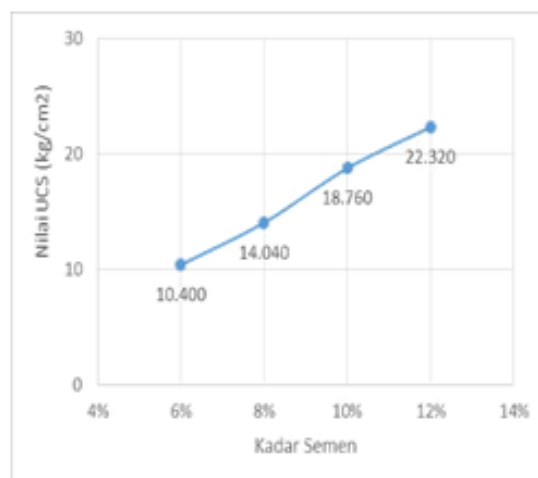
Tabel 8. Hasil pengujian rata-rata UCS

No.	Sampel	Nilai Rata-rata UCS (Kg/cm ²)
1	5% Kapur 10% Semen	21,399
2	10% Kapur 10% Semen	25,529
3	15% Kapur 10% Semen	28,282
4	20% Kapur 10% Semen	27,030



Gambar 4. Diagram hasil rata-rata

Dari Tabel 8 dan Gambar 4 dapat dilihat hasil rata-rata dari setiap kadar kapur yang berbeda, namun dari kadar kapur yang berbeda-beda tetap mendapatkan hasil yang sesuai dengan persyaratan SNI 03-6887-2002 antara 20-35 Kg/cm².



Gambar 5. Diagram hasil rata-rata pengujian UCS soil semen

Pada gambar 5 dapat dilihat hasil uji kuat tekan terhadap soil semen dengan kadar semen yang berbeda-beda. Pengujian ini telah dilakukan oleh awal dan akan dibandingkan dengan pengujian kuat tekan soil kapur semen.

Disimpulkan bahwa penggunaan soil semen saja memerlukan semen sebanyak 12% untuk memenuhi persyaratan yang ditentukan. Namun pada penggunaan soil kapur semen, penggunaan kadar semen sebesar 10% dan variasi kapur dari 5%; 10%; 15% dan 20% susah memenuhi persyaratan yang ditentukan yaitu 20-35 kg/cm². Ini membuktikan bahwa penggunaan soil kapur semen lebih menghemat penggunaan semen yang digunakan, mempunyai nilai kuat tekan yang lebih besar namun meminimalisi retakan yang terjadi.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan dapat di tarik kesimpulan bahwa:

1. Pada kadar kapur 15% dan semen 10% mendapatkan hasil kuat tekan yang maksimal sebesar 28,282 kg/cm². Namun pada kadar kapur 5% dan semen 10% sudah memenuhi syarat standar perkerasan jalan sesuai persyaratan SNI 03-6887-2002 yaitu sebesar 21,399 kg/cm².
2. Pengaruh penambahan kapur sangat terlihat pada hasil uji kuat tekan yang dilakukan. Dimana hasil uji kuat tekan yang dilakukan pada soil semen, membutuhkan kadar 12% semen untuk bisa mencapai persyaratan yang ditentukan. Sedangkan soil kapur semen dengan kadar 5% kapur dan 10% semen, sudah memenuhi persyaratan SNI 03-6887-2002 20-35 kg/cm².

DAFTAR PUSTAKA

2016. Tanah Laterit. [internet]. [diunduh 2019 Feb 25]. Tersedia pada <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/tanah/tanah-laterit>.
- Bobi Andika Putra. 2013. Definisi Semen Secara Umum. [internet]. [diunduh 2019 Feb 25]. Tersedia pada <https://bobiandikaputra.wordpress.com/2013/01/08/definisi-semen-secara-umum/>
- Chaosheng Tang, Bin Shi, Wei Gao, Fengjun Chen, Yi Ca, Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil, *Geotextiles and Geomembranes* 25 (2007) 194–202.
- D. K. Paul & C. T. Gnanendran (2013) Stress–strain behaviour and stiffness of lightly stabilised granular materials from UCS testing and their predictability, *International Journal of Pavement Engineering*, 14:3, 291-308.
- Hardiyatmo Hary Christady. 2010. *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Lamudi. 2016. Jenis Semen dan Fungsinya. [internet]. [diunduh 2019 Feb 25]. Tersedia pada <https://www.lamudi.co.id/journal/macam-jenis-semen-dan-fungsi/>
- Nilo Cesar Consoli, Pedro Prietto, J. Antonio H. Carraro dan Karla Salvagni Heineck, (2001), Behavior of Compacted Soil-Fly Ash-Carbide Lime Mixtures, *Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering* , pp. 774-782.
- Nima Latifi, Aminaton Marto and Amin Eisazadeh, Analysis of strength development in non-traditional liquid additive-stabilized laterite soil from macro and micro-structural considerations, *Environ Earth Sci* (2015) 73:1133–1141.
- S. Horpibulsuk, N. Miura dan T. S. Nagaraj, (2003), Assessment of strength development in cement-admixed high water content clays with Abrams' law as a basis, *Geotechnique* 53, No. 4, pp. 439–444.

- S. Horpibulsuk, N. Miura, dan T. S. Nagaraj, (2005), Clay–Water/Cement Ratio Identity for Cement Admixed Soft Clays, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131, No. 2, pp. 187-192.
- SNI 03-3437-1994 Tata Cara Pembuatan Rencana Stabilisasi Tanah Kapur untuk Jalan Raya
- SNI 03-6887-2002: "*Metode pengujian kuat tekan bebas campuran tanah semen15*"
- Spesifikasi Khusus Interim (2013). Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Spesifikasi Khusus Intern (2013) Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah Kementrian PU, Bina Marga.
- Sujit Kumar Dash dan Monowar Hussain, 2012, Lime Stabilization of Soils: Reappraisal, *Journal rails of l Engineering*, Vol. 2 Maten Civi4, No. 6, pp. 707-714.
- Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 01/SE/M/2010: "*Pemberlakuan Pedoman Pelaksanaan Stabilisasi Bahan Jalan Langsung di Tempat Dengan Bahan Serbuk Pengikat*"
- Yaolin Yi, S.M., Martin Liska, and Abir Al-Tabbaa, (2014), Properties of Two Model Soils Stabilized with Different Blends and Contents of GGBS, MgO, Lime, and PC, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 26, No. 2, pp. 267-274.

BENTUK DAN DIMENSI MODEL BLOK TIPE X PENOPANG RIPRAP UNTUK PERKUATAN LERENG

Enos Karapa¹, Tri Harianto², Achmad Bakri Muhiddin³ dan Rita Irmawaty⁴

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp 081392851265, email: enoskarapa455@gmail.com

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 081338607292, email: triharianto@hotmail.com

³Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 082187423294, email: achmad_muhiddin@yahoo.com

⁴Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 081524233635, email: rita_irmaway@yahoo.co.id

ABSTRAK

Perkuatan lereng dengan berbagai metode telah banyak dilakukan, namun penerapannya tidak dapat dilakukan disetiap tempat yang berbeda dan biaya yang mahal terkadang menjadi kendala. Penelitian awal ini mempelajari pemanfaatan penopang blok pengaman terhadap penggunaan riprap sebagai alternatif perkuatan lereng dengan membuat model skala laboratorium. Pembuatan model perkuatan lereng dengan blok tipe x diharapkan dapat meminimalisir terjadinya kegagalan dalam perkuatan lereng. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan bentuk dan dimensi blok tipe x untuk menghasilkan perkuatan lereng yang lebih maksimal, serta mengevaluasi perilaku mekanis lereng, yang diberi perkuatan batuan yang diikat oleh blok tipe x. Pengujian dilakukan dalam dua tipe, yaitu tipe tanpa perkuatan, dan tipe perkuatan dengan blok tipe x. Hasil dari penelitian ini diharapkan menghasilkan bentuk model perkuatan blok tipe x sebagai penopang riprap untuk menambah nilai kestabilan lereng.

Kata kunci : lereng, blok tipe x, riprap

PENDAHULUAN

Bencana tanah longsor adalah bahaya yang meluas yang terjadi di banyak daerah di dunia dan menyebabkan kerusakan yang besar pada masyarakat (Rossi et al., 2019). Setiap tahun bencana ini menyebabkan lebih dari 100.000 kematian dan cedera dan kerusakan lebih dari satu miliar USD. Di beberapa negara, kerugian ekonomi dan korban dari tanah longsor diremehkan. Bencana tanah longsor menghasilkan kerugian yang lebih besar daripada bencana alam lainnya, termasuk gempa bumi, banjir, dan badai angin (Akgun, 2011). Bencana tanah longsor juga telah terjadi di beberapa wilayah Indonesia dan menimbulkan dampak yang merugikan di berbagai bidang, seperti lingkungan, sosial, dan ekonomi. Bencana tanah longsor pada beberapa kejadian dapat terjadi disebabkan oleh pemicu yang sama (mis., badai hujan, periode curah hujan yang berkepanjangan. (Salvati et al., 2018)

Longsoran dapat terjadi diawali dengan proses erosi pada permukaan suatu lereng. Walaupun erosi merupakan proses alami yang mudah dikenali, namun di kebanyakan tempat kejadian ini diperparah oleh aktivitas manusia dalam tata guna lahan yang buruk, penggundulan hutan, kegiatan pertambangan, perkebunan dan perladangan, kegiatan konstruksi/pembangunan yang tidak tertata dengan baik dan pembangunan jalan. Salah satu metode penanganan lereng adalah dengan cara mengurangi erosi permukaan lereng. Penanganan erosi permukaan lereng telah banyak dilakukan dengan menggunakan media tanaman atau metode vegetatif, (Fattet, 2011). Selain dengan media tanaman penanganan erosi lereng juga dapat dilakukan dengan jenis pengaman lereng yang flexible yaitu bangunan riprap (S.R.Abt, 2014)

Riprap termasuk dalam tipe *flexible revetment* yaitu bangunan pengaman tebing yang melindungi dari gerusan dengan lapisan batuan. Penggunaan riprap sebagai penahan dinding melindungi tebing

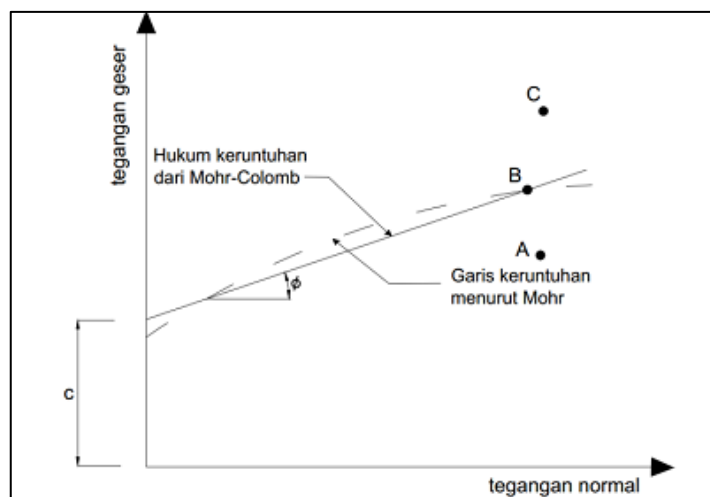
dengan lapisan batuan mengikuti kemiringan bentuk tebing. Namun dalam pelaksanaannya penggunaan bangunan riprap ini sering juga mengalami kegagalan akibat erosi partikel, gerakan lereng yang miring dari massa batu maupun gerakan massa material di sepanjang permukaan slip internal dalam selimut riprap, (SA Brown, ES Clyde, 1989). Untuk mencegah kegagalan kami memperkuat riprap dengan penopang blok beton tipe x. Blok beton tipe x ini adalah blok beton yang tampak depannya berbentuk huruf x, blok ini akan dipasang mengikuti pemasangan batu riprap sepanjang lereng. Penggunaan blok beton tipe x ini bertujuan untuk menahan beban berat dan mengunci riprap batu yang terpasang sehingga tidak terjadi pergerakan. Penelitian ini adalah penelitian awal yang bertujuan untuk mempelajari perkuatan lereng dengan penopang blok beton tipe x pada contoh model skala laboratorium. Dari penelitian ini diharapkan perkuatan lereng dengan blok tipe x dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan efektifitas fungsi riprap sebagai perkuatan lereng.

LANDASAN TEORI

Stabilitas lereng

Stabilitas lereng berkaitan dengan hubungan antara penggerak dan melawan kekuatan. Beberapa faktor berkontribusi pada kekuatan penggerak sedangkan yang lain menambah kekuatan penolak. Oleh karena itu, faktor-faktor yang mengatur ini sangat penting untuk analisis stabilitas lereng batuan secara umum dan untuk mode bidang kegagalan pada khususnya. Faktor pengatur internal utama adalah; geometri lereng, karakteristik bidang kegagalan potensial, drainase permukaan dan kondisi air tanah (Wang dan Niu, 2009), dimana faktor eksternal adalah curah hujan, kegempaan dan kegiatan buatan manusia (Raghuvanshi et al., 2014). Faktor-faktor ini dalam kombinasi akan bertanggung jawab dalam menentukan kondisi stabilitas lereng.

Parameter yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng ada dua, yaitu parameter internal dan parameter eksternal. Parameter internal adalah parameter penyebab yang menentukan kondisi stabilitas yang menguntungkan atau tidak menguntungkan dalam lereng. Parameter internal ini adalah geometri lereng, material lereng, diskontinuitas struktural, penggunaan lahan dan tutupan lahan dan air tanah (Raghuvanshi, 2014). Tergantung pada kondisi yang diberikan untuk masing-masing parameter internal ini, mereka mungkin memiliki pengaruh terhadap kondisi stabilitas lereng. Parameter eksternal yang paling penting yang dapat memicu ketidakstabilan di lereng adalah curah hujan, kegempaan dan aktivitas buatan manusia.

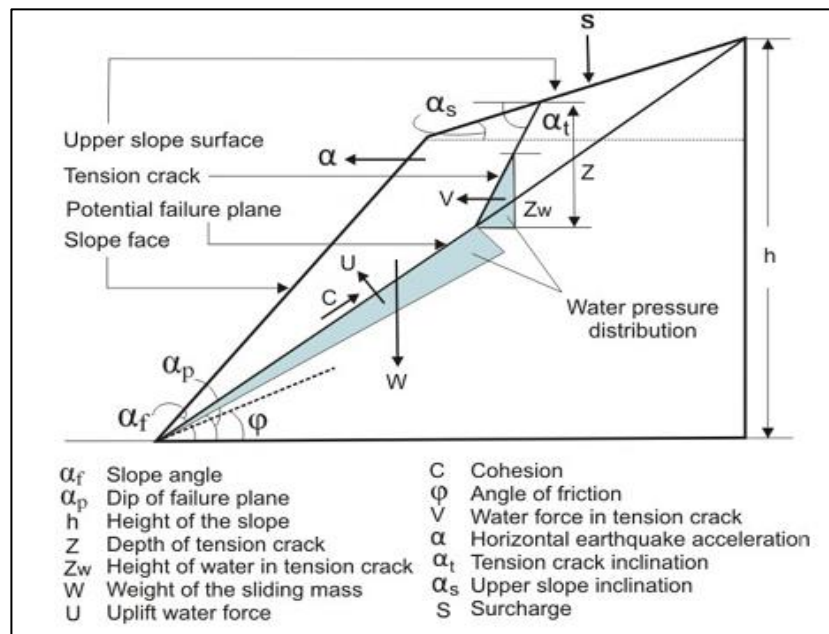


Gambar 1. Garis keruntuhan Mohr dan hukum keruntuhan *Mohr Coulomb*

Analisis stabilitas lereng merupakan proses menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk di sepanjang permukaan bidang longsor yang paling memungkinkan dengan kekuatan geser dari tanah tersebut. Kekuatan geser tanah adalah perlawanan dari dalam tanah terhadap

pergeseran di sepanjang bidang geser pada tanah tersebut. Keruntuhan dapat terjadi karena kombinasi kritis tegangan normal dan tegangan geser (Das 1994).

Jenis kegagalan yang paling umum di lereng batuan adalah mode kegagalan bidang miring (Raghuvanshi, 2017). Stabilitas lereng, yang memiliki mode kegagalan bidang potensial, tergantung pada faktor-faktor yang mengatur yaitu; kemiringan kemiringan (α_f), kemiringan permukaan kemiringan atas (α_s), ketinggian kemiringan (h), kemiringan bidang potensi kegagalan (α_p), tensioncrack (α_t), parameter kekuatan geser (Koheksi (C), dan sudut pelepasan (ϕ)) dari potensi kegagalan permukaan, ketinggian air dalam tensioncrack (Z_w) dan percepatan gempa horizontal (α) (Gbr. 3) (Raghuvanshi et al., 2017). Dalam kasus mode bidang kegagalan, massa batuan yang bersandar pada bidang kegagalan potensial dikenai gaya tarik gravitasi. Selain itu, kekuatan air yang bekerja di sepanjang bidang kegagalan potensial cenderung merusak lereng. Juga, kekuatan muatan dan biaya tambahan yang dinamis dapat juga berkontribusi pada kekuatan pendorong (Raghuvanshi, 2017). Gaya penahan utama adalah karena kekuatan geser sepanjang bidang potensi kegagalan dan komponen berat massa geser yang bekerja melintasi bidang kegagalan potensial. Rasio antara gaya penahan dengan tenaga penggerak mendefinisikan FoS. Dalam Hoek dan Bray, 1981, jika FoS ini lebih besar dari 1 kemiringan merepresentasikan kondisi stabil jika tidak maka kondisi tersebut tidak stabil (Raghuvanshi, 2017)



Gambar 2. Geometri lereng dan faktor-faktor yang mengontrol penyebab stabilitas lereng memiliki mode kegagalan bidang yang potensial (Raghuvanshi, 2017)

Metode Riprap

Kestabilan lereng menjadi sangat penting terkait bencana alam longsor yang dapat mengancam pengguna lahan di dasar tebing. Gerakan tanah/longsor adalah perpindahan massa tanah/batuan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Dalam definisi ini termasuk juga deformasi lambat atau jangka panjang dari suatu lereng yang biasa disebut rayapan (*creep*). Penggunaan Riprap sebagai penahan dinding yakni melindungi tebing dengan lapisan batu yang mengikuti kemiringan bentuk tebing. Dimana metode ini dengan membersihkan lahan dari tebing yang akan dilindungi seperti dari semak dan pohon. Lalu tebing yang akan dilindungi digali secukupnya untuk pemasangan lapisan geotextile dan batu riprap. Penggunaan Riprap yang mudah, cepat, murah, dan flexible, serta dikhususkan untuk menahan erosi yang terjadi di dasar tebing. Riprap juga dapat dikombinasikan dengan struktur perlindungan yang lain, selain itu Riprap masih

mengizinkan terjadinya perkolasi yakni mengalirnya air secara gravitasi dari lapisan atas menuju lapisan di bawahnya.

Riprap tetap menjadi salah satu cara yang paling umum dan hemat biaya untuk memberikan perlindungan erosi, stabilitas struktur, dan stabilisasi lereng dari kondisi aliran yang berlebih. Saat ini, setidaknya dua puluh empat hubungan desain riprap dan atau prosedur sintesis telah dirumuskan sejak 1936 untuk menentukan ukuran riprap batu (S. R. Abt, 2014). Keuntungan utama dari perlindungan riprap adalah: 1. Selimut rip-rap fleksibel dan tidak terganggu atau dilemahkan oleh sedikit gerakan atau penurunan dasar lereng. 2. Kerusakan atau kehilangan lokal dapat diperbaiki relatif mudah. 3. Konstruksi tidak rumit (Biswasa, 2015).

Mode Kegagalan Riprap

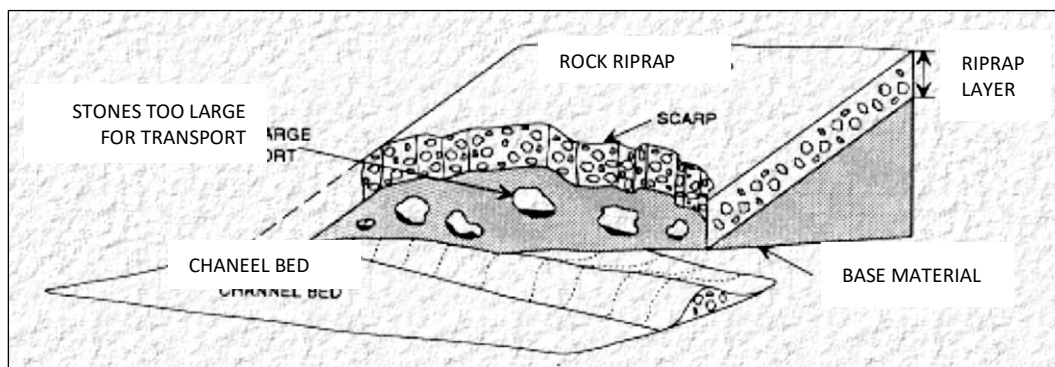
Banyak penyebab erosi dan kegagalan riprap telah diidentifikasi. Beberapa yang lebih umum termasuk abrasi, aliran debris, aliran air, percepatan aliran, aliran tidak stabil, pembekuan/pencairan, aksi manusia di tepian, es, presipitasi, gelombang, erosi kaki, dan aliran bawah permukaan. Namun, kombinasi dari mekanisme yang menyebabkan kegagalan riprap, dan mekanisme atau penyebab sebenarnya biasanya sulit untuk ditentukan. Kegagalan riprap telah diklasifikasikan oleh mode kegagalan. Blodgett (1986), telah mengidentifikasi mode kegagalan riprap klasik sebagai berikut:

1. Particle erosion.
2. Translational slide.
3. Modified slump.
4. Slump.

Erosi partikel adalah mekanisme erosi yang paling umum. Erosi partikel terjadi ketika gaya traktif yang diberikan oleh air yang mengalir melebihi kemampuan material tepi untuk menahan gerakan. Selain itu, jika batu yang dipindahkan tidak diangkat dari daerah yang tererosi, gundukan batu yang dipindahkan akan terbentuk di dasar saluran. Gundukan ini telah diamati menyebabkan konsentrasi aliran di sepanjang tepi sungai, yang mengakibatkan erosi tepi lebih lanjut.

Erosi partikel dapat dimulai dengan abrasi, pelampiasan air yang mengalir, arus balik, akselerasi aliran lokal, aksi beku / pencairan, es, atau erosi kaki lereng. Kemungkinan penyebab erosi partikel meliputi:

1. Ukuran batu tidak cukup besar
2. Batu terlepas karena benturan atau abrasi
3. Kemiringan sisi tebing begitu curam sehingga sudut istirahat dari bahan riprap mudah terlampaui.
4. Gradasi riprap terlalu seragam.

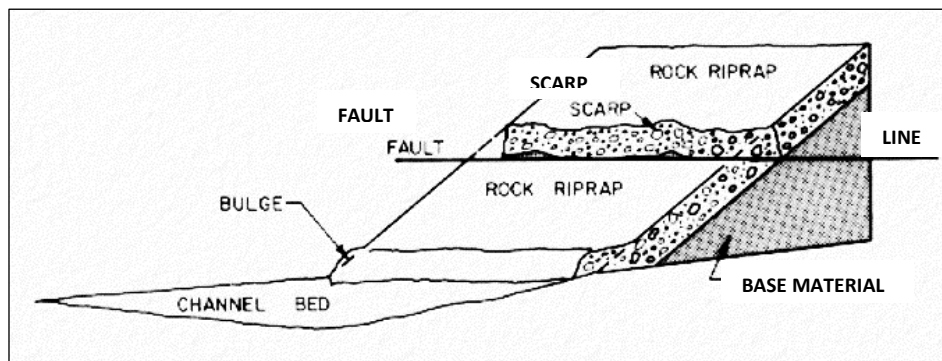


Gambar 3. Particle erosion failure (Blodgett, 1986)

Slide translational adalah kegagalan riprap yang disebabkan oleh gerakan lereng yang miring dari massa batu, dengan garis patahan pada bidang horizontal. Fase awal *slide translational* ditandai

dengan retakan di bagian atas tepi riprap yang memanjang sejajar dengan saluran. Saat slide berlangsung, bagian bawah riprap terpisah dari bagian atas, dan bergerak ke bawah sebagai badan yang homogen. Kemungkinan penyebab slide translasi adalah sebagai berikut:

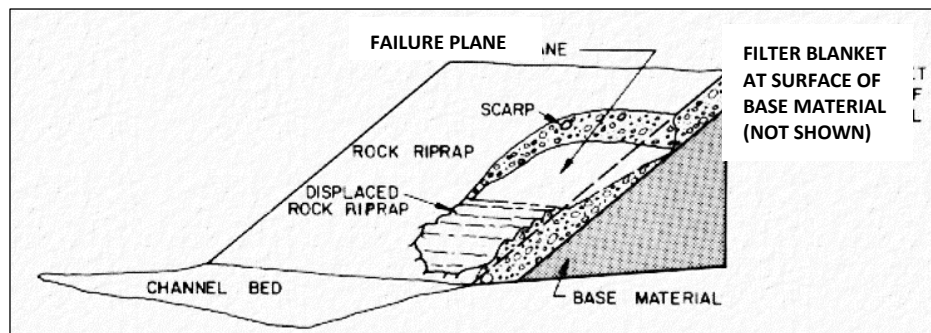
1. Kemiringan bagian tepi terlalu curam
2. Kehadiran tekanan hidrostatik (pori) berlebih
3. Kehilangan dukungan fondasi di ujung selimut riprap yang disebabkan oleh erosi pada bagian bawah selimut riprap



Gambar 4. Translational slide failure (Blodgett, 1986)

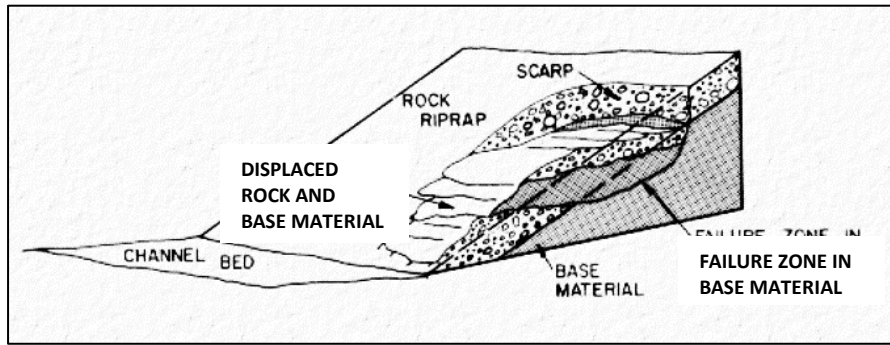
Kegagalan riprap yang dimaksud *modified slump failure* adalah gerakan massa material di sepanjang permukaan slip internal dalam selimut riprap sedangkan material dasar yang mendukung riprap tidak gagal. Jenis kegagalan ini mirip dalam banyak hal dengan slide translasi, tetapi geometri riprap yang rusak serupa bentuknya dengan tahap awal kegagalan yang disebabkan oleh erosi partikel. Kemungkinan penyebab kegagalan ini adalah:

1. Kemiringan tepi sangat curam sehingga riprap berada sangat dekat dengan sudut istirahat, dan pergerakan masing-masing batu menghasilkan ketidakstabilan untuk batu lain dalam selimut.
2. Hilangnya material riprap oleh dampak abrasi, erosi partikel, atau penyebab lainnya



Gambar 5. Modified slump failure (Blodgett, 1986)

Slump adalah gerakan rotasi-gravitasi material di sepanjang permukaan pecah yang memiliki kurva ke atas cekung. Penyebab kegagalan slump terkait dengan kegagalan geser dari bahan dasar yang mendukung revetment riprap. Hal utama dari kegagalan slump adalah perpindahan material



Gambar 6. Slump failure (Blodgett, 1986)

dasar di sepanjang permukaan slip, yang biasanya disebabkan oleh tekanan pori berlebih yang mengurangi gesekan di sepanjang garis patahan dasar material. Penyebab kegagalan adalah:

- Material dasar tidak homogen dengan lapisan bahan kedap air yang bertindak sebagai garis patahan bila mengalami tekanan pori berlebih.
- Kemiringan tepi terlalu curam, dan gaya gravitasi melebihi gaya inersia riprap dan material dasar sepanjang bidang gesekan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan akan menguraikan objek penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan, rancangan penelitian serta analisis semua permasalahan yang ada dalam proses penelitian.

Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah bahan dan peralatan yang sesuai dengan standar pengujian laboratorium, yaitu sebagai berikut:

1. Jenis tanah yang akan digunakan untuk membuat lereng adalah jenis tanah lunak (*medium clay*) Tanah yang digunakan terlebih dahulu diperiksa di laboratorium mekanika tanah untuk mengetahui data gradasi, kadar air, batas Atterberg (batas cair, batas plastis, indeks plastis), berat isi kering maksimum, kadar air optimum dan uji pemadatan proctor.
2. Bahan pembuatan blok tipe x ini adalah bahan atau material yang terdiri dari agregat kasar ukuran max. 1 cm, semen, pasir halus, kawat baja (3-5 mm). Diameter blok tipe x 2 cm dan panjang 20 cm.
3. Material lapisan lereng yang akan dipasang bersama dengan blok-blok beton adalah batu pecah/cipping atau alami (kerikil). Ukuran diameter dari batu akan disesuaikan dengan ukuran blok beton.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotak baja (tempat pembuatan lereng), alat uji kuat tekan, alat uji kuat tarik, alat uji point load, alat uji kuat geser

Rancangan Pengujian

Rancangan pengujian penelitian akan dilakukan terhadap benda-benda uji yang akan digunakan, untuk mendapatkan karakteristik material serta komposisi material sesuai dengan standar pengujian.

Pengujian Tanah

1. Analisa butir tanah. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya butiran tanah.
2. Batas Atterberg, meliputi batas cair (*liquid limit*) yaitu kadar air yang terletak pada batas antara keadaan plastis dan keadaan cair, batas plastis (*Plastic limit*) yaitu kadar air yang terletak pada batas antara keadaan liat dan keadaan plastis dan indeks plastis (*Plasticity index*) yaitu selisih antara batas cair dan batas plastis. Pengujian dengan alat atterberg dilakukan untuk mengetahui jenis tanah yang akan digunakan.

3. Kadar air. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam tanah.
4. Kepadatan. Pengujian yang dilakukan adalah kepadatan standar laboratorium untuk mengetahui berat isi kering maksimum (γ_d), yaitu perbandingan antara berat butir dan isi tanah yang selanjutnya dipakai sebagai pembanding kepadatan tanah pada tanah yang diuji

Pengujian Blok Beton Tipe X

Blok beton tipe x adalah campuran bahan pengikat yang mengikat, agregat halus dan air. Pengujian yang dilakukan terhadap blok beton tipe x ada 2 pengujian yaitu,

1. Pengujian komposisi material penyusun blok beton tipe x
2. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan hancur dari benda uji tersebut.
3. Pengujian kuat tarik dilakukan untuk mengetahui batas kuat tarik dari benda uji tersebut.

Pengujian Material Batu

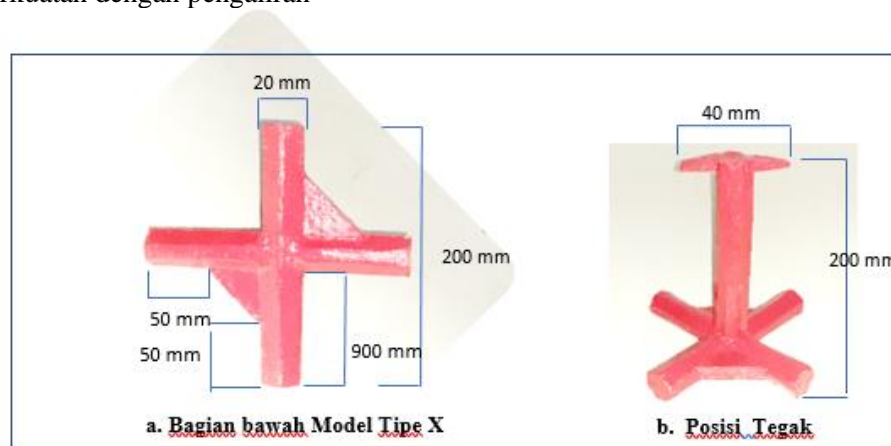
Batu yang akan digunakan sebagai penyusun selimut lereng harus memiliki standar baik ukuran maupun bentuk. Oleh karena itu pengujian yang akan dilakukan terhadap batu penyusun lereng adalah :

1. Analisis Ukuran
2. Analisis tingkat pelapukan

Pengujian Perkuatan

Pengujian perkuatan dilakukan setelah semua benda uji terpasang dengan baik pada lereng. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat erosi lereng dan besarnya faktor keamanan lereng. Oleh karena itu untuk mendapatkan nilai tersebut, maka perlu dilakukan pengujian

1. Perkuatan tanpa pengaliran
2. Perkuatan dengan pengaliran

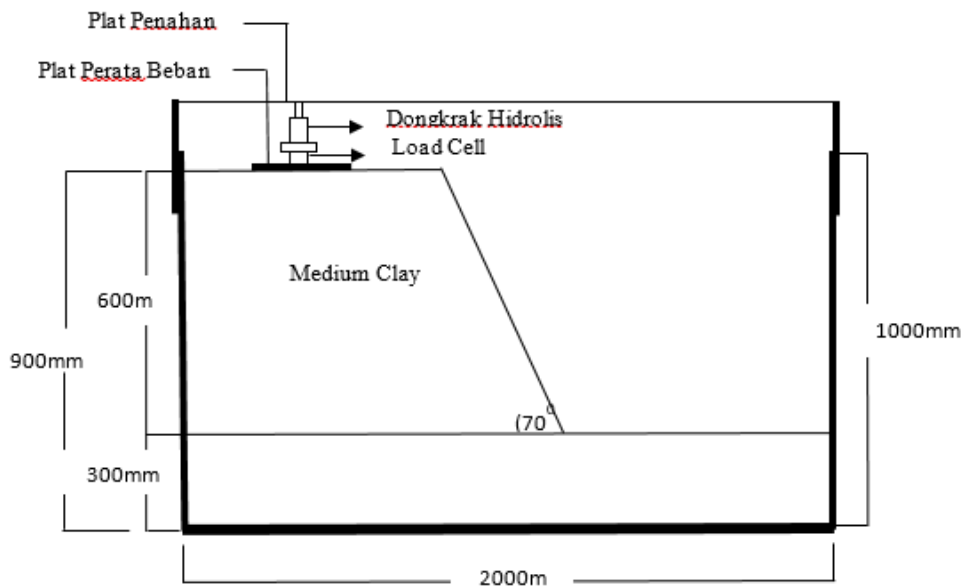


Gambar 7. Model perkuatan blok tipe x

Tipe Perkuatan Lereng

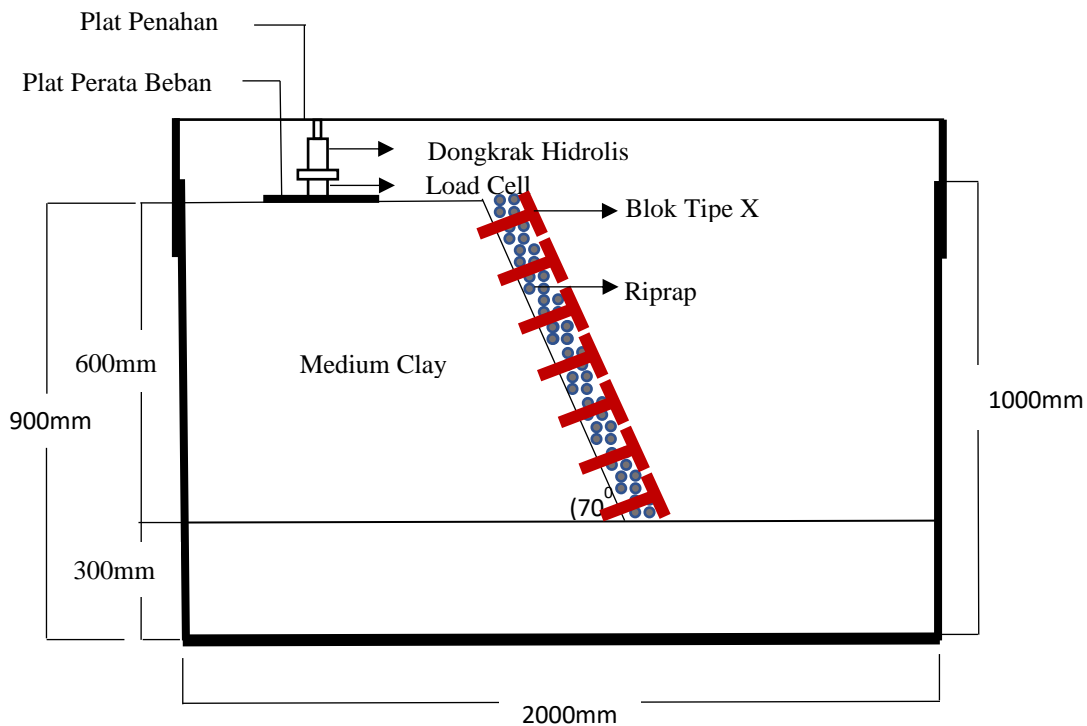
Perkuatan blok tipe x akan dilakukan dalam 2 tipe, yaitu tipe tanpa perkuatan atau hanya lereng tanah, dan perkuatan dengan blok tipei. Setiap tipe akan dilakukan pengujian yang sama untuk melihat perbandingan nilai faktor keamanan lereng dari setiap perkuatan yang dilakukan.

Tipe 1 adalah tipe pengujian lereng tanpa perkuatan, tipe ini hanya akan menguji daya dukung tanah yang telah dianalisis serta dibentuk menjadi sebuah lereng.



Gambar 8. Ilustrasi pengujian tipe 1 tanpa perkuatan

Tipe 2 adalah tipe dengan perkuatan model blok tipe x, tipe ini adalah pengujian lereng dengan menggunakan blok tipe x dengan riprap.



Gambar 9. Ilustrasi pengujian dengan perkuatan tipe 2 blok Tipe x

KESIMPULAN

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental uji skala model, untuk menentukan bentuk dan dimensi blok tipe x penopang riprap sebagai alternatif perkuatan lereng tanah yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akgun Aykut, 2012, A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods, *Landslides* (2012) 9:93–106 DOI 10.1007/s10346-011-0283-7, Springer-Verlag 2011
- Biswasa Piya, A.K.Barbhuiyab, 2015 Experimental study on scour at 90° horizontal forced bend and its protection using riprap, *Science Direct Aquatic Procedia* 4 (2015) 797 – 804
- Blodgett J.C., and McConaughy, C.E., 1986, "Evaluation of Riprap Design Practices," Volume 2 of "Rock Riprap Design for Protection of Channels Near Highway Structures," U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations, Report 86-4128, Prepared in cooperation with the Federal Highway Administration.
- Das, Bradja M., Endah Noor., 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 2. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Fattet M, Y. Fu, M. Ghestem, W. Ma, M. Foulonneau, , 2011, Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength, *journal homepage: www.elsevier.com/locate/catena*
- Raghuvanshi, T.K., Ibrahim, J., Ayalew, D., 2014. Slope stability susceptibility evaluation parameter (SSEP) rating scheme – an approach for landslide hazard zonation. *J. Afr. Earth Sci.* 99, 595–612
- Raghuvanshi, T.K., 2017, Plane failure in rock slopes – A review on stability analysis techniques, *Journal of King Saud University – Science journal homepage: www. sciencedirect.com*
- Rossi Mauro, Guzzetti Fausto, Paola Salvati, Marco Donnini, Elisabetta Napolitano, Cinzia Bianchi, 2019, A predictive model of societal landslide risk in Italy, *Earth-Science Reviews*, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.021>
- SA Brown, ES Clyde, 1989, *Design of Riprap Revetment*, Federal Highway Administration, 1200 New Jersey Avenue, SE Washington, DC United States
- Salvati, P., Petrucci, O., Rossi, M., Bianchi, C., 2018. Gender, age and circumstances analysis of flood and landslide fatalities in Italy. *Science of the Total Environment* 610–611, 867–879. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.08.064
- S. R. Abt and C. I. Thornton, 2014, *Riprap Design for Overtopping – Man Do I Need a Martini! Water without Borders* © ASCE 2014
- Wang Jiabin, Niu Ditao, Hui He, 2009, Frost durability and stress–strain relationship of lining shotcrete in cold environment, *Construction and Building Materials journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat*

UJI MODEL KAPASITAS TARIK ANGKUR TANAH TYPE LIPAT (*FOLDING TYPE*) PADA TANAH KOHESIF

Muhammad Idhil Maming^{1,a}, A.Rachman Djamaluddin², Tri Harianto³, dan
Achmad Bakri Muhiddin⁴

¹ Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 082194758779, corresponding author. Email: idhil.m@gmail.com

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 081355547979, Email: jamaluddinabdurrahman@yahoo.co.id

³ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 081338607292, Email: triharianto@hotmail.com

⁴ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 082187423294, Email: achmad_muhiddin@yahoo.com

ABSTRAK

Angkur Tanah (*ground anchor*) digunakan untuk menahan tegangan tarik akibat adanya pembebanan baik itu beban alami tanah maupun akibat beban luar dan meneruskan gaya kedalam tanah. Angkur tanah umumnya digunakan pada struktur penahan gaya tarik/tarik dan gaya lateral seperti pada struktur dinding, fondasi, menara transmisi, turap, dermaga terapung, mooring dolphin dan bangunan lepas pantai.

Berbagai tipe ankur tanah telah banyak digunakan seperti *drag*, *helical*, pelat berbentuk lingkaran, bujur sangkar dan persegi. Khusus untuk penggunaan ankur pelat yang masif terdapat kesulitan dalam pemasangannya, karena harus digali terlebih dahulu sebelum dipasang. Hal ini menjadi tantangan dalam ilmu rekayasa, terutama pada kondisi tanah kohesif (tanah lunak). Dengan pertimbangan tersebut diperlukan inovasi baru untuk mengembangkan model ankur yang lebih mudah dalam pemasangan namun tetap memiliki kapasitas tarik cukup besar.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas tarik dengan menggunakan ankur tanah type lipat (*folding type*) yang diharapkan dapat mengatasi permasalahan bangunan pada tanah kohesif. Pengujian yang dilakukan adalah uji kapasitas tarik ankur dengan variasi kepadatan dan luasan elemen ankur pada kondisi tanah lunak (*soft*, $q_c=14-40$ kg/cm²), agar didapatkan besaran gaya tarik ankur yang akan direncanakan. Kinerja ankur tanah type lipat ini didasarkan pada kapasitas tarik dan kedalaman ankur.

Hasil yang diharapkan adalah temuan ankur tanah type lipat (*folding type*) dengan kapasitas tarik besar yang mampu memberikan perkuatan bangunan pada kondisi tanah kohesif (tanah lunak).

Kata kunci : kapasitas tarik, ankur tanah type lipat, tanah kohesif

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara maritim mempunyai lebih dari 3.700 pulau berpenghuni dan garis pantai sepanjang 80000 km. Wilayah pantai pada umumnya digunakan oleh penduduk untuk melakukan berbagai aktivitas untuk memenuhi kebutuhannya seperti sebagai kawasan industri, pelabuhan, aktivitas perikanan, pertanian, kawasan pemerintahan dan kawasan pariwisata, maka dibutuhkan berbagai prasarana dan sarana yang akan dibangun sepanjang pesisir pantai.

Di beberapa wilayah pantai di Indonesia, banyak dijumpai deposit tanah lunak (*soft soil*) baik di daerah pantai, perairan lepas pantai, dan daratan. Khusus untuk bangunan di daerah pantai (*shore*) dan lepas pantai (*offshore*) banyak aktifitas yang terkait dengan pemanfaatan sumber daya, harus membangun infrastruktur seperti *floating doc*, *mooring dolphin*, *floating break water*, anjungan

lepas pantai terapung, bagang, rumah terapung, rumpon dan sebagainya. Semua bangunan tersebut memerlukan solusi untuk menjaga stabilitas bangunan yang akan dibangun, baik bangunan sementara maupun permanen. Persoalan utama yang dihadapi untuk bangunan dipantai atau lepas pantai adalah masalah kestabilan struktur akibat pergerakan air laut baik secara vertikal akibat pasang surut maupun pergerakan horizontal akibat arus, angin dan gelombang. Untuk menjaga kestabilan akibat pergerakan vertikal gaya apung (*uplift*) maka diperlukan suatu struktur penahan yang dikenal dengan angkur (*anchors*).

Struktur yang menggunakan angkur tanah telah banyak dikembangkan untuk berbagai keperluan seperti pada perkuatan lereng, dinding penahan tanah (turap), stabilitas terowongan, pondasi menara transmisi untuk menahan gaya tarik, guling dan sebagainya. Terdapat banyak tipe angkur yang telah dikembangkan untuk berbagai keperluan tergantung kepada besar dan tipe beban, tipe struktur, dan kondisi lapisan tanah setempat dan sebagainya. Penelitian tentang penggunaan angkur telah banyak dilakukan sebelumnya. Studi tentang kapasitas batas tarik/tarik angkur tanah telah dilakukan oleh R.S. Merifield and S.W. Sloan (2006) dan Djamaluddin, R (2003). Hasil penelitian yang lainnya berusaha untuk memahami perilaku dari angkur pada tanah kohesif dan nonkohesif baik akibat beban statis maupun siklik/dinamis.

Pengembangan bentuk dan model angkur yang memiliki kemudahan dalam pemasangan dengan kapasitas dukung yang besar perlu dikembangkan. Khusus untuk penggunaan angkur pada tanah kohesif (*cohesivesoil*) yang memiliki ketebalan yang besar, memungkinkan untuk dilakukan inovasi dengan menggunakan angkur tanah type lipat (*folding type*). Penggunaan angkur type lipat pada tanah kohesif dengan asumsi elemen angkur akan dimekarkan pada saat posisi elemen sudah mencapai kedalaman yang telah ditentukan. Sebagai tahap awal pengembangan angkur type lipat ini, maka akan dilakukan suatu rangkaian tes terhadap variasi kepadatan pada kondisi tanah lunak (*soft*, $q_c=14-40 \text{ kg/cm}^2$), dan variasi luasan elemen angkur. Untuk mendapatkan berapa besar gaya tarik maksimum, maka perlu diteliti kapasitas tarik angkur (*tensile capacity*) terhadap kedalaman, pada kondisi kepadatan tanah tertentu dan variasi luasan elemen angkur, agar didapatkan besaran gaya tarik angkur yang akan direncanakan.

Sebagai dasar pertimbangan teori penelitian dilaboratorium, maka peneliti mengambil tema **Uji Model Kapasitas Tarik Angkur Tanah Type Lipat (*Folding Type*) pada Tanah Kohesif.**

LANDASAN TEORI

Isu Strategis Problema Tanah Kohesif

Tanah lempung atau sering disebut sebagai tanah kohesif, pada keadaan kering sangat keras seakan-akan tidak compressible (dapat memadat), akan tetapi jika tanah lempung ini jenuh air misalnya saat terkena air hujan, tanah lempung ini akan menjadi sangat lunak dan bersifat compressible. Tanah dengan sifat yang seperti ini dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan yaitu retaknya dinding, terangkatnya pondasi, jalan-jalan yang bergelombang dan masih banyak kerusakan yang ditimbulkan.

Untuk berbagai keperluan seperti pada perkuatan lereng, dinding penahan tanah (turap), stabilitas terowongan, pondasi menara transmisi untuk menahan gaya tarik, guling dan sebagainya.

Menurut Mayerhof dan Peck, tanah kohesif (tanah lunak) mempunyai nilai kepadatan (q_c) 14 kg/cm^2 sampai 40 kg/cm^2 . Pada Tabel.1, menjelaskan hubungan antara kepadatan relative, sudut geser, Nilai N-SPT dan Nilai Konus (q_c).

Tabel 1. Hubungan antara Kepadatan Relative, Sudut Geser, Nilai N-SPT dan Nilai Konus menurut Mayerhoff dan Peck

Nilai		Kepadatan Relatif		Sudut Geser Dalam	
qc	N SPT			Mayerhoff	Peck
<14	0 – 4	Sangat Lepas	0,0 – 0,2	<30	<28,5
14 – 40	4 – 10	Lepas	0,2 – 0,4	30 – 35	28,5 – 30
40 – 120	10 – 30	Sedang	0,4 – 0,6	35 – 40	30 – 36
120 – 200	30 – 50	Padat	0,6 – 0,8	40 – 45	36 – 41
>200	>50	Sangat Padat	0,8 – 1,0	> 45	>41

Tanah kohesif terdiri dari tanah yang sebagian besar berbutir sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat lapisan tanah lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampuan yang besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung rendah dibandingkan tanah lempung lainnya. Tanah-tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat-sifat :

- Kuat geser tanah yang rendah.
- Berkurang kuat geser apabila kadar air bertambah.
- Berkurang kuat geser apabila struktur tanahnya terganggu.
- Bila basah, bersifat plastis dan mudah mampat.
- Menyusut bila kering dan mengembang bila basah
- Kompresibilitasnya besar.
- Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada beban yang konstan.
- Merupakan material kedap air.

Untuk mengantisipasi kerusakan pondasi bangunan, dinding penahan (turap) pada tanah kohesif, maka perlu dilakukan perkuatan tanah. Salah satu metode perkuatan tanah pada pondasi dan turap yaitu dengan menggunakan angkur tanah untuk menahan gaya tarik dan gaya guling.

Kapasitas Tarik Angkur

Kapasitas tarik dari model angkur tanah bentuk lipatan (*folding type*) pada tanah kohesif yang merupakan modifikasi dari angkur pelat bentuk lingkaran masif dengan melakukan serangkaian uji model di laboratorium. Model angkur bentuk lipatan yang dipilih terdiri dari, 4 (empat) daun.

Studi tentang variasi tipe angkur dan kesesuaian di lapangan telah dilakukan oleh Datta et al, 1989 [2], kapasitas tarik angkur pelat bentuk bintang pada tanah kohesif terkompaksi, oleh Abdul Rachman Djamaluddin, 2013 [13], menganalisis kapasitas tarik (*pullout capacity*) dari model angkur bentuk bintang yang merupakan modifikasi dari angkur pelat bentuk lingkaran masif dengan melakukan serangkaian uji model di laboratorium.

Pemodelan uji tarik angkur dengan menggunakan box uji kolom test dengan memberi variasi kepadatan dengan tujuan mengamati kuat tarik angkur. Sejumlah hasil tes di laboratorium dan tes lapangan yang dipublikasikan untuk menentukan kapasitas tarik dari angkur pelat untuk kondisi jangka pendek yang ditanam di dalam tanah lunak dirangkum oleh Das (1990) dimana persamaan untuk menentukan kapasitas jangka pendek pelat angkur sebagai berikut :

$$Q_u = Q_o + W_a + F_s \quad (1)$$

dengan : Q_u = Kapasitas tarik kotor dari angkur, Q_o = Kapasitas tarik bersih, W_a = berat efektif dari pelat jangkar dan F_s = mud suction force yang merupakan fungsi dari C_u dan k .

Harga Q_o menurut Vasic (1971)

$$Q_o = A (\gamma H + F_c \cdot C_u) \quad (2)$$

dengan : A = Luas dari pelat angkur, γ = Berat volume tanah jenuh, F_c = Break out factor dan C_u = Kohesi tak teralirkan

Selanjutnya F_c merupakan fungsi dari C_u dan rasio penanaman angkur. Merujuk kepada Das (1990):

$$F_c = n(H/D) \leq F^*c = 9 \quad (3)$$

nilai n berkisar antara 2 – 5,9 tergantung kepada nilai c_u

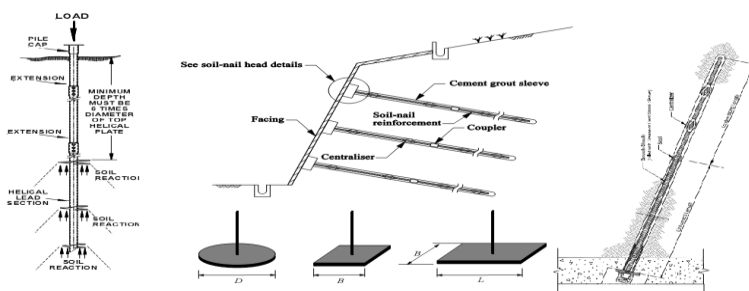
Untuk setiap model angkur ditanamkan dengan kedalaman 120 cm dengan variasi kepadatan $q_c=15 - 30 \text{ kg/cm}^2$, $q_c= 30-40 \text{ kg/cm}^2$. Kepadatan di bak uji kolom test diukur dengan menggunakan Hand Penetrometer. Setelah itu didiamkan kemudian di tes. Tes tarik dilakukan menggunakan alat dengan diagram skema alat tes tarik seperti pada gambar 6.

Setelah diamati lalu dianalisa kapasitas tarikt untuk semua model angkur yang diuji. Hasilnya dapat ditentukan dari perilaku hubungan beban dengan deformasi tarik selama pengujian.

Landasan Teori Angkur Tanah

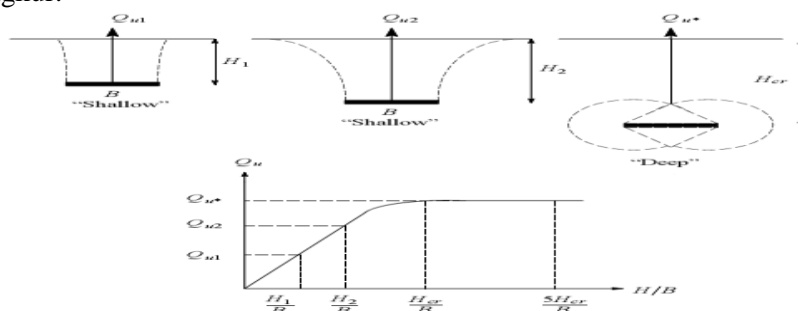
Angkur tanah adalah merupakan suatu jenis pondasi yang cukup tipis/kecil yang didisain dan dikonstruksi khusus untuk menahan gaya tarik/tarik atau menahan gaya guling dari berbagai struktur. Variasi dari berbagai macam angkur digunakan dalam bangunan sipil seperti angkur tanah yang dikombinasikan dengan *grouting*, *helical system*, *plate*, *Soil Hook System (SHS)*, tiang pancang, drag anchor dan sebagainya.

Pada umumnya, jangkat tanah digunakan untuk menyalurkan gaya dari struktur kedalam tanah. Gambar 1 memperlihatkan tipe-tipe dari angkur tanah yang lazim digunakan dalam praktek.



Gambar 1. Tipe angkur tanah Sumber: Hamed Niroumand et al (2010)

Pada umumnya, angkur tanah digunakan untuk menyalurkan gaya dari struktur kedalam tanah. Angkur dapat diklasifikasi apakah dangkal atau dalam tergantung kepada mekanisme keruntuhan tanah disekitar angkur yang tertanam dalam tanah. Angkur dangkal akan terlihat keruntuhan tanah sampai dipermukaan sedang angkur dalam keruntuhan tanah berlokasi disekeliling pelat angkur. Dalam beberapa kasus mekanisme keruntuhan tanah belumlah nampak dengan sangat jelas. Pada Gambar 2 terlihat bagaimana mekanisme keruntuhan tanah disekitar berbagai kedalaman penanaman angkur.



Gambar 2. Klasifikasi angkur pelat berdasarkan mekanisme keruntuhan Sumber: R.S. Merrifield et al (2003)

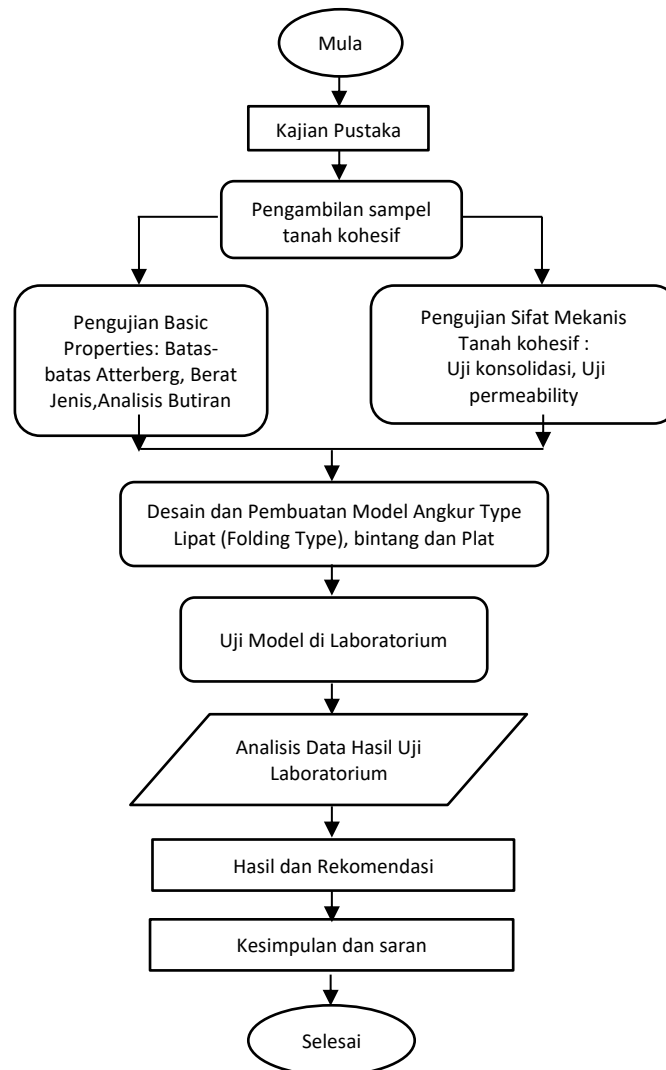
Penelitian sebelumnya

Sejumlah pendekatan untuk mengestimasi kapasitas uplift dari pelat angkur dapat dikategorikan atas: pendekatan teoritis, pendekatan numerik, tes model dan pengujian skala penuh di lapangan. Meskipun pada dasarnya tes model di laboratorium harus didukung oleh pengujian dengan skala penuh di lapangan. Uji laboratorium plat angkur dengan media tanah lempung dengan variasi konsistensi telah dilakukan oleh Adam dan Hayes (1967), Mayerhof dan Adams (1968), Nhiem (1975), Davie dan Sutherland (1977), Byrne dan Finn (1978), Das (1978), Baba dkk (1989), Das dkk (1994) Singh (1998), dan Singh S.P dan S.V. Ramaswamy (2007). Hampir semua investigasi tentang kapasitas *uplift* dari pelat angkur diperoleh dari test dengan tegangan yang di kontrol atau regangan yang dikontrol dengan kecepatan pembebanan yang tetap. Pada umumnya tes dilakukan terhadap angkur pelat berbentuk lingkaran, bujur sangkar, atau empat persegi.

METODOLOGI PENELITIAN

Urutan Penelitian

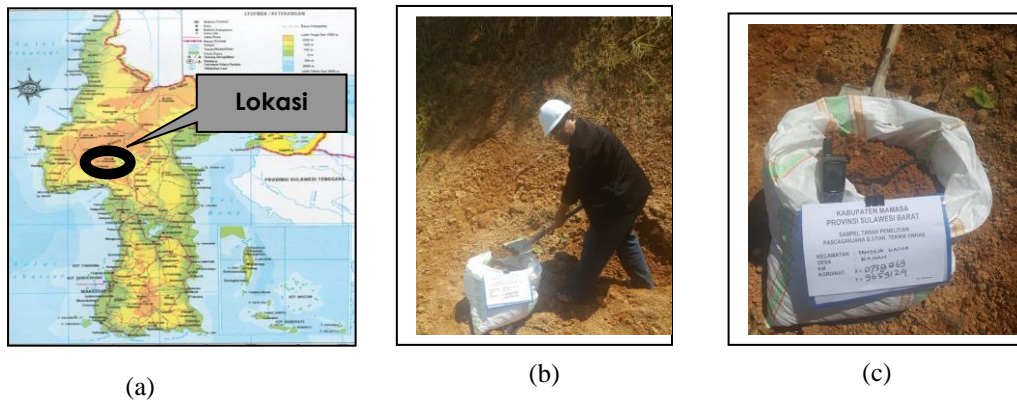
Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dan tujuan penelitian maka untuk mencapai tujuan penelitian maka disusun bagan alir penelitian seperti pada gambar 3 berikut dapun bagan alur penelitian sebagai berikut :



Gambar 3. Bagan Alir Proses Penelitian

Pengambilan Sampel.

Pada Gambar 4. Menunjukkan lokasi dan cara pengambilan sampel di lapangan. Gambar 4.a Lokasi Pengambilan Sampel di kabupaten Mamasa, Provinsi Sulawesi Barat. Gambar 4.b. Cara pengambilan sampel tanah terganggu dilakukan secara konvensional menggunakan linggis, dan sekop. Gambar 4.c Penempatan sampel dalam karung dan dibungkus dengan plastik untuk menjaga kondisi kadar air asli.



Gambar 4. (a) Lokasi Pengambilan Sampel, (b) Peta Lokasi Pengambilan Sampel, (c) Penempatan Sampel Longsor Lereng, (c) Sampel tanah terganggu dimasukkan kedalam Karung Plastik.

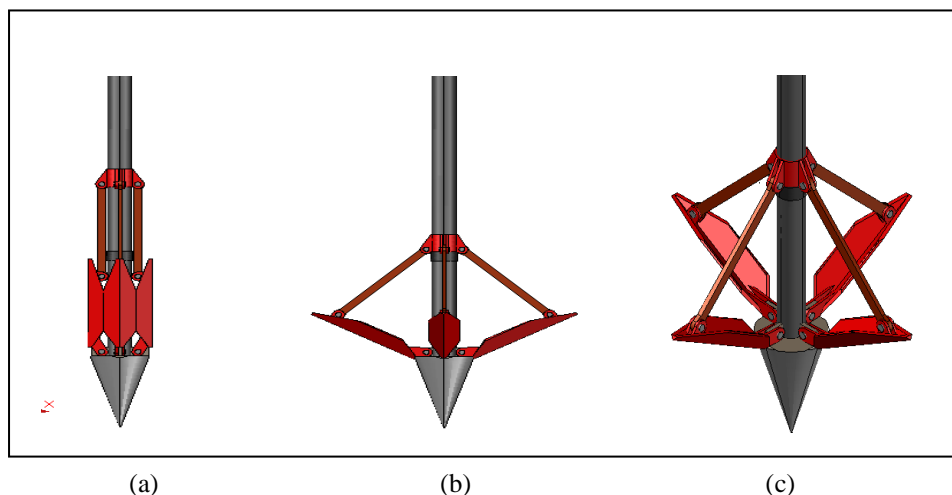
Rancangan Uji Model Penelitian

Pengujian karakteristik dan mekanis tanah

Penelitian ini diawali dengan pengujian dasar karakteristik tanah dan mekanis untuk menentukan klasifikasi dasar tanah objek penelitian. Pengujian yang dilakukan diantaranya ; Analisis Saringan (D-136-06), Berat Jenis (D-126), Batas cair (D-423-66), Batas plastis (D-424-74) Indeks plastis (D-424-74), Kuat tekan bebas (D-633-1994), Konsolidasi konvensional (D – 231-1994), Permeability (D – 135-1994).

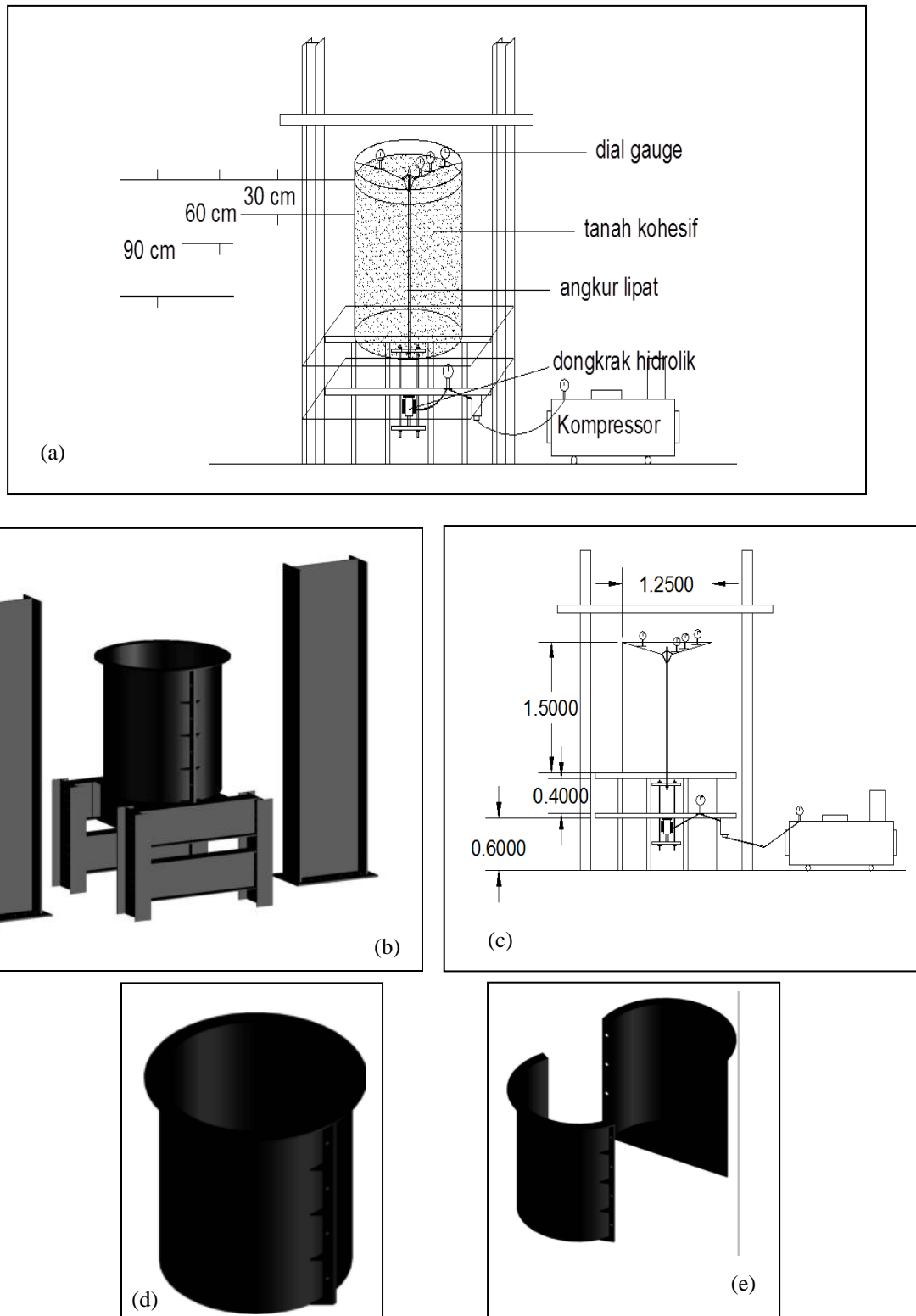
Rancangan uji model fisik

Uji model fisik di lakukan di laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik sipil Universitas Hasanuddin Kabupaten Gowa, seperti diperlihatkan dalam gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Rencana Bentuk Angkur Tanah Type Lipat, (a) Kondisi Angkur Terlipat, (b) Tampak Depan Angkur Kondisi Terbuka, (c). Gambar Tiga Dimensi Angkur Kondisi Terbuka

Kolom Test yang akan diisi tanah lempung lunak dimana angkur tanah lipat akan di uji, seperti diperlihatkan pada gambar. 6



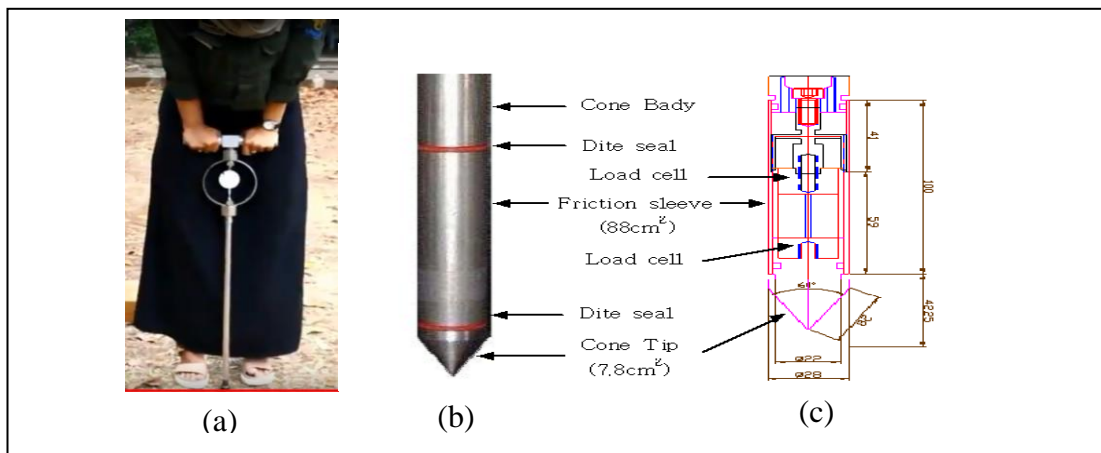
Gambar 6. Model Uji Kolom Test, (a) Variasi Kedalaman Angkur, (b) Perangkat Kolom Test, (c) Ukuran Perangkat Kolom Test (d) Kolom Test dalam tiga Dimensi, (e) Kolom test dalam keadaan terbuka

Untuk menguji dengan cepat kadar air dalam kolom test, maka digunakan alat Moisture Meter Digital, seperti diperlihatkan pada gambar. 7



Gambar 7. Moisture Meter Digital

Untuk menguji kepadatan tanah (q_c) dalam kolom test, maka digunakan alat uji Hand Penetrometer, seperti diperlihatkan pada gambar. 8



Gambar 8. Alat Uji Hand Penetrometer, (a) cara menggunakan hand Penetrometer, (b) bentuk Konis, (c) Dimensi Konis

Analisis Data Hasil Uji Laboratorium

Pengujian karakteristik basic propertis tanah sebagai dasar untuk menentukan sampel yang akan diuji masuk dalam kategori tanah kohesif, yang meliputi pemeriksaan distribusi ukuran butir, Batas-batas Atterberg, berat volume, *specific gravity*, kadar air, kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Pemasangan dilakukan di dalam box kolom test setiap 30 cm dan setiap lapisan mempunyai kepadatan dan sifat fisis yang dan diberi pewarna antara untuk menganalisa model keruntuhan tanah saat selesai uji tarik. Tebal tanah dalam box uji direncanakan setebal 120 cm.

Penarikan beban dilakukan secara kontinyu hingga terjadi keruntuhan tarik yang ditandai dengan berhentinya gaya tarik atau jika deformasi tarik sudah besar meski belum runtuh. Selama proses mengujian tarik dapat terekam kurva gaya tarik vs deformasi tarik. Dari hasil uji tarik model angkur dapat diketahui kapasitas masing-masing luasan elemen angkur. Untuk mengetahui model keruntuhan tanah maka pada permukaan tanah disekitar model elemen angkur akan dipasang dial gauge untuk mengetahui deformasi tanah yang terjadi selama penarikan beban.

Untuk setiap ukuran model angkur dibenamkan dengan kedalaman 120 cm dengan variasi kepadatan $q_c=15 - 30 \text{ kg/cm}^2$, $q_c= 30-40 \text{ kg/cm}^2$. Kepadatan di bak uji kolom test diukur dengan

menggunakan Hand Penetrometer. Setelah itu didiamkan kemudia di tes. Tes tarik dilakukan menggunakan alat dengan diagram skema alat tes tarik seperti pada gambar 6.

Setelah diamati lalu dianalisa kapasitas tarik untuk semua luasan elemen angkur yang diuji. Hasilnya dapat ditentukan dari perilaku hubungan beban dengan deformasi tarik selama pengujian.

Validasi data

Validasi data dilakukan dengan pengujian angkur type lipat (*Folding Type*) dengan skala 1 : 1 di lokasi di samping gedung laboratorium mekanika tanah, jurusan sipil, fakultas Teknik Gowa Unhas.

HASIL DAN REKOMENDASI

Berdasarkan kapasitas tarik untuk setiap model elemen angkur dengan beberapa variasi model luasan elemen dan kedalaman penanaman yang dirangkum, maka didapatkan hasil dan rekomendasi kapasitas tarik maksimum untuk kondisi tertentu pada angkur lipat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan hasil uji model di laboratorium akan didapatkan kesimpulan dan saran yang menunjukkan kemungkinan menciptakan model angkur tipe lipat yang memiliki kapasitas besar dan memungkinkan lebih mudah dalam pemasangan di lapangan dengan sedikit modifikasi sehingga dapat dikembangkan pada kedalaman yang diinginkan terutama pada lapisan tanah lunak.

VARIABEL PENELITIAN

Parameter pengujian model fisik untuk mengukur kapasitas tarik angkur lipat. Variabel kapasitas tarik adalah jumlah dari kapasitas tarik bersih (Q_0), berat efektif dari pelat jangkar (W_a), dan mud suction force (F_s)

HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini; adalah :

1. Menghasilkan besaran kapasitas tarik angkur (*tensile capacity*) dengan variasi kedalaman dan pematatan
2. Dapat mengatasi longsoran lereng yang bertanah kohesif.
3. Menemukan bentuk (model) angkur tanah type lipat (*folding type*) dengan kapasitas tarik besar pada kondisi tanah kohesif (tanah lunak)

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., (1968). "Pullout Resistance of Anchor Plates in Soft Bentonite clay". *M.S.thesis presented to Duke University*, Durham, NC, USA
- Baba, H.V., Gulhati, S.K. and Datta, M, (1989). "Suction Effects in Plate Anchors in Soft Clays", *Proc. 12th Int. Conf. on Soil Mech. And Found. Engineering, Rio de Janerio, Brazil*, 2 (1), 409-412.
- Bhatnagar, R.S., (1969). "Pullout Resistance of Anchors in Silty Clay", *M.S. thesis presented to Duke University*, Durham, NC, USA.
- Das, B.M., (1980). "A Procedure for Estimation of Ultimate Uplift Capacity of Foundations in Clay". *Soils and Foundations*, 20 (1), 77-82.
- Das, B.M., Moreno, R., and Dallo, K.F., (1985). "Ultimate Pullout Capacity of Shallow Vertical Anchors in Clay". *Soils Found.*, Japan, 25 (2), 148-152.
- Das, B.M., and Puri, V.K., (1989). "Holding Capacity of Inclined Square Plate Anchors in Clay". *Soils and Foundations*, 29 (3), 138-144.
- Das, B.M., (1995). "Behavior of Shallow Plate Anchors in Clay Undersustained Loading". *Marine Georesource and Geotechnology*, 13(4), 417-428.

- Das, B.M., Shin, E.C., Dass, R.N., and Omar, M.T., (1994). "Suction Force Below Plate Anchors in Soft Clay". *Marine Georesources and Geotechnology*, 12, 71-81.
- Djamaluddin, R, (2013), "Kapasitas Tarik Angkur Pelat Bentuk Bintang pada Tanah Kohesif Terkompaksi", *Prociding PIT, HATTI*, 2013.
- Farouk Naswar, Djafar, (2007), "Studi Kapasitas Angker dengan Interaksi Tingkat Kepadatan Tanah dan Bentuk Angker", *Dept. Teknik Sipil Unhas*, 10
- Merifield, R.S., Sloan, S.W., and Yu, H.S., (2001). "Stability of plateanchors in undrained clay". *Geotechnique*, 51 (2), 141-153.
- Meyerhof, G.G., and Adams, J.I., (1968). "The Ultimate Uplift Capacity of Foundations". *Canadian Geotechnical Journal*, 5 (4), 225-244.
- Nhiem, T.V., (1975). "Uplift Resistance of Anchor Slabs in Soft Clay". *Proc. Soil Mechanics and Foundation Engineering Conference*, Istanbul, 2, 144--152.
- P.J. Sabatini, D.G. Pass, R.C. Bachus (1999)., *Geotechnical Engineering Circular No.4, Ground Anchors and Anchored Systems*, Edition 4, Office of Bridge Technology 400 Seventh Street, SW, Washington DC 20590.
- Rachman Djamaluddin, (2013), "Kapasitas Tarik Angkur Pelat Bentuk Bintang pada Tanah Kohesif Terkompaksi", *Prociding PIT, HATTI*, 2013
- Rowe, R.K., and Davis, E.H., (1982). "The Behaviour of Anchor Plates in clay", *Geotechnique*, 32 (1), 9-23.
- R.S. Merifield and S.W. Sloan (2006). "The Ultimate Pullout Capacity of Anchors in Frictional Soils", *Canadian Geotechnical Journal*, 43 (8), 852–868.
- Singh, S.P., (1998). "Behaviour of Plate Anchors in Soft Saturated Clay Under Monotonic and Cyclic Loading". *PhD thesis, Anna University, Chennai, India*.
- Sing.S.P. and S.V. Ramaswamy., (2008). "Effect of Shape on Holding Capacity of Plate Anchors Buried in Soft Soil". *Geomechanics and Geoengineering, An International Journal*, 3(2), 157-166.
- Vesic, A.S., (1971). "Breakout Resistance of Objects Embedded in Ocean bottom". *J. of Soil Mech. and Found. Engg. Div., ASCE*, 97, SM9,1183-1205.

KARAKTERISTIK TANAH TERKONTAMINASI BATUBARA TERSTABILISASI BAKTERI SEBAGAI LAPIS PONDASI JALAN

Andi Marini¹, Tri Harianto² dan A.Rachman Djameluddin³, Ardy Arsyad⁴

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipi, Universitas Hasanuddin, email: marini_sabrina@yahoo.com.sg

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, email: triharianto@hotmail.com

³Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, email: jamaluddinabdurrahman@yahoo.co.id

⁴Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, email: ardyardyarsyad@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki ratusan ribu hektar lahan bekas tambang batubara yang dibiarkan terbengkalai begitu saja tanpa ada pengelolaan yang baik dari instansi yang berwenang. Material batubara dan tanah sisa tambang ini sebenarnya masih dapat dipergunakan sebagai material konstruksi jalan tetapi harus dilakukan proses stabilisasi terlebih dahulu untuk meningkatkan propertiesnya sehingga layak digunakan sebagai material konstruksi yang sesuai dengan standar bina marga. Untuk aplikasi geoteknik, grouting bakteri banyak digunakan untuk memperkuat tanah ekspansif dengan cara meningkatkan kekuatan dan kekakuan tanah melalui biomineralisasi kristal CaCO_3 yang berfungsi sebagai pengikat partikel. Tetapi pada tanah bekas tambang batubara atau disebut tanah terkontaminasi batubara belum banyak dilakukan sehingga penelitian ini berfokus pada membangun sumber bahan organik in-situ dengan menggunakan bakteri yang berasal dari tanah terkontaminasi batubara sebagai bahan stabilisasi. Dalam penelitian ini bakteri dicampurkan kedalam tanah yang terkontaminasi batubara dengan prosentasi batubara 5%, 10% dan 15%. Prosentasi bakteri yang di grouting sebanyak 6%, kemudian dilakukan pemeraman selama 3, 7, 14 dan 28 hari. Pengamatan terhadap nilai kuat geser dan CBR dilakukan guna mengetahui perilaku mekanis. Pendekatan mikrostruktur SEM dan XRD, dilakukan untuk mengetahui spectrum karakteristik fisik. Hasil yang diharapkan mampu mereduksi besarnya penurunan, sebagai material lapis base pondasi jalan dan meningkatkan kapasitas dukung pondasi.

Kata Kunci : Stabilisasi, Biosementasi, Batubara, Bakteri, Mikrostruktur

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki ratusan ribu hektar lahan bekas tambang batubara yang dibiarkan terbengkalai begitu saja tanpa ada pengelolaan yang baik dari instansi yang berwenang. Luas wilayah dan mahalnya biaya reklamasi menyebabkan lahan bekas tambang batubara dibiarkan begitu saja. Lahan bekas tambang batubara umumnya masih mengandung sisa-sisa batubara yang tidak dapat terangkut pada saat proses penambangan walaupun jumlahnya sudah tidak banyak, tetapi tentu memberikan dampak pada tanah. Batubara yang mengandung sulfur diudara terbuka akan mengalami oksidasi yang jika bercampur dengan air akan menimbulkan air asam tambang atau yang dikenal dengan istilah *acid rock drainage* (ARD). ARD akan memberikan serangkaian dampak yang saling berkaitan, yaitu menurunnya pH, ketersediaan dan keseimbangan unsur hara dalam tanah terganggu, serta kelarutan unsur-unsur mikro yang umumnya merupakan unsur logam meningkat (Widyati, 2007), menyebabkan perubahan struktur tanah sehingga pemanfaatannya menjadi terbatas. Terganggunya keseimbangan unsur hara ini menyebabkan tanaman sebagai pelindung tidak dapat tumbuh akibatnya tanah mudah mengalami erosi dan infiltrasi air hujan sangat besar sehingga kekuatan tanah akan menurun. Salah satu pendekatan dalam pemulihan sifat geoteknik tanah mulai dikembangkan proses stabilisasi tanah menggunakan teknik presipitasi mikroba yang diinduksi kalsit (CaCO_3) (microbially induced calcite precipitation MICP) yang ramah lingkungan.

Stabilisasi tanah dengan bahan organik atau bakteri telah banyak dilakukan tetapi lebih pada tanah ekspansif atau tanah lempung lunak. Penggunaan bakteri pada tanah yang mengandung limbah tambang batubara untuk meningkatkan sifat geotekniknya belum banyak dilakukan. Hal ini dikarenakan unsur logam dan pH tanah yang rendah menyebabkan bakteri sulit untuk tumbuh. Sehingga harus menggunakan bahan organik in-situ untuk memudahkan proses stabilisasi.

Beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan bakteri sebagai bahan stabilisasi mengungkapkan keuntungan dan kelebihan bakteri sebagai bahan stabilisasi dibandingkan material lain. Penelitian yang dilakukan Mujah, menyatakan penggunaan bakteri dengan umur kultur rendah dan konsentrasi cairan tinggi sebagai biosemen memberikan hasil yang lebih baik dari pada penggunaan semen (PC) untuk meningkatkan kekuatan tanah dan menurunkan permeabilitas, (2019). Injeksi bakteri *Pararhodobacter* sp. pada tanah yang dilakukan Mwindra (2017) sebanyak tujuh kali mampu meningkatkan nilai unconfined compressive strength (UCS) sebesar 1,33 MPa untuk pasir halus, 2,87 MPa untuk pasir kasar dan 2,80 MPa untuk pasir campuran. Pengujian dilakukan pada tanah pasir yang mengandung limbah timbal dari tambang. Pengujian Omar (2018) menggunakan bakteri dari limbah sayur sebagai bahan stabilisasi untuk mengurangi pengikisan tanah lereng juga berhasil dilakukan. Pada percobaan skala laboratorium dengan menginjeksi bakteri kedalam tanah yang dibentuk lereng kemiringan 45 derajat, dilakukan pemeraman selama 30 hari dan diuji dengan rainfall simulator ternyata mampu mengurangi pengikisan dari 34,6 g menjadi 13,5 g. Penyelidikan sifat geoteknik pasir bio-semen dengan berbagai tingkat kejenuhan juga telah di selidiki oleh Cheng (2013). Percobaan laboratorium dilakukan, termasuk analisis saringan, permeabilitas, *unconfined compressive strength*, *consolidated undrained triaxial*, dan *durability*. Hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan tanah yang lebih tinggi dapat diperoleh pada konten CaCO_3 yang sama ketika perawatan dilakukan di bawah tingkat kejenuhan yang rendah.

Produksi kalsium karbonat melalui hidrolisis urea oleh bakteri ureolitik adalah mekanisme MICCP yang paling mudah dikontrol dan berpotensi menghasilkan sejumlah besar kalsium karbonat dalam waktu singkat. Tetapi kinerja mekanik tanah yang distabilkan MICCP sangat tergantung pada struktur mikro kristal CaCO_3 yang diendapkan, yang dipengaruhi oleh berbagai parameter kimia, lingkungan, dan fisik. Secara umum penelitian ini bertujuan untuk memperkaya wawasan tentang karakteristik fisik, mekanis dan mikrostruktur biosementasi tanah yang terkontaminasi batubara terhadap parameter geoteknik.

MATERIAL DAN METODE

Tanah Dan Batubara

Material yang digunakan dalam penelitian diambil di daerah Kota Balikpapan Propinsi Kalimantan Timur, Indonesia. Tanah dan batubara diambil pada lokasi yang sama dengan cara konvensional menggunakan skop, selanjutnya material ditempatkan dalam karung sampel dan dibungkus dengan plastik untuk menjaga kondisi kadar air asli.



(a)



(b)

Gambar 1.a,b Lokasi Pengambilan Sampel Tanah dan Batubara

Kultur Bakteri

Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah bakteri yang diisolat dari batubara yang digunakan. Kondisi pH air asam tambang batubara yang berkisar, 2-3 Choudhury (2017) membuat tanah bersifat asam sehingga tidak semua mikroorganismenya bisa tumbuh dengan baik sehingga perlu membuat isolat bakteri yang berasal dari batubara itu sendiri. Kultur bakteri adalah metode memperbanyak bakteri pada media kultur dengan pembiakan di laboratorium yang terkendali. Pada proses kultur, isolate bakteri yang berumur 24 jam diinokulasikan pada media *nutrient broth* dengan masa inkubasi pada *shaker* selama 24 jam dengan kecepatan putaran adalah 150 rpm (M. Fauzul Imron, 2016). Teknik inokulasi yang digunakan adalah teknik gores dengan sebelumnya dilakukan pengenceran terlebih dahulu agar hasil koloni yang didapat berupa biakan murni (Hasriana, 2018). Uji laju pertumbuhan bakteri dilakukan untuk mengetahui sifat pertumbuhan bakteri melalui kurva pertumbuhan bakteri. Kurva pertumbuhan bakteri dibuat untuk mengetahui fase pertumbuhan bakteri yaitu fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian (Dwipayana, 2009).

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk menguji karakteristik tanah terkontaminasi batubara yang telah distabilisasi dengan biosementasi. Batubara yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu ditumbuk dan disaring hingga lolos saringan No. 100 (0,149 mm) untuk memudahkan proses pencampuran dengan tanah dan diperoleh gradasi yang baik nantinya. Beberapa tahapan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut; pertama, melakukan kajian literatur dan survey pendahuluan untuk mengidentifikasi masalah dan identifikasi lokasi pengambilan sampel; kedua, melakukan uji pendahuluan terhadap sampel yang telah diambil untuk mengetahui karakteristik tanah dan batubara. Uji laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat fisik yang meliputi kadar air, gradasi, dan spesifik grafiti, sedangkan uji sifat mekanis meliputi uji pemadatan, uji kuat geser, dan uji daya dukung.

Hasil uji mekanis selanjutnya digunakan untuk menentukan komposisi tanah terkontaminasi batubara yang efektif untuk dimanfaatkan sebagai lapisan pondasi jalan. Dalam penelitian ini presentase batubara yang dicampurkan dalam tanah dibuat dalam 3 variasi yaitu 5%, 10% dan 15%. Variasi pencampuran untuk mengetahui pengaruh batubara dalam tanah terhadap karakteristik fisik dan mekanis tanah. Pengujian gradasi tanah dilakukan dengan uji analisa saringan, untuk pengujian pemadatan dilakukan dengan pemadatan Proctor standar, uji kuat geser dilakukan dengan pengujian Direct Shear, dan daya dukung tanah dilakukan dengan pengujian CBR laboratorium. Standard pengujian sifat-sifat dasar tanah (fisik dan mekanis) yang digunakan seperti pada Tabel 1. Rancangan Benda Uji di tampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Standard Pengujian Yang Digunakan

No	Jenis Pengujian	Jenis Standard	
		ASTM	SNI
1	Analisa Saringan	C-136-06	SNI 03-1968-1990
2	Berat Jenis Tanah (Gs)	D-162	SNI 03-1964-1990
3	Kadar Air (Wc)	D-2216-98	SNI 03-1965-1990
4	Berat Isi Kering (γ_{dry})	D-854-72	SNI 03-1970-2008
5	Uji Kuat Geser Langsung (Cu)	E-736-00	SNI 03-3420-1994
6	Uji Pemadatan	D-698	SNI 03-1742-1989
7	Daya Dukung Tanah (CBR)	D-1833	SNI 03-6796-2002

Tabel 2. Persiapan Benda Uji Sebelum Stabilisasi

Jenis Pengujian	Jenis Material	Jumlah Benda Uji				Data	
		% Batu Bara					
		0	5	10	15		
1. Uji Analisa Saringan							
2. Uji Standard Proktor							
3. Uji Geser Langsung	Tanah + Batu Bara	3	3	3	3	Parameter Sifat Fisis dan Mekanis	
4. Uji CBR							
Uji Mikrostruktur (SEM dan XRD)	Tanah + Batu Bara	1	1	1	1		Parameter mineralogi mikro-struktur dan komposisi

Tanah, batubara dan air ditimbang dengan komposisi rencana untuk menghasilkan campuran material benda uji sesuai dengan yang telah ditetapkan, pencampuran dilakukan secara teliti dan diperam selama 24 jam sampai mencapai kondisi setimbang sebelum dilakukan pengujian. Hasil setelah pencampuran dapat dilihat pada Gambar 6. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran dimensi $H=2D$, dalam kondisi kadar air optimum Proctor. Dimasukkan dalam cetakan yang telah diolesi minyak pelumas, selanjutnya dilakukan penumbukan tiap sepertiga bagian dengan jumlah tumbukan 25 kali selanjutnya diuji dan ditentukan kadar airnya. Data hasil pengujian diolah untuk menghasilkan hubungan antara kadar air, kepadatan, dan kekuatan tanah, selanjutnya dianalisis secara deskriptif kualitatif

Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 3%, dan 6% dari beratsampel tanah terkontaminasi batubara yang digunakan. Baik untuk pengujian direct shear maupun pengujian CBR. Rancangan jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Persiapan Benda Uji Proses Stabilisasi

Jenis Pengujian	Jenis Material	Waktu Peram (Hari)	Jumlah Benda Uji				Data
			% Batu Bara				
			0	5	10	15	
1. Uji Geser Langsung 2. Uji CBR a. soaked b. unsoaked	Tanah + Batu Bara + Bakteri umur kultur 3 hari sebanyak 3%	3	3	3	3	Parameter Sifat Mekanis	
		7	3	3	3		
		14	3	3	3		
		28	3	3	3		
	Tanah + Batu Bara + Bakteri umur kultur 3 hari sebanyak 6%	3	3	3	3		
		7	3	3	3		
		14	3	3	3		
		28	3	3	3		
	Tanah + Batu Bara + Bakteri umur kultur 6 hari sebanyak 3%	3	3	3	3		
		7	3	3	3		
		14	3	3	3		
		28	3	3	3		
Tanah + Batu Bara + Bakteri umur kultur 6 hari sebanyak 6%	3	3	3	3			
	7	3	3	3			
	14	3	3	3			
	28	3	3	3			
Uji Mikrostruktur (SEM dan XRD)	Tanah + Batu Bara + Bakteri umur kultur (optimum hari) sebanyak 6%		1	1	1	1	Parameter mineralogi mikro-struktur dan komposisi

Alat Uji Penelitian

1. Pengujian Perilaku Fisik, Mekanis dan Perilaku Mikrostruktur

Uji laboratorium dilakukan untuk mengetahui sifat fisik meliputi kadar air, gradasi butiran spesifik grafit, sedangkan uji sifat mekanis meliputi uji pemadatan, kuat geser dan daya dukung. Pengujian pemadatan dilakukan menggunakan pemadatan *proctor standard*, kuat geser menggunakan *direct shear*, dan daya dukung tanah dengan uji CBR.

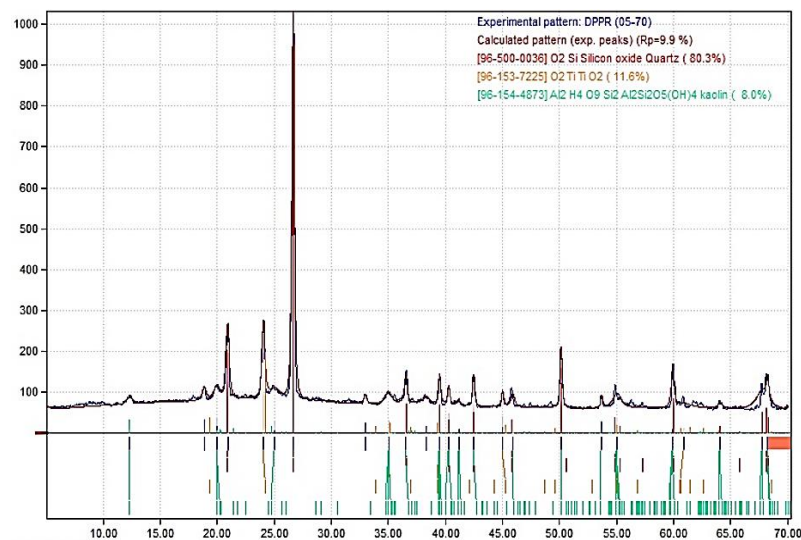
Alat yang akan digunakan sebelumnya diperiksa kondisi dan kemampuannya serta dikalibrasi. Sampel tanah dipersiapkan sesuai dengan standar prosedur pengujian.

a. Parameter Uji Mineralogi dan Mikrostruktur Tanah

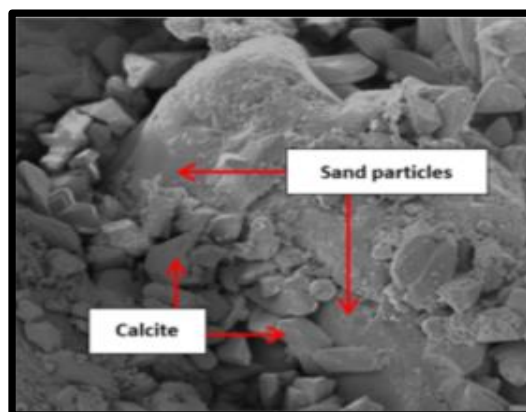
Parameter mineralogi diuji menggunakan metode X-Ray Difraksi (XRD) sesuai standard ASTM D3906-03 (2013) dan parameter mikro-kimia diuji dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) sesuai standard ASTM E986-04 (2010),.

b. Uji Perilaku Mikrostruktur

Perilaku mikrostruktur diuji dengan pengujian XRD dan SEM.



Gambar 2. Grafik Difraksi XRD



Gambar 3. Observasi Menggunakan SEM

2. Metode Uji Stabilisasi Tanah terkontaminasi batubara dengan Bakteri

Benda uji tanah di siapkan dengan variasi kontaminan dalam hal ini batubara dengan prosentase batubara masing – masing sebesar 0%, 5%, 10% dan 15 %. Kemudian diinjeksikan bakteri sebanyak

6% dari dari berat sampel pengujian. Kultur bakteri yang digunakan dalam pengujian di variasi dari umur 1, 3 dan 6 hari. Setelah semua sampel di injeksi dengan bakteri kemudian di curing selama 7, 14, 21 dan 28 hari lalu kemudian dilakukan pengujian kuat geser dan uji CBR.



(a)

(b)

Gambar 4. (a) Alat Uji Direct Shear (b) Alat Uji CBR Test.

HASIL YANG DIHARAPKAN

Pengaruh Kontaminasi Batubara

Persentasi batubara yang tercampur dengan tanah asli dilapangan tidak diketahui dengan pasti sehingga dilakukan penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk menguji karakteristik tanah terkontaminasi batubara sebagai material alternatif pengganti lapisan pondasi jalan. Sebelum dilakukan proses stabilisasi dengan bakteri terlebih dahulu dilakukan pengujian perilaku tanah terkontaminasi batubara. Batubara yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu ditumbuk dan disaring hingga lolos saringan No. 100 (0,149 mm) untuk memudahkan proses pencampuran dengan tanah dan diperoleh gradasi yang baik nantinya. Beberapa tahapan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut; pertama, melakukan kajian literatur dan survey pendahuluan untuk mengidentifikasi masalah dan identifikasi lokasi pengambilan sampel; kedua, melakukan uji pendahuluan terhadap sampel yang telah diambil untuk mengetahui karakteristik tanah dan batubara. Uji laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat fisik yang meliputi kadar air, gradasi, dan spesifik grafiti, sedangkan uji sifat mekanis meliputi uji pemadatan, uji kuat geser, dan uji daya dukung.



a

b

c

Gambar 5. a. Pasir b. Batubara c. Pencampuran Pasir dan Batubara

Hasil uji mekanik selanjutnya digunakan untuk menentukan komposisi tanah terkontaminasi batubara yang efektif untuk dimanfaatkan sebagai lapisan pondasi jalan. Dalam penelitian ini presentase batubara yang dicampurkan dalam tanah dibuat dalam 3 variasi yaitu 5%, 10% dan 15%. Variasi pencampuran untuk mengetahui pengaruh batubara dalam tanah terhadap karakteristik fisik dan mekanik tanah. Pengujian gradasi tanah dilakukan dengan uji analisa saringan, untuk pengujian pemadatan dilakukan dengan pemadatan proctor standar, uji kuat geser dilakukan dengan pengujian *direct shear*, dan daya dukung tanah dilakukan dengan pengujian CBR laboratorium.

Sifat fisik batubara yang keras dan halus karena batubara yang dicampurkan lolos saringan No. 100 (0,149 mm) diharapkan mampu memperbaiki gradasi dan meningkatkan sifat mekanis sehingga daya dukung tanah juga meningkat walaupun belum memenuhi standar bina marga sebagai material pondasi jalan (*base course*).



Gambar 6. Perawatan benda uji setelah dicampur bakteri

Pengaruh Penambahan Bakteri

Hubungan antara karakteristik mikrostruktur kristal CaCO_3 dan kekuatan yang sesuai dari pasca perawatan biocemented diselidiki menggunakan scanning electron microscopy (SEM) sampel hasil pengujian direct shear yang bongkahan utuh kecil digunakan untuk analisis SEM; karena itu, ikatan dan struktur mikro dari bongkahan pasir utuh tetap tak terganggu. Perilaku ikatan antara butiran tanah terkontaminasi batubara dan struktur kristal CaCO_3 , serta evolusi dari morfologi kristal CaCO_3 yang efektif, diperiksa. Pengujian mikrostruktur dilakukan pada sampel setelah perawatan selama 28 hari.

Efek penambahan bakteri dengan umur kultur yang berbeda dan persentasi volume bakteri yang berbeda diharapkan dapat terlihat dari hasil pengujian direct shear dan CBR sehingga dapat diketahui perubahan kekuatan tanah yang terjadi. Dari penambahan bakteri dengan umur kultur 3 hari dan 6 hari kemudian dilakukan perawatan selama 3, 7, 14 dan 28 hari lalu dilakukan pengujian direct shear dan CBR. Penambahan bakteri dengan persentasi 3% dan 6% dari berat tanah juga dilakukan dengan perawatan selama 3, 7, 14 dan 28 hari kemudian dilakukan pengujian direct shear dan CBR diharapkan dapat terlihat tren perkembangan atau perubahan kekuatan yang terjadi.

Hasil uji mekanik selanjutnya digunakan untuk menentukan komposisi tanah terkontaminasi batubara dan bakteri yang efektif untuk dimanfaatkan sebagai lapisan pondasi jalan. Parameter efektif adalah kekuatan dan daya dukung tanah terkontaminasi batubara, sedangkan variabel yang mempengaruhi adalah persentase bakteri, umur kultur dan waktu pemeraman. Analisis data hasil pengukuran uji model fisik, mekanik dan mikrostruktur dilakukan untuk melihat karakteristik geomekanik dan mikrostruktur pada biosementasi tanah terkontaminasi batubara.



Gambar 7. a. Sebelum Perawatan b. Setelah Perawatan

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM (1992), ASTM Standards on Soil Stabilization with Admixture, American Society Testing and Materials, Second Edition.
- Cheng, L., M. A. Shahin, and D. Mujah. 2017, "Influence of Key Environmental Conditions on Microbially Induced Cementation for Soil Stabilization", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* Volume. 143
- Cheng, L., and R. Cord-Ruwisch. 2014, "Upscaling Effects of Soil Improvement by Microbially Induced Calcite Precipitation by Surface Percolation", *Geomicrobiology Journal*
- Cheng, L., Cord-Ruwisch, R., & Shahin, M. A (2013), "Cementation of sand soil by microbially induced calcite precipitation at various degrees of saturation", *Canadian Geotechnical Journal*, 50(1), 81–90
- Choudhury, B. U., Malang, A., Webster, R., Mohapatra, K. P., Verma, B. C., Kumar, M Hazarika, S. (2017). "Acid drainage from coal mining: Effect on paddy soil and productivity of rice", *Science of The Total Environment*, 583, 344–351.
- Donovan Mujah, Liang Cheng, Mohamed A. Shahin (2019), "Microstructural and Geomechanical Study on Biocemented Sand for Optimization of MICP Proces"s, *J. Mater. Civ. Eng ASCE* 04019025.
- Hardiyatmo, C.H (2010), *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hasriana, Lawalenna Samang, M.Natsir Djide, dan Tri Harianto (2017), "Pengaruh Penambahan Bakteri (*Bacillus Subtilis*) Pada Tanah Lunak Terhadap Karakteristik Kuat Tekan", *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil XI*, 26-7-27 Oktober 2017
- Periasamy Anbu, Chang-Ho Kang, Yu-Jin Shin and Jae-Seong So., (2016), "Formations of calcium carbonate minerals by bacteria and its multiple applications". Springer.
- R.C Omar, Hairin Taha, R. Roslan, I.N.Z Baharudin (2018), "Study of bio-grout treated slope models under simulated rainfall", *International Journal of GEOMATE*, March, Vol.14.
- Shujing Ye, Guangming Zeng, Haipeng Wu, Chang Zhang, Juan Dai, Jie Liang, Jiangfang Yu, Xiaoya Ren, Huan Yi, Min Cheng and Chen Zhang, (2017), "Biological technologies for the remediation of co-contaminated soil". *Critical Reviews in Biotechnology*
- SNI 03-3440 (1994), *Tata Cara Pelaksanaan Stabilisasi Tanah dengan Semen Portland untuk Jalan*, DSN.
- Wilson Mwandiraa, Kazunori Nakashimab, Satoru Kawasaki (2017), "Bioremediation of lead-contaminated mine waste by *Pararhodobacter* sp. based on the microbially induced calcium carbonate precipitation technique and its effects on strength of coarse and fine grained sand", *Ecological Engineering* 109 (2017) 57–64.
- Widyati (2007), "Pemanfaatan Bakteri Pereduksi Sulfat untuk Bioremediasi Tanah Bekas Tambang Batubara", *Biodiversitas*, Volume 8 No. 4

KORELASI NILAI MODULUS ELASTISITAS ANTARA ALAT LIGHT WEIGHT DEFLECTOMETER (LWD) DAN MARSHALL TEST CAMPURAN AC-WC

Lucky Caroles¹, Abdul Rachman Djamaluddin², A. Arwin Amiruddin³ dan Ardy Arsyad⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: pareausanrangan68@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: jamaluddinabdulrahman@yahoo.co.id

³ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: a.arwinamiruddin@yahoo.com

⁴ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: ardyarsyad@gmail.com

ABSTRAK

Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya tekanan atau beban diterapkan tiga dimensi. Oleh karena itu, sejumlah pengujian yang telah disederhanakan, diperkenalkan untuk dapat menguji sejumlah aspek-aspek tertentu dari perilaku in-situ. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan korelasi antara nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat Marshall test dengan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat LWD versi laboratorium. Penelitian ini berupa uji eksperimental di laboratorium. Rancangan penelitian diaplikasikan pada campuran AC-WC dengan melakukan pengujian Marshall test dan LWD versi laboratorium. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah menemukan korelasi antara nilai modulus elastisitas campuran AC-WC dengan menggunakan alat Marshall test (Marshall quotient) dan LWD (modulus kekakuan).

Kata kunci: kondisi tegangan, Marshall test, LWD

PENDAHULUAN

Saat ini salah satu konsentrasi pembangunan fisik di bidang infrastruktur yang paling pesat adalah pembangunan jalan terutama jalan yang berstatus jalan nasional. Pemerintah pusat dalam program utamanya berusaha menghubungkan beberapa tempat ke tempat lain atau juga membuat jalan baru baik itu jalan biasa ataupun jalan tol dengan tujuan memperbaiki kelancaran arus barang dan manusia demi tercapainya percepatan dan pemerataan pembangunan.

Demi meningkatkan kualitas dan kuantitas jalan Nasional, Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dalam 2 tahun terakhir telah melakukan suatu program kegiatan dengan judul Survey Kondisi Jalan jembatan dan Lereng dengan maksud memperoleh data real dan digunakan sebagai data base dalam hal pemograman kegiatan di lingkup Dirjen Bina Marga dan juga sebagai acuan dalam pembuatan program kerja jangka panjang dan jangka pendek.

Salah satu kegiatan survey tersebut adalah menyediakan data mengenai kondisi jalan real yang berada pada status jalan nasional dan jalan strategis nasional. Pengambilan data yang diperlukan adalah, kondisi permukaan (ketidakrataan dengan menggunakan alat Roughness meter), survei inventarisasi (menggunakan cara manual atau juga dengan kamera mata garuda), survei *pavement condition* indeks atau survei kondisi jalan (bisa menggunakan peralatan kamera dan manual) dan survei lendutan sisa umur perkerasan dengan menggunakan alat Bankleman Beam atau *Falling Weight Deflectometer* (FWD) atau bisa juga dengan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD).

Khusus mengenai pengambilan data sisa umur perkerasan ketiga peralatan tadi bisa digunakan asal sesuai dengan ketentuan dan kondisi area survei.

Prinsip kerja ketiga alat tersebut hampir sama yakni bagaimana memberi beban pada permukaan perkerasan dan diharapkan akan mendapatkan hasil berupa besarnya lendutan dan modulus pada permukaan sampai tanah dasar. Berdasarkan faktor kemudahan dan ekonomis dan kecepatan pengambilan data maka dari ketiga peralatan tersebut yang paling memungkinkan adalah alat LWD. Hal ini disebabkan karena alat tersebut lebih ringan, pengambilan sampel dilapangan juga lebih banyak, sampel dilapangan juga bisa langsung mendapatkan nilai lendutan dan modulus dan harganya relatif lebih murah.

Ketiga cara diatas semua dilakukan di lapangan namun untuk skala laboratorium saat ini kita mengenal beberapa cara untuk mendapatkan nilai modulus, bisa dengan cara analitis dan dengan cara uji langsung. Untuk uji langsung saat ini peralatan yang dapat mengeluarkan nilai modulus secara langsung pada perkerasan aspal hanyalah UMATTA, alat *Marshall test* juga dapat menghasilkan nilai modulus namun tidak secara langsung melainkan melalui proses perhitungan dari data yang ada yakni nilai stabilitas dan nilai flow.

Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya tekanan atau beban diterapkan tiga dimensi. Oleh karena itu, sejumlah pengujian yang telah disederhanakan, diperkenalkan untuk dapat menguji sejumlah aspek-aspek tertentu dari perilaku in-situ. Pengujian tersebut dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok pengujian pertama adalah pengujian dasar uji beban berulang triaksial (*repeated load triaxial test*), uji tekan statik untuk rangkai (*unconfined static uniaxial creep compression test*), uji beban tarik berulang (*repeated load indirect tensile test*), uji dinamik kekakuan dan kelelahan (*dynamic stiffness and fatigue tests*). Kelompok pengujian kedua adalah pengujian simulasi di laboratorium (*simulative*): Uji Roda-pelacakan (*wheel-tracking test*) dan kelompok pengujian yang ketiga adalah pengujian empiris dengan uji Marshall (*Marshall tests*), (*Shell Bitumen Handbook*, 2013).

Berbagai penelitian-penelitian terdahulu telah dilakukan dengan menggunakan alat LWD untuk menghitung nilai modulus pada perkerasan jalan. Mazari M. *et al.*, 2017 memperkenalkan teknologi *Intelligent Compaction* (IC) yang telah muncul selama satu dekade terakhir untuk mengevaluasi kekakuan lapisan perkerasan yang dipadatkan. Penerapan teknologi IC untuk memadatkan lapisan geomaterial yang tidak terikat telah dikombinasikan dengan perangkat *nondestructive testing* (NDT) untuk lebih memberikan karakteristik parameter kekakuan. Area yang diidentifikasi tidak terkoneksi dengan baik dalam melakukan *tes spot* NDT. Hubungan antara nilai-nilai kekakuan berbasis *accelerometer* dari rol dan hasil NDT dapat secara signifikan mempengaruhi interpretasi IC data yang dikumpulkan. Bagian dari situs konstruksi dipilih untuk mengevaluasi korelasi antara hasil dua uji spot NDT, uji beban plat (PLT) dan uji *Light Weight Deflectometer* (LWD) dengan data IC. Hasil penelitian ini merupakan suatu sistem penentuan posisi global dan pendekatan reduksi data. Perangkat LWD tampaknya menjadi perangkat yang tepat untuk memverifikasi area yang kurang kaku yang terdeteksi dari data IC.

Rahman F. *et al.*, 2007 membahas kekakuan tanah dasar yang diperoleh dari perangkat pemadatan baru yang disebut *Roller Intelligent Compaction* (IC) pada proyek tanggul jalan raya di Kansas. Tiga bagian uji pada dua rute dipadatkan menggunakan roller cerdas tunggal drum baja halus Bomag Variocontrol (BVC) yang memadatkan dan pada saat yang sama mengukur nilai kekakuan tanah yang dipadatkan. Pengukuran kontrol pemadatan tradisional seperti pengujian kepadatan, kadar air in-situ, pengukuran kekakuan tanah menggunakan Geogage, tes defleksi permukaan menggunakan *Light Falling Weight Deflectometer* (LFW) dan *Falling Weight Deflectometer* (FWD) dan tes penetrasi menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa IC roller mampu mengidentifikasi lokasi kekakuan tanah yang lebih rendah dalam arah spasial. Secara umum, kekakuan roller IC menunjukkan sensitif terhadap kadar kelembaban lapangan. Tidak ada korelasi universal yang diamati antara kekakuan roller IC,

kekakuan Geogage, modulus tanah tanah dasar yang dihitung ulang dari data defleksi LFD dan FWD dan *California Bearing Ratio* (CBR) yang diperoleh dari hasil pengujian DCP.

Senseney C. T. *et al.*, 2012 menyajikan skema perhitungan kembali LWD untuk mengetahui parameter lapisan, termasuk ketebalan lapisan atas, dari sistem pekerjaan tanah dua lapis. Pendekatan dapat di selesaikan dengan menggunakan model elemen hingga dinamis (FE) untuk perhitungan data defleksi LWD, dan mengimplementasikan algoritma genetika (GA) sebagai solver. Fungsi objektif diformulasikan sebagai ukuran ketidaksesuaian data antara data yang diprediksi dan yang diamati, dinormalisasi oleh defleksi puncak, dan mencakup 180 titik data dari riwayat waktu defleksi dinamis. Fungsi objektif berisi beberapa lokal minimum yang berpotensi menjebak algoritma pencarian gradien, sehingga memvalidasi aplikasi GA sebagai teknik pencarian global untuk masalah ini. GA diterapkan untuk data sintetik dan eksperimental, dan menunjukkan bahwa ketebalan lapisan atas yang dianalisis, modulus lapisan atas dan modulus yang mendasari untuk data eksperimental dibandingkan dengan nilai yang diharapkan.

Tehrani F. S & Meehan C. L., 2010 mengeksplorasi sensitivitas hasil tes in-situ berbasis modulus yang diukur terhadap efek kadar air pemadatan, sebuah studi lapangan dilakukan di Negara Bagian Delaware pada musim panas 2008. Dua alat LWD digunakan dalam penelitian ini. untuk mengukur nilai modulus tanah yang dipadatkan, satu dengan diameter pelat kontak 300 mm dan satu dengan diameter pelat 200 mm. Bahan pengisi diuji selama penelitian ini adalah pasir dinilai buruk dengan lanau (SP-SM). Tujuan dari makalah ini adalah untuk menunjukkan sensitivitas nilai modulus tanah yang diukur terhadap fluktuasi kadar air tanah di lapangan, dan untuk mendiskusikan pendekatan yang mungkin untuk menafsirkan jenis data LWD variabel ini.

Tirado C. *et al.*, 2015 mengevaluasi kinerja LWD dalam berbagai kondisi pemuatan, ukuran pelat yang berbeda, dan beragam sifat geomaterial. Kedalaman pengaruh dianalisis dengan menggunakan kriteria tegangan dan regangan. Parameter model konstitutif nonlinier tampaknya memiliki pengaruh signifikan terhadap kedalaman pengaruh yang diukur dari kedua perangkat yang digunakan. Namun, sifat fungsional yang berbeda dari masing-masing perangkat ditemukan menjadi sumber variasi dalam hasil.

Buechler S. R. *et al.*, 2012 menggunakan metode elemen-diskrit (DEM) untuk menyelidiki hubungan antara sifat-sifat tanah dan respons mekanik untuk pelat (simulasi LWD) dan pemuatan drum-roller. Simulasi tanah granular yang murni tanpa kohesi ditunjukkan untuk menunjukkan medan tegangan dan regangan yang jauh berbeda dibandingkan dengan simulasi tanah kohesif. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan DEM untuk secara akurat memodelkan fitur-fitur makro dari variabel mikro dan interaksi. Perbandingan antara model elemen hingga dan prediksi dibuat untuk tanah dengan berbagai kemampuan untuk mengirimkan gaya tarik.

Kessler K., 2009 menguraikan asal-usul DCP untuk pengujian tanah dan aplikasi masing-masing untuk berbagai konfigurasi DCP. Berbagai jenis LWD dan hasil yang didapatkan dijelaskan yaitu upaya yang sedang berjalan dalam penggunaan instrumen ini serta standar untuk QC/QA (kontrol kualitas/jaminan kualitas) untuk tanah dasar dan dasar agregat untuk jalan.

Kongkitkul W. *et al.*, 2014 melakukan penelitian terhadap tanah lateritic yaitu tes pemadatan Proctor yang dimodifikasi untuk menentukan kadar air (opt w) yang optimal dan kepadatan kering maksimum yang sesuai), Uji California Bearing Ratio (CBR) pada spesimen yang disiapkan di opt w, tes kerucut pasir untuk menemukan kepadatan lapangan dan karenanya tingkat pemadatan (c D); dan tes LWD untuk menemukan kekakuan permukaan (LWD k). Sementara secara bertahap meningkatkan upaya pemadatan di lubang uji, kerucut pasir dan tes LWD dilakukan pada tanah yang dipadatkan. Ditemukan bahwa ada korelasi yang relevan antara cD dan% CBR dan LWD k. Ketika korelasi ini diketahui, uji LWD dapat menjadi alternatif untuk mengevaluasi cD dan% CBR secara tidak langsung untuk kontrol pemadatan.

Elhakim Amr. F. *et al.*, 2013 melakukan penelitian yaitu pertama, indeks sifat-sifat tanah dari tanah yang diuji termasuk distribusi ukuran butir; rasio void maksimum dan minimum dan gravitasi spesifik diperoleh. Analisis petrografi dari pasir yang diuji juga dilakukan untuk menentukan

komposisi mineraloginya. Ruang dengan luas 1-m² dibangun untuk melakukan pengujian LWD di laboratorium. Penelitian dilakukan untuk kerapatan relatif 20%, 40%, 60% dan 80% untuk mewakili perilaku pasir yang sangat longgar, longgar, padat dan padat. Efek dari keberadaan batas kaku di bawah tanah yang diuji pada hasil pengujian juga diselidiki untuk menentukan zona pengaruh deflectometer ringan.

Hariprasad C. *et al.*, 2016 menggunakan Light Weight Deflectometer (LWD) sebagai perangkat kontrol kualitas untuk menilai kualitas lapisan perkerasan yang dipadatkan. Sebagai bagian dari penelitian ini, program pengujian lapangan LWD yang luas dilakukan di jalan bebas hambatan di sepanjang Outer Ring Road (ORR) yang berlokasi di Hyderabad, India, untuk menentukan modulus deformasi (ELWD) lapisan dasar dan permukaan perkerasan. ELWD lapisan dasar dan permukaan yang dipadatkan masing-masing berkisar antara 37,6 hingga 58,6 MPa, dan 89,3 hingga 125,7 MPa. Selain itu, studi kasus pada jalan volume rendah disajikan untuk menunjukkan hubungan antara ELWD dan kepadatan in situ yang diperoleh dari uji kerucut pasir. LWD ternyata mudah dioperasikan dan memberikan hasil tes cepat pada setiap lapisan trotoar. Oleh karena itu, frekuensi uji kontrol kualitas dapat ditingkatkan yang mengarah pada peningkatan kualitas keseluruhan lapisan perkerasan yang dipadatkan. Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis alat LWD versi laboratorium dengan alat LWD versi lapangan yang saat ini dikembangkan oleh Bina Marga, Indonesia.
2. Menganalisis pengaruh kepadatan, kadar air dan kadar aspal campuran beraspal (AC-WC) terhadap nilai lendutan dan modulus elastisitas dengan menggunakan alat LWD versi laboratorium.
3. Menemukan korelasi antara nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat Marshall Test dengan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat LWD versi laboratorium.

TINJAUAN PUSTAKA

Isu Penggunaan Alat Light Weight Deflectometer (LWD) Untuk Memprediksi Umur Rencana Jalan

Ada beberapa sistem jaringan jalan, salah satunya yang sangat berperan penting adalah sistem jaringan jalan arteri primer yang merupakan jalan penghubung antar pusat kegiatan nasional atau antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah. Jaringan jalan ini juga menjadi jalan yang melayani tulang punggung transportasi nasional, sehingga sangat perlu diperhatikan pemeliharannya agar menjaga kualitas layanan jalan serta tidak menjadi penghambat dalam kelancaran lalu lintas.

Kondisi jalan yang baik akan memudahkan mobilitas penduduk dalam melakukan aktivitas setiap hari. Jalan raya dengan perkerasan lentur maupun perkerasan kaku yang baik, harus mempunyai kualitas demi kenyamanan dan keamanan pengguna jalan. Disamping itu perkerasan jalan raya harus mempunyai ketahanan terhadap pengikisan akibat beban lalu lintas, perubahan cuaca dan pengaruh buruk lainnya serta memiliki umur layanan jalan yang ideal. Sesuai Manual Pemeliharaan Jalan No : 03/MN/B/1983 kerusakan jalan dikelompokkan menjadi; (1) Retak (*cracking*), (2) Distorsi, (3) Cacat Permukaan, (4) Pengausan, (5) Kegemukan (*bleeding*), (6) Penurunan pada bekas penanaman utilitas. Pada umumnya kerusakan yang terjadi merupakan gabungan dari berbagai jenis kerusakan sebagai akibat dari berbagai faktor yang saling terkait.

Kepadatan, lendutan dan elastisitas dari setiap lapisan tanah dasar, lapis pondasi (*base layer*) hingga lapisan campuran aspal merupakan parameter yang penting untuk mendesain suatu konstruksi jalan. Pengujian-pengujian konvensional yang biasanya dilakukan untuk evaluasi dan monitoring jalan tanpa penutup adalah antara lain *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), CBR langsung, *Plate Bearing Test*, dll. Salah satu alat untuk menguji dan menganalisa lendutan dan elastisitas pada tanah, lapisan pondasi dan lapisan campuran aspal adalah LWD (*Light-Weight Deflectometer*). Ali Ebrahimi dan Tuncer B.E. 2011. menggunakan alat LWD (*Light-Weight Deflectometer*) untuk menganalisa lendutan dan resilient modulus dari tanah dasar yang dilapisi berbagai macam material permukaan yaitu material daur ulang dari aspal dan yang distabilisasi dengan agregat alam konvensional. Ch.

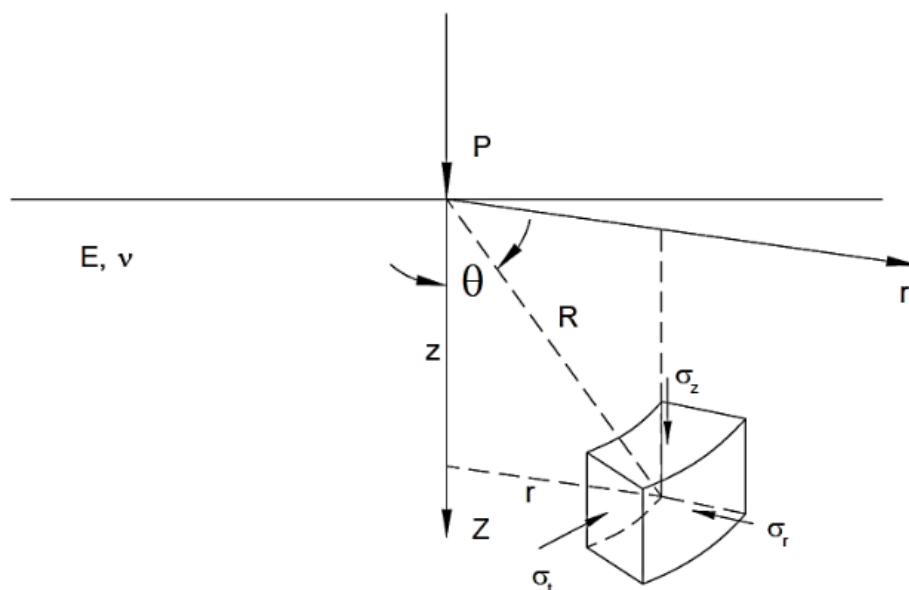
Nageshwar Rao dkk 2008, menggunakan LWD untuk menguji elastisitas tanah laterit yang telah dikupas permukaannya sedalam 30 cm. Elastisitas tanah laterit berdasarkan alat LWD adalah antara 25 MPa hingga 200 MPa.

Dalam penelitian ini untuk mengetahui bagaimana tingkat kerusakan yang terjadi pada lokasi penelitian diatas berdasarkan umur rencana, maka perlu dilakukan pengamatan secara visual kemudian dilakukan analisis indeks kondisi perkerasan yaitu tingkatan dari kondisi permukaan perkerasan yang terjadi. Analisis indeks kondisi perkerasan dilakukan dengan menggunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada ruas tersebut.

Hal penting dalam pengelolaan sistem perkerasan jalan adalah kemampuan dalam menentukan gambaran kondisinya saat sekarang dari suatu jaringan jalan, dan memperkirakan kondisinya di masa datang. Untuk memprediksi kondisi perkerasan dengan baik, maka suatu metode penilaian untuk identifikasi harus digunakan. Sistem ini merupakan alat bagi personil penilai dalam melakukan penilaian kerusakan perkerasan. Sistem atau metode penilaian kondisi perkerasan yang terdiri dari Metode Dirgolaksono Mochtar dan metode Bina Marga. Metode ini sering digunakan untuk menilai kondisi perkerasan jalan. Namun pada saat ini, biasa digunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi pada perkerasan jalan.

Tegangan Pada Subgrade Jalan

Boussinesq merupakan orang pertama yang menguji respon perkerasan terhadap beban. Serangkaian persamaan dibuat oleh Boussinesq untuk menentukan tegangan, regangan dan deformasi dalam media yang bersifat homogen, isotropik, elastis linier dengan modulus elastisitas (E), dan poisson ratio (μ) sebagai akibat dari beban terpusat statis pada permukaan perkerasan (Tu, W., 2007). Gambar 1 memperlihatkan notasi sumbu koordinat untuk persamaan Boussinesq dimana z adalah kedalaman dan r adalah jarak radial dari beban terpusat.



Gambar 1. Sistem sumbu koordinat untuk persamaan Boussinesq (Tu, W, 2007)

Beberapa persamaan Boussinesq ditunjukkan pada persamaan di bawah ini, dimana:

$$R = \sqrt{z^2 + r^2} \quad (1)$$

Tegangan normal :

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi R^2} \cos^3 \theta \quad (2)$$

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi R^2} \left[3\cos\theta \sin^2\theta - \frac{1-2\mu}{1+\cos\theta} \right] \quad (3)$$

$$\sigma_t = \frac{(1-2\mu)P}{2\pi R^2} \left[-\cos\theta + \frac{1}{1+\cos\theta} \right] \quad (4)$$

Tegangan geser :

$$\tau_{rz} = \frac{3P}{2\pi R^2} \cos^2\theta \sin\theta \quad (5)$$

$$\tau_{rt} = 0 \quad (6)$$

$$\tau_{tz} = 0 \quad (7)$$

Regangan normal :

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\mu)P}{2\pi R^2 E} [3\cos^3\theta - 2\mu\cos\theta] \quad (8)$$

$$\varepsilon_r = \frac{(1+\mu)P}{2\pi R^2 E} \left[-3\cos^3\theta + (3-2\mu)\cos\theta - \frac{1-2\mu}{1+\cos\theta} \right] \quad (9)$$

$$\varepsilon_t = \frac{(1+\mu)P}{2\pi R^2 E} \left[-\cos\theta + \frac{1-2\mu}{1+\cos\theta} \right] \quad (10)$$

Displacements :

$$dz = \frac{(1+\mu)P}{2\pi RE} [2(1-\mu) + \cos^2\theta] \quad (11)$$

$$dr = \frac{(1+\mu)P}{2\pi RE} \left[\cos\theta \sin\theta - \frac{(1-2\mu)\sin\theta}{1+\cos\theta} \right] \quad (12)$$

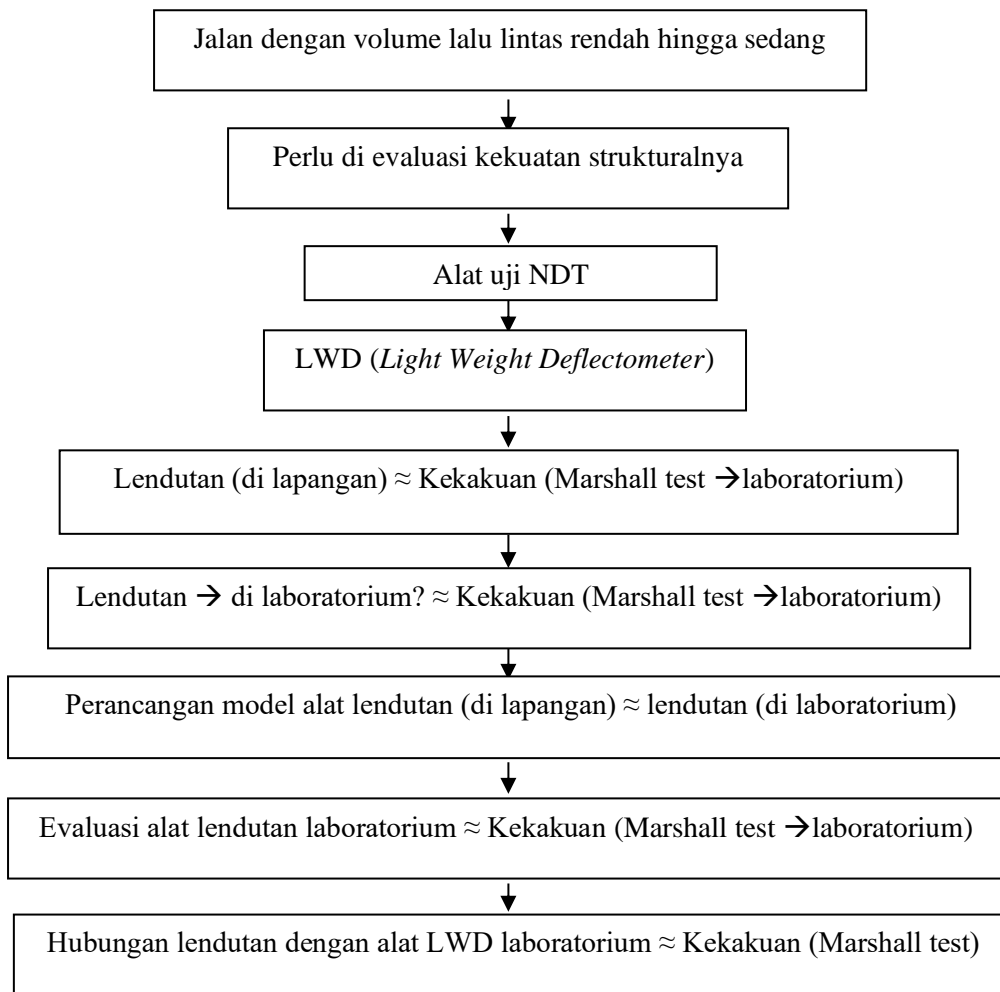
$$dt = 0 \quad (13)$$

Sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan di atas, modulus elastisitas tidak memiliki pengaruh pada tegangan dan regangan normal serta tegangan geser. persamaan Boussinesq awalnya dikembangkan untuk beban statik terpusat dan selanjutnya persamaan Boussinesq dikembangkan oleh para peneliti dengan beban terbagi rata.

Yoder dan Witczak (1975) menyarankan bahwa teori Boussinesq dapat digunakan untuk memperkirakan tegangan, regangan dan lendutan pada subgrade ketika modulus pada lapis pondasi (*base*) hampir sama dengan nilai modulus subgrade. Modulus permukaan perkerasan dihitung dengan menggunakan pengukuran lendutan permukaan berdasarkan persamaan Boussinesq, persamaannya dapat digunakan sebagai sebuah indikator menyeluruh dari kekakuan perkerasan (Ullidtz, 1998).

Kerangka Pikir Penelitian

Pemodelan alat LWD laboratorium dilakukan berdasarkan konsep-konsep dari alat LWD lapangan yang disederhanakan sehingga bisa digunakan di laboratorium dan hasil yang didapatkan sama dengan alat LWD lapangan. Dengan menggunakan data lendutan, yang biasanya disebut dengan mangkuk defleksi (*deflection bowl*), kekakuan lapisan pembentuk perkerasan dapat ditentukan dari hitungan balik, yaitu dengan menggunakan program-program komputer. Gambar 2 memperlihatkan kerangka pikir penelitian ini.



Gambar 2. Kerangka pikir penelitian

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan Juni 2019 sampai Bulan Oktober 2019.

Instrumen Penelitian

Pada dasarnya prinsip kerja dari alat LWD laboratorium sama dengan alat LWD di lapangan yakni suatu peralatan yang dapat mengukur nilai lendutan dan modulus elastisitas melalui impuls beban yang timbul akibat beban dengan berat tertentu yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu di permukaan pelat dengan luas tertentu pada permukaan perkerasan yang akan menimbulkan defleksi yang diukur menggunakan alat sensor perpindahan letak (displacement sensor). Perbedaan terletak pada sensor yang digunakan. Pada LWD lapangan, sensor yang dipakai adalah geofone sedangkan pada LWD laboratorium menggunakan accelerometer tipe *MEMS Accelerometer*. Untuk mengevaluasi alat LWD yang dihasilkan maka selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji Marshall dengan menggunakan campuran AC-WC.

Metode Analisis Data

Analisis data dengan menggunakan alat lwd laboratorium prinsipnya sama dengan analisis data dengan menggunakan alat lwd lapangan yaitu dengan sistem komputerisasi. berdasarkan elastis bousinesq, hubungan antara tekanan dan perpindahan yang diterapkan di dalam tanah untuk kasus

basa kaku atau fleksibel yang terletak pada ruang setengah elastis dapat diturunkan seperti pada persamaan 14.

$$E = \frac{(1 - \nu^2) \times \sigma_0 \times a}{d_0} \times f \quad (14)$$

Dimana:

- E = modulus elastisitas (MPa)
- d₀ = penurunan yang diukur (mm)
- ν = Rasio Poisson
- σ₀ = tegangan terapan (MPa)
- a = jari-jari pelat (mm)
- f = faktor bentuk tergantung pada distribusi tegangan

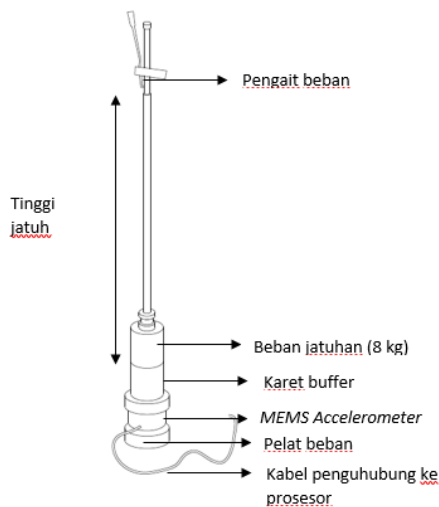
Selanjutnya jika hasil pengujian lendutan dari campuran AC-WC telah didapatkan dari pengujian LWD laboratorium maka selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan alat Marshall untuk mendapatkan nilai karakteristik Marshall yang terdiri dari nilai stabilitas, flow, Marshall quotient, VIM, VMA dan VFB. Marshall quotient merupakan hasil bagi Marshall yang menunjukkan nilai kekakuan (elastisitas/fleksibilitas) dari campuran beraspal.

Kedua parameter inilah yaitu lendutan dari hasil pengujian LWD laboratorium dan Marshall quotient dari hasil pengujian Marshall test yang selanjutnya dibuatkan hubungan korelasi yang menunjukkan keterikatan antara keduanya. Gambar 3 memperlihatkan sketsa alat LWD laboratorium yang dibuat dengan menyederhanakan alat LWD lapangan. Gambar 4 memperlihatkan proses pengujian dengan menggunakan alat LWD laboratorium dengan sistem komputerisasi yang terhubung dengan suatu prosesor untuk membaca beban impact yang diberikan oleh perkerasan.

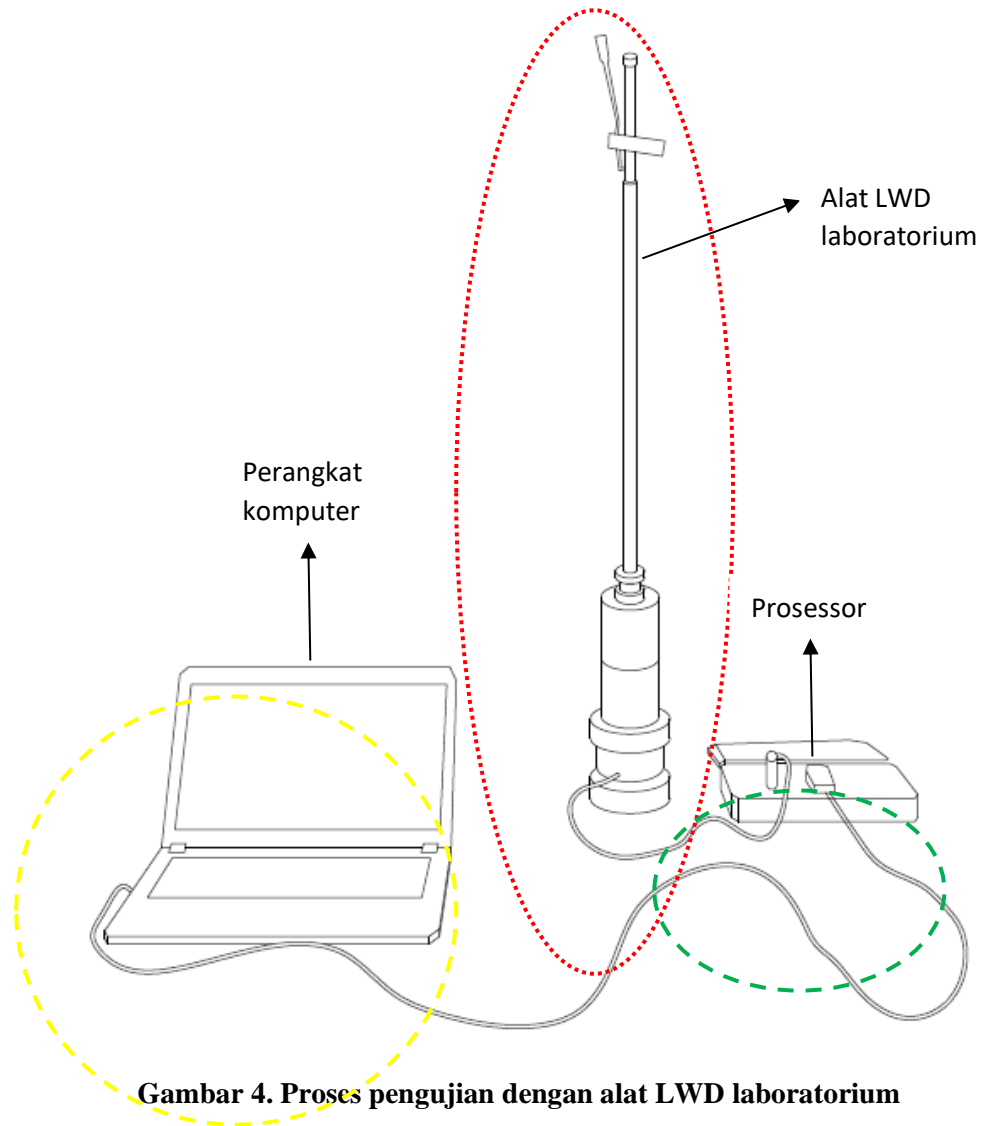
Proses pengujian modulus dengan menggunakan alat LWD laboratorium yang diperlihatkan pada Gambar 4 dimulai dengan pemberian beban kepada sampel penelitian yang akan terbaca sebagai lendutan pada MEMS Accelerometer yang diteruskan ke prosesor dan terbaca sebagai D₀ (lendutan) pada software di komputer. Modulus permukaan (modulus lapisan permukaan) adalah dihitung dari defleksi permukaan menggunakan persamaan Boussinesq:

$$E_0(0) = 2(1 - \mu^2) \sigma_0 a / D(0) \quad (15)$$

$$E_0(r) = (1 - \mu^2) \sigma_0 a^2 / (r D(r)) \quad (16)$$



Gambar 3. Komponen-komponen alat LWD laboratorium



Gambar 4. Proses pengujian dengan alat LWD laboratorium

Dalam kasus Zorn LWDs, gaya yang diterapkan dari massa jatuh diukur di laboratorium dan digunakan untuk semua perhitungan modulus permukaan untuk alat LWD. Persamaan 17 dapat digunakan untuk memperkirakan beban yang diterapkan untuk Zorn LWDs.

$$F_z = \sqrt{2 \times m \times g \times h \times k} \quad (17)$$

Dimana :

- F_z = Estimasi besarnya gaya (N)
- m = Massa beban dari alat LWD (kg)
- g = Besarnya percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- h = Tinggi jatuh beban dari alat LWD (m)
- k = Konstanta karet buffer ($362396,2 \text{ N/m}$)

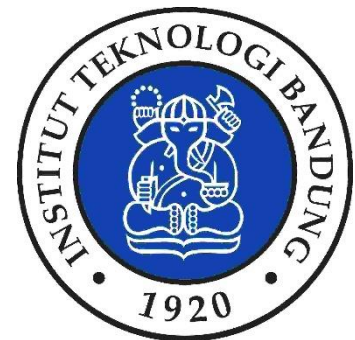
HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah :

1. Membuat alat pengujian modulus elastisitas yang sederhana, murah dan portable yakni *Light Weight Deflectometer* (LWD) laboratorium/mini LWD.
2. Mendapatkan hubungan antara nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat Marshall Test dengan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat LWD versi laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Ebrahimi dan Tuncer B.E. 2011. Light-weight Deflectometer for Mechanistic Quality Control of Base Course Materials, ice proceedings, pp : 1-10.
- Amr F. Elhakim, Khaled Elbaz, dan Mohamed I. Amer. 2013. The Use of Light Weight Deflectometer for In Situ Evaluation of Sand Degree of Compaction, Volume 10 Issue 3, pp : 298-307.
- Buechler, Scott. R., et. al. 2012. *Understanding the Soil Contact Problem for the LWD and Static Drum Roller by Using the DEM*. ASCE : 2012.
- Ch. Nageshwar Rao, Varghese George, and R. Shivashankar, PFWD, CBR and DCP Evaluation of Lateritic Subgrades of Dakshina Kannada, India, 2008, The 12 th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG) 1-6 October, Goa, India, pp. 441-4423. Civil Engineers (ASCE).
- Hariprasad, C., et. al. 2016. *Light Weight Deflectometer for Compaction Quality Control*. Indian Geotechnical Conference IGC 2016. Chennai.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Kessler, K. 2009. *Use of DCP (Dynamic Cone Penetrometer) and LWD (Light Weight Deflectometer) for QC/QA on Subgrade and Aggregate Base*. GeoHunan International Conference 2009.
- Kongkitkul, W., et. al. 2014. *Correlations between the Surface Stiffness Evaluated by Light-Weight Deflectometer and Degree of Compaction*. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand.
- Mazari, Mehran, et. al. 2017. *Evaluating Stiffness Parameters of Unbound Geomaterial Layers Using Intelligent Compaction, Plate Load Test, and Light Weight Deflectometer*. Dept. of Civil Engineering, California State Univ. Los Angeles, Los Angeles, CA.
- Nils Ryden dan Michael A. Mooney, Analysis of surface waves from the light weight deflectometer, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 29 (2009), pp. 1134–1142.
- Pd 03-2016-B. Pedomannya Metoda Uji Lendutan Menggunakan Light Weight Deflectometer (LWD), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Rahman, Farhana, et. al. 2007. *Intelligent Compaction Control of Highway Embankment Soil*. Kansas State University Department of Civil Engineering, Manhattan.
- Senseney, C. T., et. al. 2012. *Genetic Algorithm to Optimize Layer Parameters in Light Weight Deflectometer Backcalculation*. International Journal of Geomechanics.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-2489-1991. (1991). Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. Indonesia : Standar Nasional Indonesia.
- Stephen B., the Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham, July 2015.
- Tehrani, Faraz S., Christopher L. Meehan. 2010. *The Effect of Water Content on Light Weight Deflectometer Measurements*. Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware, Newark, DE.
- Tirado, C., et. al. 2015. *Evaluating Influence Depth of Light Weight Deflectometer through Finite Element Modeling*. Airfield and Highway Pavements. Center for Transportation Infrastructure Systems (CTIS), University of Texas at El Paso, Texas.
- Yoder.El dan Witczak. MW, (1975), *Principles of Pavement Design*, 2nd Edition JohnWiley & Sons Inc. Canada.



6

REKAYASA STRUKTUR

Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2019

Bandung, 5 November 2019

KAJIAN EKSPERIMENTAL BETON DENGAN AGREGAT KASAR DARI LIMBAH BATU KERAJINAN

Ira Puspitasari¹, Harianto Zaidulfar²

¹ Staf Pengajar, Jurusan Teknik Sipil, Program Studi Konstruksi Bangunan Politeknik TEDC Bandung,
Email: eera.civilundip@gmail.com

² Staf Pengajar, Jurusan Teknik Sipil, Program Studi Konstruksi Bangunan Politeknik TEDC Bandung
Email: idharizaid@gmail.com

ABSTRAK

Beton adalah material konstruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil/ agregat kasar, semen serta air (Setiawan, 2016). Di sisi lain penggunaan kerikil yang merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui secara terus menerus sebagai bahan beton dikhawatirkan merusak lingkungan. Dalam mengatasi isu itu maka riset tentang konstruksi hijau (*Green Construction*) mulai digalakkan dengan salah satunya adalah pemanfaatan limbah batu kerajinan di Padalarang. Tujuan penelitian adalah mengetahui komposisi optimum agregat kasar dari limbah pada beton sehingga menghasilkan kuat tekan yang maksimum. Tahapan Pertama dalam penelitian ini adalah pengumpulan data selanjutnya adalah analisis Laboratorium meliputi uji sifat teknis material penyusun beton yang meliputi pasir, kerikil alami dan kerikil dari limbah batu kerajinan. Dalam penelitian ini benda uji yang dibuat sebanyak 30, menggunakan mix desain DOE dan mengganti sebagian agregat kasar alami dengan agregat kasar dari limbah batu kerajinan. Berdasarkan penelitian sebelumnya ditentukan 6 komposisi antara agregat kasar /split (S) dan agregat kasar dari limbah (L) adalah 100% S : 0% L (beton normal), 80% S : 20% L, 60% S : 40% L, 40% S : 60% L, 20% S : 80% L dan 0% S : 100% L, masing masing komposisi berjumlah lima benda uji. Pengujian meliputi berat jenis, kuat tekan dan modulus elastisitas beton.. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan beton normal pada mix desain yang sama adalah 8.40 MPa dan kuat tekan maksimum pada beton dengan campuran agregat dari limbah batu kerajinan diperoleh pada proporsi 40% split dan 60% limbah yaitu 14.35 MPa. Modulus elastisitas pada beton normal adalah 15308 MPa dan pada beton dengan limbah nilai maksimum diperoleh pada proporsi 20% split dan 80% limbah yaitu 18367.8 MPa. Berat jenis pada beton normal adalah 2.2 dan nilai terkecil diperoleh dari beton dengan limbah pada komposisi 100% agregat kasar dari limbah batu kerajinan yaitu 2.184.

Kata kunci: Kontruksi Hijau, Limbah, Batu Kerajinan, Padalarang, DOE

PENDAHULUAN

Perkembangan dunia konstruksi saat ini menunjukkan bahwa material struktur yang sangat populer digunakan di seluruh dunia adalah beton. Beton adalah material konstruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil/ agregat kasar, semen serta air (Setiawan, 2016). Agregat kasar merupakan sumber daya alam yang lama kelamaan akan habis dan tidak dapat diperbaharui, permasalahan inilah yang akan dicarikan alternatif penggantinya. Alternatif pengganti material digunakan limbah batu kerajinan dimana melanjutkan penelitian sebelumnya, bahwasannya penggunaan agregat kasar dari limbah batu kerajinan bisa dimanfaatkan untuk pembuatan beton ringan dengan berat jenis beton sekitar 1700 kg/ dm³ (Ira, 2018) lebih kecil dari berat jenis beton normal yaitu 2400 kg/m³ namun kuat tekan rendah karena non pasir. Berdasarkan permasalahan tersebut maka penulis berencana melakukan penelitian beton normal dengan agregat berasal dari limbah batu kerajinan. Pembuatan mix desain kebutuhan bahan beton sesuai beton normal dengan metode SK.SNI T-15-1990-03./ Current British Method (D0E), disusun oleh British Departement of Environment pada tahun 1975 untuk menggantikan Road Note.4 di Inggris. Untuk kondisi di Indonesia telah diadakan penyesuaian pada besarnya variasi kuat tekan beton. Pembuatan campuran beton dengan metode DOE, kemudian hasil mix desain disubtitusikan ke proporsi benda uji dengan

kandungan material agregat dari limbah batu kerajinan sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dimana masing- masing proporsi berjumlah 5 benda uji berbentuk silinder.

Tujuan dari penelitian beton dari limbah batu kerajinan sebagai agregat kasar adalah

- Mengetahui karakteristik mekanis agregat kasar dari limbah batu kerajinan meliputi berat jenis, berat isi, daya serap air, keausan
- Mengetahui karakteristik mekanis beton dengan pemakaian limbah batu kerajinan sebagai agregat kasar dibandingkan dengan beton normal pada pengujian kuat tekan, berat jenis dan modulus elastisitas
- Mengetahui komposisi split dan limbah yang menghasilkan kuat tekan, berat jenis dan modulus elastisitas yang optimum.

TINJAUAN PUSTAKA

Teori Beton

Menurut Wahyu Dwi Cahyadi (2012:7) dalam penelitiannya menyatakan bahwa beton merupakan campuran antara bahan agregat halus dan kasar dengan pasta semen (kadang-kadang juga ditambahkan admixture), yang apabila dituangkan ke dalam cetakan dan kemudian didiamkan, akan menjadi keras seperti batuan. Menurutnya, proses pengerasan terjadi karena adanya reaksi kimia antara air dengan semen yang terus berlangsung dari waktu ke waktu. Hal ini menyebabkan kekerasan beton terus bertambah sejalan dengan waktu, imbuhnya (Wahyu Dwi Cahyadi, 2012:7. Sesuai perkembangan teknologi beton yang demikian pesat, menurut Supartono (1998) ternyata kriteria beton tinggi juga berubah sesuai dengan perkembangan jaman, beton dikatakan mutu tinggi jika kekuatannya di atas 50 MPa dan di atas 80 MPa adalah beton mutu sangat tinggi. Ada beberapa fakta yang mempengaruhi kekuatan beton mutu tinggi, yaitu :

Faktor Air Semen (FAS)

Tri mulyono (2004) Secara umum, semakin besar nilai FAS semakin rendah mutu kekuatan beton. Dengan demikian untuk menghasilkan sebuah beton yang bermutu tinggi FAS dalam beton haruslah rendah, sayangnya hal ini menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan. Umumnya nilai FAS minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan nilai maksimal 0,65. Tujuan pengurangan FAS ini adalah untuk mengurangi hingga seminimal mungkin porositas beton yang dibuat sehingga akan dihasilkan beton mutu tinggi. Pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, Supartono (1998) FAS dapat diartikan sebagai meter to cementitious ratio, yaitu berat air terhadap berat total semen dan aditif cementitious yang umumnya di tambahkan pada campuran beton mutu tinggi.

Kualitas Agregat

Menurut Larrad (1990), Umumnya agregat halus mempunyai modulus halus butiran (MHB) sekitar 1,50-3,8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai $2,5 < MHB < 3,0$ umumnya menghasilkan beton mutu tinggi dengan FAS yang rendah dan mempunyai kekuatan tekan dan kelecakan yang optimal. Ukuran butir agregat maksimum juga akan mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat. Hasil penelitian Larrad (1990) menyebutkan bahwa butiran maksimum yang memberikan arti nyata untuk membuat beton mutu tinggi tidak boleh lebih dari 15 mm. Namun demikian pemakaian butiran agregat sampai dengan 25 mm masih memungkinkan di perolehnya beton mutu tinggi dalam proses produksinya.

Kontrol Kualitas

Untuk menghasilkan beton yang bermutu tinggi, faktor kontrol terhadap kualitas proses produksi beton pada saat pengambilan sampel, pengujian maupun proses penakaran sampai perawatan sangat perlu diperhatikan.

Agregat Batu Pecah Limbah Kerajinan

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. (Tjokrodiluljo K, 2004). Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah (misalnya kerikil) atau dapat pula diperoleh dengan cara memecah batu alam, membakar tanah liat, dan sebagainya. (Tjokrodiluljo K, 2004).

Benda padat buangan / limbah, kemungkinan pemanfaatannya untuk dipakai sebagai pengganti agregat dalam pembuatan beton, sebenarnya bukanlah suatu konsep yang baru, bahkan pada masa

– masa terakhir ini sering dibicarakan dan tampak meningkat kebutuhannya. Sebelum barang-barang bekas / limbah buangan tersebut dipakai, maka perlu dipertimbangkan (diteliti) dulu terhadap hal-hal sebagai berikut (Tjokrodimuljo K, 2004 dalam Misdarpon Deddy, 2006) :

- a. Tinjauan ekonomi, apakah tidak lebih mahal dari pada agregat biasa.
- b. Tinjauan sifat teknis, apakah secara teknis dapat dipakai.

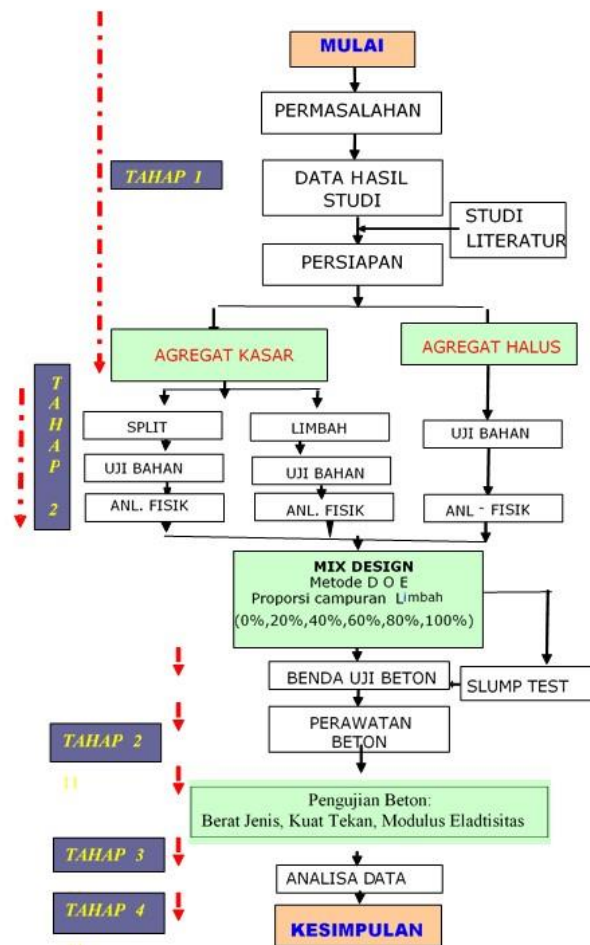
Agregat batu pecah limbah kerajinan ini terletak di daerah Cipatat Padalarang Kabupaten Bandung Barat. Di daerah Cipatat banyak sekali pengrajin dengan bahan dasar batuan. Limbah yang dihasilkan dari industri ini berupa batu pecah dengan ukuran yang beraneka ragam. Limbah ini menumpuk begitu saja, padahal secara fisik bisa dimanfaatkan untuk kegiatan lain yang memiliki nilai ekonomis. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Ira (2018), bahwa limbah batu kerajinan ini bisa dijadikan sebagai agregat pada beton ringan non pasir, maka melihat karakteristik fisiknya batu pecah limbah kerajinan ini bisa dijadikan sebagai agregat halus dan kasar pengganti pada beton.

State of The Art

State of the art dari topik penelitian ini adalah bersesuaian dengan bidang arsitektur, real estate, dan teknik lingkungan. Penelitian ini dilakukan terkait dengan bidang keahlian teknik sipil, dimana didalamnya terdapat rekayasa bahan, jadi penelitian ini dapat dikategorikan sebagai bidang Teknologi Material Maju yang mendapat prioritas dalam penelitian kompetitif nasional dengan kategori penelitian dosen pemula

METODE PENELITIAN

Penelitian ini memiliki alur penelitian sebagai berikut:



Gambar 1. Alur Penelitian

Penjelasan alur penelitian:

a. Tahap Pertama

Pada tahap pertama dilakukan persiapan berdasarkan data hasil studi, observasi lapangan dan studi literature. Persiapan meliputi bahan maupun peralatan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji. Persiapan bahan meliputi pencucian pasir, split dan limbah batu kerajinan. Pasir yang digunakan adalah pasir Cimalaka, split diperoleh dari toko material sekitar Cimahi dan limbah diperoleh dari toko material Fahmi Klg 2 Alam Jaya yang khusus menjual batu split hasil pengolahan limbah batu kerajinan yang beralamat di Jalan Prapatan Arab Kp. Cipadang Manah RT 03 RW 16 Desa Padalarang Kabupaten Bandung Barat.

b. Tahap Kedua

Pada tahap kedua dilakukan pengujian karakteristik bahan meliputi uji fisik yaitu berat jenis, berat isi, daya serap air pasir biasa, kerikil biasa dan pasir dari limbah batu kerajinan. Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji dengan metode DOE ditetapkan $f'c$: 30 MPa kemudian hasil mix desain disubstitusikan ke proporsi benda uji dengan komposisi antara split dan limbah sebagai berikut :

100 % : 0% , 80% : 20%, 60 % : 40% , 40 % : 60% , 20% : 80% , 0% : 100% masing – masing proporsi berjumlah 5 benda uji sehingga total keseluruhan benda uji adalah 30 buah silinder dan dilakukan perawatan (curing) dengan cara perendaman dalam air setelah berumur 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan, berat jenis dan modulus elastisitas

c. Tahap Ketiga

Pada tahap ketiga dilakukan analisis data dan penarikan kesimpulan dan saran

PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus

Pengujian agregat dilakukan di laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Pendidikan Indonesia dari mulai 21 Juni sampai 02 Juli 2019. Agregat yang akan digunakan sebagai material campuran pada beton pada benda uji diperiksa parameternya. Parameter agregat halus yang diuji meliputi berat isi, kadar air, kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan, analisa saringan. Sedangkan pada split dan limbah meliputi berat isi, kadar air, kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan, analisa saringan, keausan agregat. Sebelum dilakukan pemeriksaan , pasir, split dan limbah dicuci terlebih dulu supaya memenuhi standar SNI untuk material beton. Setelah dicuci , agregat dijemur dan diangin-angina pada suhu ruangan . Berikut merupakan hasil rekapitulasi pengujian agregat kasar dan halus.

Tabel 1. Hasil Rekapitulasi Pemeriksaan Agregat (Hasil Analisis, 2019)

Parameter	Satuan	Hasil
AGREGAT HALUS		
Kadar Lumpur	%	0.92
Kadar Air Asli	%	0.75
Kadar Air SSD	%	2.882
Berat isi	%	1543.61
Berat Jenis Semu		2.708
Berat Jenis Kering		2.512
Berat Jenis SSD		2.584
Analisa Saringan (FM)	%	2.64
AGREGAT KASAR		Split Limbah

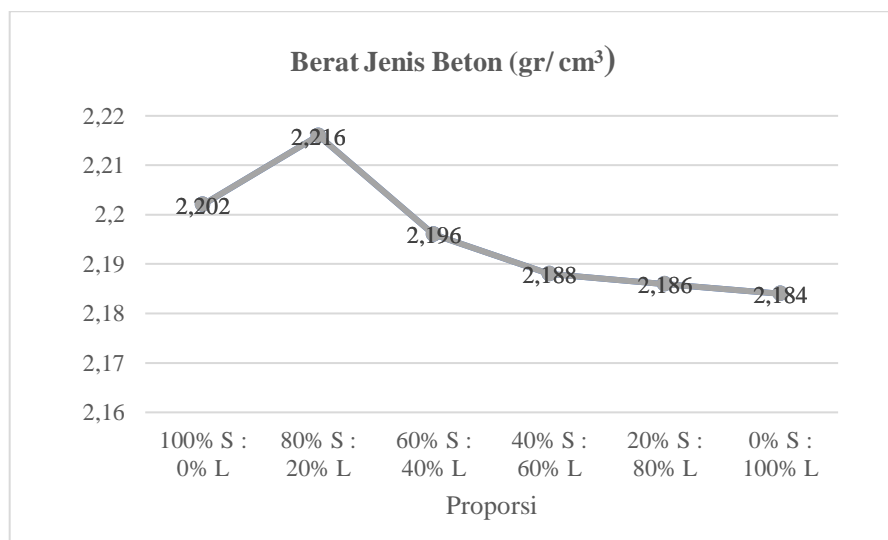
Kadar Lumpur	%	0.2	0.3
Kadar Air Asli	%	2.45	2.4
Kadar Air SSD	%	5.08	3.3
Berat Isi		1281.9	1427.47
Berat Jenis Semu		2.6	2.66
Berat Jenis Kering		2.29	2.44
Berat Jenis SSD		2.41	2.52
Analisa saringan (FM)	%	3.53	4.07
Keausan Agregat	%	26.19	17.34

Berat Jenis Beton

Sebelum benda uji dites kuat tekan, maka dilakukan pengukuran dimensi dan massa benda uji. Pengukuran dimensi meliputi diameter dan tinggi silinder kemudian dihitung volume silinder. Berat jenis diperoleh dari masaa / berat beton dibagi dengan volume beton dalam satuan gr/cm^3 . Rekapitulasi hasil perhitungan berat jenis adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Berat Jenis Beton (Sumber : Hasil Analisa, 2019)

Variasi Adukan	Berat Jenis (gr/cm^3)					BJ Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
100% S : 0% L (Beton Normal)	2.24	2.23	2.19	2.18	2.17	2.202
80% S : 20% L	2.25	2.29	2.18	2.17	2.19	2.216
60% S : 40% L	2.23	2.23	2.17	2.17	2.18	2.196
40% S : 60% L	2.26	2.21	2.17	2.15	2.15	2.188
20% S : 80% L	2.21	2.2	2.15	2.18	2.19	2.186
0% S : 100% L	2.18	2.23	2.16	2.17	2.18	2.184



Gambar 2. Grafik Berat Jenis Berdasarkan Proporsi Campuran Split dan Limbah

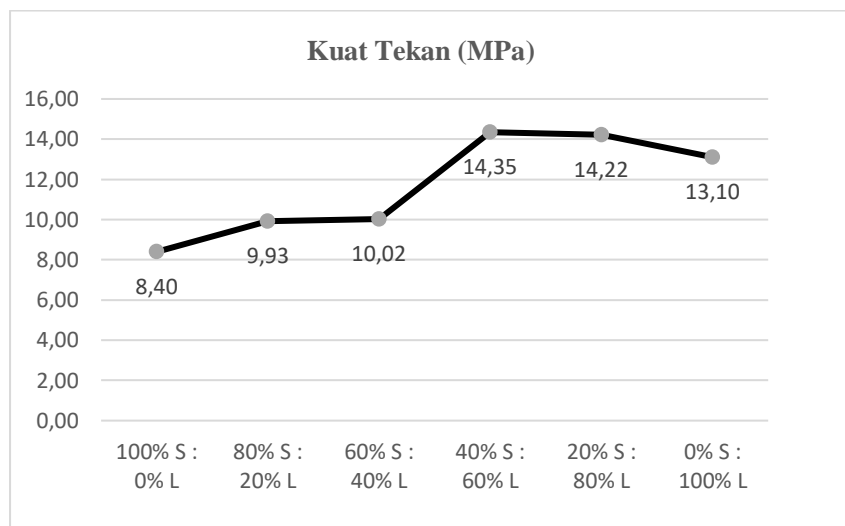
Berdasarkan dari gambar 2 bisa disimpulkan bahwa berat jenis paling kecil dimiliki oleh beton dengan proporsi limbah (L) 100% dan split (S) 0%. Ini membuktikan bahwa semakin besar proporsi limbah sebagai pengganti agregat kasar maka beton semakin ringan yang diperlihatkan melalui berat jenis yang kecil.

Tekan Beton

Pengujian selanjutnya adalah uji kuat tekan beton menggunakan alat compression test. Pada saat pengujian, alat menunjukkan besarnya gaya yang dimiliki oleh masing- masing benda uji. Kemudian hasil gaya tersebut dibagi dengan luasan topping silinder sehingga diperoleh nilai kuat tekan dalam satuan MPa. Rekapitulasi hasil perhitungan kuat tekan beton dengan berbagai proporsi adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Rekapitulasi Kuat Tekan Beton dengan Berbagai Proporsi Agregat Kasar

Proporsi	Kuat Tekan (Mpa)					Rata - rata
	1	2	3	4	5	
100% S : 0% L (Beton Normal)	10.1705	8.17045	10.24	10.99	10.59	8.40
80% S : 20% L	9.47727	9.26136	10.76	10.8	9.34	9.93
60% S : 40% L	9.28409	8.63636	8.77	10.11	13.32	10.02
40% S : 60% L	13.3523	12.7386	15.6	15	15.04	14.35
20% S : 80% L	13.2727	5.20455	7.63	14.12	15.27	14.22
0% S : 100% L	13.3182	13.4432	11.21	14.23	13.3	13.10

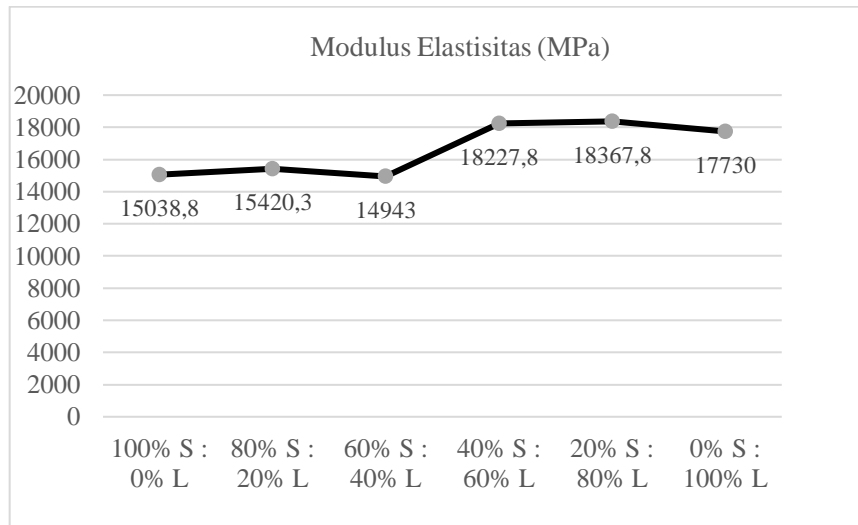


Gambar 3. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton dengan Berbagai Proporsi Agregat dan Split

Berdasarkan gambar 3 , bisa disimpulkan bahwa pada mix desain yang sama beton normal memiliki kuat tekan 8.40 MPa, diman nilai ini lebih kecil dari beton dengan campuran agregat kasar dari limbah batu kerajinan yaitu 14.35 MPa pada proporsi 40% split dan 60% limbah .

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah kemampuan beton untuk berubah bentuk akibat pembebanan tekan tanpa terjadi deformasi plastis atau permanen. Pada umumnya bahan, termasuk beton memiliki daerah awal pada diagram tegangan regangan dimana bahan berkelakuan secara elastis dan linier. Kemiringan diagram teganganregangan dalam daerah elastis linier itulah yang dinamakan modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan menahan tegangan yang cukup besar akibat beban- beban yang terjadi pada suatu regangan (kemungkinan terjadi retak) yang kecil. Berikut merupakan hasil rekapitulasi modulus elastisitas beton berdasarkan proporsi agregat split dan limbah:



Gambar 4. Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Pada Beton

Berdasarkan gambar 4 bisa disimpulkan bahwa modulus elastisitas paling besar terdapat pada beton dengan campuran agregat 80% limbah dan 20% split yaitu 18367.8 MPa sedangkan pada beton normal hanya 15038.8 MPa. Semakin besar nilai modulus elastisitas beton maka kemampuan menahan perpendekan atau perpanjangan semakin baik. Artinya penggunaan limbah semakin mempersar nilai modulus elastisitas beton.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Penggunaan agregat limbah sebagai pengganti agregat kasar alami mengurangi berat jenis beton dibandingkan beton normal yaitu 2.184 gr/cm^3 pada proporsi 100% limbah dan 0% split dibandingkan berat jenis pada beton normal atau proporsi 0% limbah dan 100 % split yaitu 2.2 gr/cm^3
2. Kuat tekan optimum diperoleh pada proporsi 40% split dan 60% limbah dengan kuat tekan 14.35 Mpa dan yang terkecil pada proporsi 100% split dan 0 % limbah (beton normal) yaitu 8.4 Mpa
3. Modulus elastisitas maksimum diperoleh pada proporsi agregat 20% split dan 80% limbah dengan nilai 18367.8 MPa dan paling kecil terdapat pada beton dengan proporsi 60% split dan 40 % limbah yaitu 14943 MPa.
4. Melihat nilai berat jenis, kuat tekan dan modulus elastisitas pad beton dengan campuran agregat yang memiliki nilai lebih baik dibandingkan beton normal pada mix desain yang sama maka penggunaan agregat kasar dari limbah batu kerajinan bisa digunakan sebagai alternatif dalam meningkatkan kuat tekan beton dan substitusi agregat alam
5. Hasil kuat tekan beton normal yang rendah dibanding rencana dikarenakan pengujian mix desain hanya sekali dan perlu dilakukan uji coba berulang kali sehingga kuat ekan mendekati rencana

Saran

1. Jumlah benda uji diperbanyak yaitu minimal 10 buah per proporsi
2. Memperbanyak jumlah variabel proporsi dan umur pengujian
3. Uji coba mix desain campuran diperbanyak dan diulang agar diperoleh kuat tekan yang direncanakan sehingga beton bisa digunakan untuk bagian struktural

DAFTAR PUSTAKA

- Hadi C, 2003, Beton Non Pasir dengan Agregat Batu Kapur asal Klaten ukuran 10mm – 20mm, Program S.1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Misdarpon D, 2006, Tesis, Pemanfaatan Batu Beragkal Kapur Limbah Industri Sebagai Agregat Untuk Beton Non Pasir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Mulyono, Tri, Ir, MT, Teknologi Beton, Andi Yogyakarta, 2004,
- Raju N K, 1983, Design of Concrete Mixes, CBS Publishers & Distributors, 485, Jain Bhawan, Bhol Nath Nagor, Shandra, Delhi – 11032 India Second Edition.
- Tjokrodinuljo K, 2004, Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yen Tsong, Chen How- Ji, Huang Yue-Lin and Peng Hsien Sheng. 2007. Production of Sintered Fine Sediment Lightweight Aggregate. Departement of Civil Engineering, National Chung-Hsing University Taiwan

KINERJA MEKANIK CAMPURAN AC-BC YANG MENGANDUNG ASBUTON MODIFIKASI TRANSFORMASI LIMBAH PLASTIK PP (POLYPROPYLENE)

Sukrislistarto¹, M. Isran Ramli², Mubassirang Pasra³ dan A. Arwin Amiruddin⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: sukrislistartopalau2018@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: muhisran@yahoo.com

³ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: mubapasra@gmail.com

⁴ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: a.arwinamiruddin@yahoo.com

ABSTRAK

Menurut *Indonesia Solid Waste Association* (2013), jenis limbah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5,4 juta ton per tahun dan masuk dalam peringkat kedua di dunia sebagai penghasil limbah plastik kelaut setelah Tiongkok. Kategori limbah plastik yang terbesar berasal dari kemasan seperti botol minuman dan kantong plastik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-BC yang mengandung limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*), merumuskan model hubungan antara nilai stabilitas campuran AC-BC dengan kadar limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*) dan kadar aspal dan hubungan antara nilai kuat tarik tidak langsung campuran AC-BC dengan kadar limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*) dan kadar aspal. Penelitian ini berbentuk eksperimental di laboratorium. Penggunaan limbah plastik (0,0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 dan 2,5%) sebagai bahan tambah pada kadar aspal optimum. Pengujian stabilitas dan kuat tarik tidak langsung diaplikasikan untuk mengevaluasi kinerja mekanik campuran aspal yang dihasilkan. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah mendapatkan model hubungan antara nilai stabilitas campuran AC-BC dengan kadar limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*) dan kadar aspal dan model hubungan antara nilai kuat tarik tidak langsung campuran AC-BC dengan kadar limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*) dan kadar aspal.

Kata kunci: limbah plastik, PP (*Polypropylene*), stabilitas, kuat tarik tidak langsung

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur Jalan di Indonesia saat ini sangat meningkat, dimulai proyek pembangunan jalan baru sampai proyek peningkatan jalan. Di rencanakan Perkerasan jalan untuk pelayanan lalu lintas yang ada yang sesuai dengan kondisi suatu lokasi, tetapi sering ditemukan perkerasan jalan yang mengalami kerusakan sebelum umur rencana tercapai. Faktor penyebab terjadinya kerusakan diantaranya pemeliharaan jalan yang tidak optimal dan adanya muatan kendaraan yang berlebih (*over loading*).

Dengan mengasumsi sebagai beban monotonik pada konstruksi perkerasan jalan, maka daerah perkerasan yang menjadi sasaran akibat kerusakan jalan yaitu kendaraan yang bermuatan lebih berhenti pada saat lampu merah, kendaraan bermuatan lebih akibat berhenti sesaat (parkir sementara) dan pada saat kendaraan bermuatan lebih mengalami kemacetan.

Sehingga kualitas aspal sangat menentukan keawetan dari suatu perkerasan lentur. Aspal yang berasal dari residu minyak bumi semakin hari semakin menipis persediaannya dengan harga yang cenderung terus naik, sehingga dibutuhkan bahan lain yang dapat menaikkan kualitas aspal dan perkerasan lentur.

Aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai modifikasi aspal yaitu polimer (plastomer dan elastomer).

Campuran aspal yang dimodifikasi dengan penambahan aditif menunjukkan bahwa campuran aspal lebih tahan terhadap deformasi permanen dibanding dengan campuran konvensional. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran berisi additive memiliki kekuatan tarik lebih tinggi, sehingga lebih tahan terhadap kegagalan tarik tidak langsung di bawah beban statik (Tayfur *et al.*, 2007).

Salah satu aditif yang dapat digunakan adalah limbah plastik. Oleh karena limbah plastik merupakan hal yang menakutkan di seluruh belahan dunia tanpa terkecuali Indonesia maka diperlukan penelitian yang aplikatif untuk dapat memanfaatkan limbah plastik dalam suatu campuran beraspal. Limbah plastik terdiri banyak jenis diantaranya adalah PP (*Polypropylene*), PET (*Polietilene tereftalat*), LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan lain-lain.

Sampai saat ini belum ada pengelolaan khusus limbah plastik di tingkat kota. Namun, pemulung memiliki peran yang sangat penting dalam mata rantai daur ulang limbah plastik yang dilakukan secara informal. Selain itu, ilmuwan juga terus dipicu untuk bisa mencari alternatif lain bahan pengganti plastik konvensional ataupun penggunaan limbah plastik dalam dunia konstruksi khususnya konstruksi jalan. Berbagai penelitian baik di dalam maupun luar negeri yang meneliti pemanfaatan limbah plastik dalam campuran aspal telah dilakukan.

Abukhettala M., 2016 menyajikan literatur hasil tinjauan ulang dari beberapa material daur ulang (sampah plastik, *shingles* aspal daur ulang, daur ulang perkerasan aspal lama, potongan ban, pasir pengecoran logam, hasil sisa pembakaran batu bara) yang digunakan pada bidang industri dan tujuan ke depannya untuk mengembangkan ide dalam penyertaan material daur ulang dalam industri jalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua peneliti menggunakan material daur ulang yang berpotensi digunakan dalam struktur jalan, tetapi masih ada saja beberapa hal yang harus diperhatikan dan celah dalam pengetahuannya yang membutuhkan penelitian yang lebih intensif dan dugaan lebih baik digunakan pada konstruksi bangunan dibandingkan jalan.

Rajput P. S & Yadav R.K., 2016 a menyelidiki penggunaan sampah plastik sebagai modifikasi dari sifat agregat jalan. Metode yang digunakan adalah uji laboratorium, yaitu melapisi agregat dengan sejumlah persen kadar sampah plastik yang berbeda, kemudian menguji kekuatan agregatnya, berat jenisnya, penyerapan airnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat peningkatan secara signifikan dari sifat agregat yang dilapisi plastik.

Rajput P. S & Yadav R.K., 2016 b mendeskripsikan penggunaan sampah plastik dalam proporsi yang berbeda pada campuran aspal. Penelitiannya menggunakan uji laboratorium, termasuk dengan menguji karakteristik Marshall. Hasil penelitiannya adalah stabilitas Marshall berada dalam keadaan maksimum ketika 12% sampah plastik ditambahkan ke dalam campuran. Parameter Marshall lainnya juga meningkat dengan penambahan sampah plastik ke dalam campuran aspal.

Thanaya I. N. A. *et al.* 2015 mengevaluasi karakteristik *sand sheet asphalt mixture* dengan menggabungkan limbah plastik PP (*polypropylene*). Penelitiannya menggunakan uji laboratorium dengan merujuk pada spesifikasi Indonesia tahun 2010 revisi 2. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa limbah plastik PP dapat digabungkan dengan *sand sheet asphalt mixture* tapi terbatas jumlahnya (kurang dari 10%). Selain flow dan MQ, karakteristik Marshall (stabilitas, VIM, VMA, dan VFB) memenuhi persyaratan.

Fernandes S. *et al.* 2015 mengembangkan suatu inovasi bitumen dengan jumlah yang cukup besar dari penggunaan limbah plastik untuk meningkatkan kinerja campuran aspal. Penelitiannya menggunakan uji laboratorium. Dapat disimpulkan bahwa kinerja campuran aspal meningkatkan beberapa karakteristik penting campuran setelah digabungkan 10% oli motor dan 5% limbah plastik HDPE (meningkatkan nilai penetrasi, titik lembek, meningkatkan fleksibilitas, mempunyai daya tahan yang tinggi terhadap kelelahan). Selain itu, juga menunjukkan terdapat peluang penggunaan aspal modifikasi ini sebagai solusi ramah lingkungan pada perkerasan jalan yang nyata di lapangan.

Angelone S. *et al.* 2015 menyelidiki suatu pendekatan ramah lingkungan terhadap pengaruh berbagai persentase daur ulang sampah plastik perkotaan dan pedesaan dengan menambahkannya

ke dalam metode kering pencampuran aspal. Penelitiannya menggunakan uji laboratorium dengan metode pencampuran aspal dan limbah plastik secara kering. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik dalam campuran aspal menjadi suatu alternatif yang layak yang juga dapat memberikan kontribusi dalam pengurangan limbah plastik serta menaikkan karakteristik campuran aspal. Campuran aspal dengan karakteristik terbaik, yaitu pada jenis *polyethylene* dibuat dalam bentuk serpihan dengan kadar plastik sebesar 2% dari berat total campuran dan terdapat kemungkinan menaikkan umur kelelahan beton aspal.

Mir A. H. 2015 menemukan cara efektif dalam penggunaan partikel sampah plastik sebagai modifikasi aspal untuk perkerasan lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Penambahan plastik dalam campuran menjadi salah satu alternatif dalam permasalahan limbah plastik dan juga dapat meningkatkan umur jalan (kualitas campuran aspal) plastik akan meningkatkan titik leleh.

Gill S. *et al.* 2015 menyelidiki pengaruh dari penambahan limbah plastik dengan bubuk limbah ban bekas pada campuran aspal dalam meningkatkan kinerja jalan. Penelitian yang dilakukan menggunakan uji laboratorium. Persentase plastik yang digunakan untuk menyelimuti agregat, yaitu 4, 6, 8, dan 10%. Hasil penelitiannya diperoleh bahwa penambahan limbah plastik dan bubuk ban bekas lebih signifikan untuk peningkatan kinerja campuran aspal dibandingkan hanya penambahan limbah plastik saja. Plastik meningkatkan titik leleh aspal. Dengan penambahan limbah plastik dan bubuk ban bekas dapat meningkatkan kekuatan jalan sesuai yang disyaratkan dan umur jalan.

Menaria Y & Sankhla R. 2015 mengidentifikasi proporsi optimum dari limbah plastik yang ditambahkan ke dalam campuran aspal untuk memperoleh kekuatan aspal. Menggunakan uji laboratorium. Menggunakan metode pencampuran plastik dan campuran aspal dengan cara kering. Limbah plastik yang ditambahkan dapat lolos pada saringan 2,36 mm – 4,75 mm pada kadar 0%, 8%, 10%, 12%, dan 14%. Hasil penelitiannya menunjukkan penggunaan plastik meningkatkan sifat pengikatan dari campuran. Penggunaan persentase maksimum limbah plastik ke dalam campuran ialah 8%. Karakteristik aspal yaitu penetrasi, titik lembek meningkat dengan penambahan limbah plastik. Limbah plastik pada penggunaannya di jalan meningkatkan nilai stabilitas dan durabilitas. Penambahan limbah plastik dapat menggantikan kadar aspal dalam campuran sehingga lebih ekonomis serta dengan meningkatnya stabilitas dan durabilitas akan mengurangi biaya pemeliharaan jalan ke depannya.

Aforla B. *et al.* 2015 menentukan apakah limbah plastik pantas sebagai *modifier* dalam perkerasan aspal. Menggunakan pengujian laboratorium dengan menguji sifat reologi campuran aspal. Plastik yang digunakan diparut sampai ukuran 2 - 3 mm dan persentase yang digunakan dalam campuran yaitu 0 - 3% dari berat aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik campuran aspal setelah ditambahkan limbah plastik mengalami peningkatan dan dapat digunakan dalam konstruksi perkerasan beton aspal dengan peningkatan kualitas dan mengurangi biaya campuran.

Campuran beraspal merupakan bagian perkerasan lentur yang terletak diatas lapis pondasi. Oleh karena letaknya pada bagian atas lapisan maka campuran beraspal harus tahan terhadap beban roda kendaraan yang melintas. Disamping itu, yang tak kalah pentingnya adalah campuran beraspal dituntut untuk memiliki kekuatan yang stabil karena pada saat menerima beban roda kendaraan pada bagian atas lapisan akan menerima gaya tekan dan pada bagian bawah akan mengalami gaya tarik.

Dewasa ini pengujian campuran untuk perkerasan lentur banyak menggunakan stabilitas marshall untuk menganalisa kemampuan campuran AC-BC. Pengujian Tegangan-regangan dianjurkan karena bersifat fundamental sedangkan pengujian *Marshall test* bersifat empiris (Brown, 1990).

Namun, untuk mengetahui kemampuan campuran material menerima gaya tarik dan tekan maka dilakukan pengujian tegangan regangan, dan selain itu pengujian tegangan-regangan dimaksudkan untuk memahami karakteristik nilai kekuatan tarik serta memprediksi nilai kekuatan tersebut sejak munculnya retak dalam campuran, untuk mengetahui tegangan-regangan maka dilakukan pembebanan tekan secara terus menerus dengan laju konstan sampai mencapai beban maksimum,

dimana setelah pembebanan maksimum maka benda uji akan mengalami retak atau deformasi permanen (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015).

Selain dari pengujian empirik yang digunakan untuk mengevaluasi campuran beraspal, dapat juga digunakan pengujian yang bersifat semikuantitatif dari benda uji. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*). Pengujian XRD dilakukan untuk mengidentifikasi unsur/senyawa/fasa dan struktur kristal yang terbentuk secara kualitatif. Pada dasarnya, atom yang tersusun membentuk struktur kristal dan struktur mikro/fasa dapat dianalisis melalui teknik eksperimental yang berbasis difraksi. Pada eksperimen difraksi, gelombang yang ditembakkan akan membentur pada material dan ditangkap oleh detektor. Detektor mengidentifikasi arah dan intensitas gelombang yang terdifraksi/terpancar keluar dari material. Interferensi gelombang terjadi pada gelombang yang diemisikan atom yang berbeda jenis dan posisinya. Geometri yang direpresentasikan melalui arah gelombang membentuk pola difraksi yang dapat digunakan untuk menentukan sel satuan pada struktur kristal dan senyawa (Fultz, 2013; Cullity, 1956).

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu yang telah dikemukakan di atas maka dapat dikatakan bahwa dengan pemanfaatan limbah plastik ke dalam campuran aspal akan menaikkan kinerja campuran khususnya menaikkan stabilitas dan kinerja campuran beraspal yang lainnya serta menjadi salah satu solusi dari permasalahan limbah plastik yang ada saat ini khususnya di Indonesia dimana plastik tidak dapat terurai dengan sendirinya. Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis kadar aspal optimum campuran AC-BC yang mengandung limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*) yang divariasikan.
2. Menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-BC yang mengandung limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*).
3. Merumuskan model hubungan antara nilai stabilitas campuran AC-BC dengan kadar limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*) dan kadar aspal optimum.
4. Merumuskan model hubungan antara nilai kuat tarik tidak langsung campuran AC-BC dengan kadar limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*) dan kadar aspal.

TINJAUAN PUSTAKA

Plastik dalam Campuran Beraspal

Menurut Suroso (2009), ada dua teknik (metode) pencampuran plastik ke dalam campuran aspal, yaitu :

- a. Cara basah, (*wet process*), yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, *mixer* kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.
- b. Cara kering (*dry process*), yaitu suatu cara dimana plastik dimasukkan ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini bisa lebih mudah dibandingkan cara basah, hanya dengan memasukkan plastik ke dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Namun, untuk cara ini harus diperhatikan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan atau dicampurkan.

Dalam penelitian ini menggunakan cara kering untuk menambahkan plastik ke dalam campuran beton aspal. Dari segi ekonomi, cara kering lebih murah karena waktu pencampuran lebih cepat, tidak membutuhkan peralatan lain untuk mencampur, lebih mudah ditangani dari pada cara basah (Suroso, 2009), dapat meningkatkan sifat pengikatan agregat pada campuran, mengurangi degradasi di jalan, serta mengurangi penggunaan kadar aspal pada campuran (Mir, 2015). Adapun, persentase plastik yang ditambahkan dalam campuran tidak boleh melebihi 17% (Dallas dalam Suroso, 2009) karena akan membuat karakteristiknya jauh dari disyaratkan. Selain itu, menurut Moghaddam, et.al. (2013) kepadatan dan kekakuan campuran akan meningkat jika hanya ditambahkan sedikit

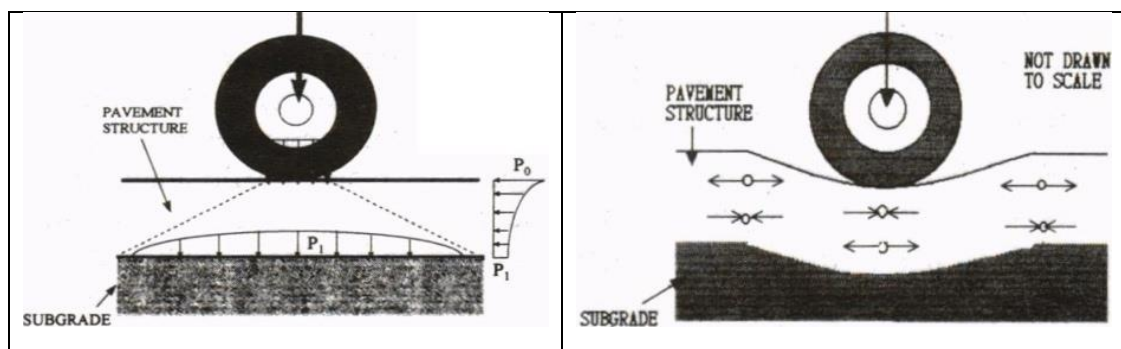
persentase plastik (0,2-1% dari berat agregat). Semakin besar kepadatan suatu campuran, maka akan semakin banyak jumlah siklus pembebanan yang dapat ditahan oleh beton aspal (Widodo dan Setiyaningsih, 2013). Hal tersebut dapat meningkatkan umur kelelahan campuran. Tabel 1 memperlihatkan jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik.

Tabel 1. Karakteristik limbah plastik

Polimer	Titik lembek (°C)	Hasil polutan	Dekomposisi (°C)	Hasil polutan	Titik nyala (°C)	Hasil polutan
PE Film	100 - 120	-	289 - 335	CH ₄ , C ₂ H ₆	> 700	CO, CO ₂
PP	140 - 160	-	271 - 329	C ₂ H ₆	> 700	CO, CO ₂
PS	110 - 140	-	300 - 350	C ₆ H ₆	> 700	CO, CO ₂
PE Foam	120 - 125	-	309 - 385	CH ₄	> 700	CO, CO ₂
Gelas plastik	130 - 150	-	313 - 420	C ₂ H ₆	> 700	CO, CO ₂

Respon Perkerasan Akibat Pembebanan

Chen *et al* dalam *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 4, No.1, October, 2001, memberikan gambaran kinerja pembebanan pada *flexibel pavement* seperti yang terlihat pada Gambar 1.



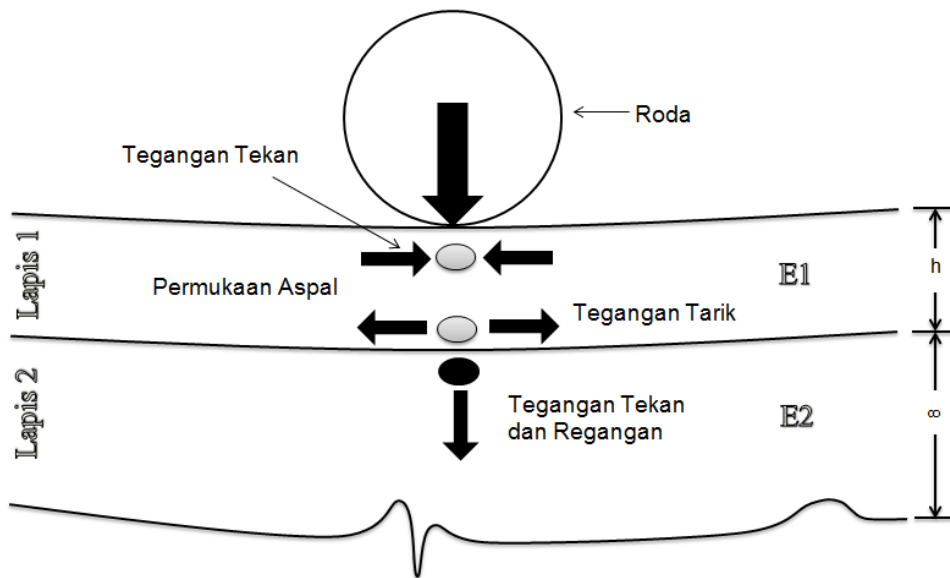
Gambar 1. Kinerja perkerasan lentur

Spesifikasi Khusus Bina Marga, Indonesia (2010) tentang campuran beraspal panas, dijelaskan bahwa yang dimaksud dengan campuran beraspal panas dengan aspal yang dimodifikasi adalah campuran agregat dan aspal dari jenis Asbuton, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan. Pekerjaan ini mencakup pembuatan lapisan campuran aspal modifikasi untuk lapis permukaan antara dan lapis permukaan (lapis aus), yang dihampar dan dipadatkan di atas lapis pondasi atau permukaan jalan yang telah disiapkan sesuai dengan spesifikasi dan memenuhi garis, ketinggian, dan potongan memanjang dan potongan melintang yang ditunjukkan dalam gambar Rencana.

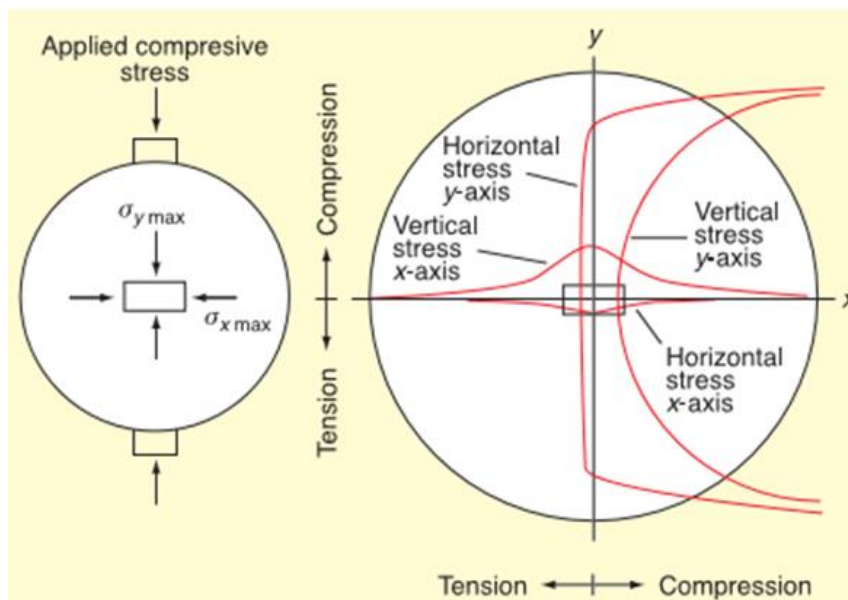
Analisis didasarkan pada pendekatan desain mekanistik (Cronney *et al*, 1998 dan Huang HY, 1993), dan elastis sistem perkerasan dua lapisan linear seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Semua lapisan yang terletak di bawah permukaan aspal (*top-layer*) yang secara teoritis ditandai dengan satu nilai komposit modulus elastisitas (E_2). Akibatnya, kriteria desain perkerasan jalan dapat dibahas yaitu :

- Distribusi tegangan-regangan tiga dimensi lebih tinggi dari lapisan aspal-permukaan.
- Tegangan tarik horizontal dan reganganyang terjadi di zona bawah ($[h-1]$ mm) dari lapisan aspal permukaan yang merupakan parameter kerusakan pada perkerasan akibat kelelahan dan mengakibatkan terjadinya retak.

Gambar 2 memperlihatkan sistem perkerasan jalan dengan sistem dua lapis dengan distribusi tegangan dan regangan pada perkerasan jalan yang ditinjau. Untuk sistem perkerasan *multi-layer*, penyederhanaan pada lapisan atas dan karakterisasi dari lapisan-lapisan dalam menahan beban yang ada pada perkerasan jalan. Selain itu, adanya penyederhanaan model dengan asumsi kondisi lalu lintas sebagai pembebanan statis dan karakterisasi pada kondisi linier-elastis isotropik dari bahan itu sendiri. Dalam Gambar 2, Q adalah beban ban dengan satuan kN, p adalah tekanan ban dalam kPa, h adalah ketebalan lapisan aspal permukaan dalam mm dan E_1 serta E_2 adalah modulus elastisitas dalam MPa. Gambar 3 memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada lapis perkerasan jalan.



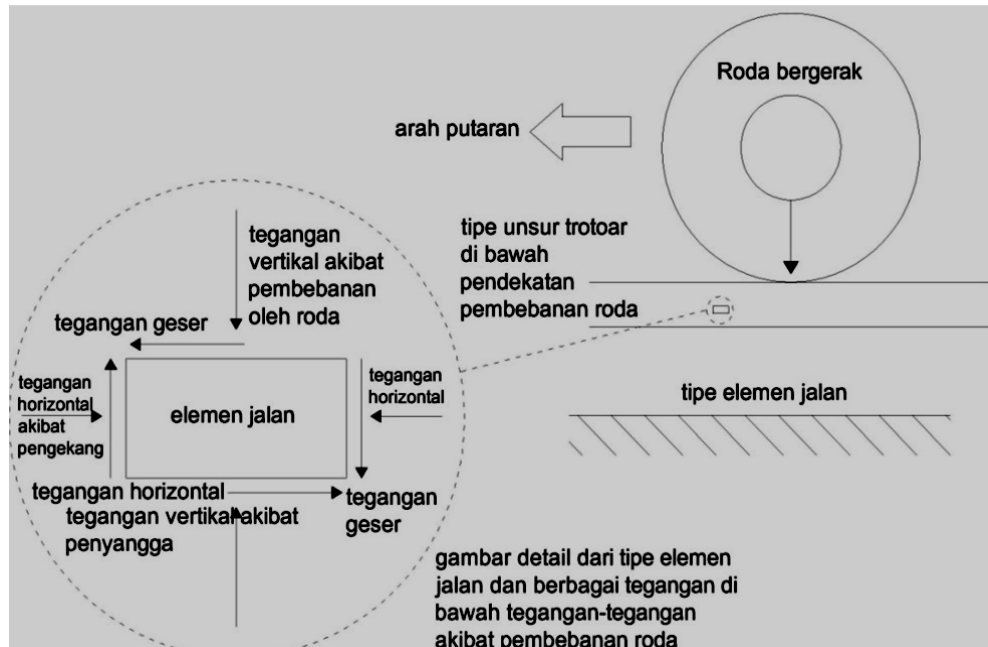
Gambar 2. Sistem perkerasan dua lapis (Walubita, 2000)



Gambar 3. Distribusi tegangan dan tekanan (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015)

Berdasarkan Gambar 3 yang memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada perkerasan jalan, terlihat bahwa penerapan tegangan tekan yang terjadi berupa tegangan tekan arah horizontal maksimum ($\sigma_y = \max$) dan tegangan tekan arah vertikal maksimum ($\sigma_x = \max$). Selain itu, tegangan dan tekanan saling melawan sehingga besarnya tekanan sama dengan besarnya

tegangan yang terjadi baik tegangan horizontal (y-axis) dan tegangan vertikal (x-axis). Distribusi tegangan dan tekanan yang terjadi pada perkerasan jalan ini dapat disebabkan oleh beban lalu lintas maupun beban roda kendaraan yang berulang.



Gambar 4. Penjabaran tegangan-tegangan (*The Shell Bitumen Handbook, 2015*)

Gambar 4 memperlihatkan penjabaran tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan. Berdasarkan Gambar 4 yang memperlihatkan penjabaran tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan, terlihat bahwa tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan adalah tegangan geser arah horizontal dan tegangan geser arah vertikal. Tegangan geser pada perkerasan jalan ini terjadi pada daerah bawah perkerasan jalan yang disebabkan oleh pembebanan roda kendaraan. Pembebanan roda kendaraan yang terjadi bisa disebabkan karena pembebanan secara berulang dan terus-menerus.

Stabilitas Marshall

Karakteristik deformasi permanen dari campuran aspal dapat dipelajari dengan menggunakan benda uji silinder dipadatkan yang dapat dibuat baik dari superpave atau perangkat pemadat Marshall, terlepas dari metode campuran aspal desain dan jenis agregat (Gul & Guler, 2014). Nilai Marshall Quotient akan memberikan nilai fleksibilitas campuran, dimana semakin besar nilainya maka campuran lapis keras semakin kaku. Sementara jika nilainya kecil, maka campuran lapis keras semakin lentur. Nilai Marshall Quotient diperoleh dengan rumus :

$$MQ = \frac{S}{R} \quad (1)$$

Keterangan :

S = Nilai stabilitas (kg)

R = Nilai flow (mm)

MQ = Nilai Marshall Quotient (kg/mm)

Kuat Tarik Tidak Langsung (*Indirect Tensile Strength*)

Nilai ITS dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas relatif campuran aspal dalam hubungannya dengan pengujian desain campuran laboratorium dan untuk memperkirakan potensi terjadinya

rutting atau retak. Hasil ini dapat juga digunakan untuk menentukan potensi untuk bidang perkerasan kerusakn kelembaban ketika hasil yang diperoleh pada kedua sampel berkondisi dan dikondisikan.

Nilai kuat tarik tidak langsung pada benda uji berbentuk selinder merupakan fungsi dari beban (P_{max}), tebal benda uji dan diameter yang dituliskan dalam bentuk :

$$ITS = \frac{2 P}{\pi D H} \quad (2)$$

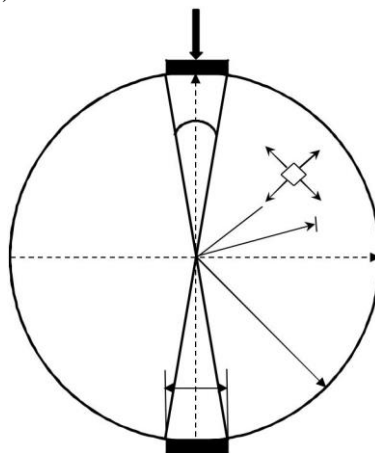
Dimana :

ITS = Kuat tarik langsung dipusat benda uji (kN)

P_{max} = Beban maksimum (kN)

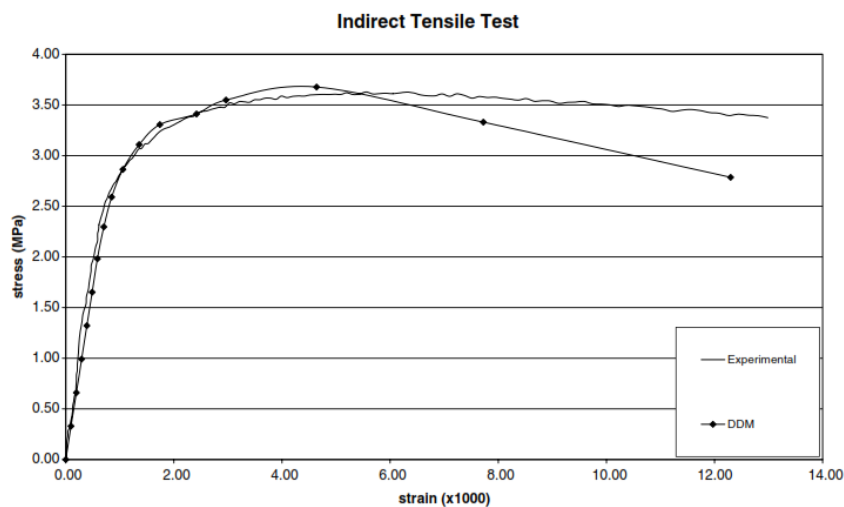
t = Ketebalan benda uji (mm)

d = Diameter benda uji (mm)



Gambar 5. Diagram pembeban uji ITS

Gambar 6 menunjukkan hubungan tegangan–regangan pada campuran aspal superpave. Terlihat bahwa tegangan maksimum sebesar 3,60 MPa pada regangan 0,006. Kurva regangan–tegangan membentuk garis lurus sampai pada tegangan 2,5 MPa dengan regangan 0,001 MPa.



Gambar 6. Hubungan regangan akibat beban tarik dan tegangan Tarik (Birgisson *et al.*, 2008)

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan Juni 2019 sampai Bulan September 2019.

Rancangan Penelitian

Adapun penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium diawali dengan melakukan persiapan peralatan dan material yang akan digunakan, dilanjutkan dengan penelitian karakteristik bahan berupa agregat, limbah plastik dan aspal. Langkah selanjutnya adalah pembuatan sampel (briket) untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk masing-masing variasi kadar limbah plastik yang digunakan (0,0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 dan 2,5%). Dibuat sampel perkerasan aspal dengan bahan pengikat berupa aspal minyak dengan penetrasi 60/70. Pembuatan sampel KAO dilakukan berdasarkan SNI 06-2489-1991 dengan kadar bitumen yang berbeda-beda berdasarkan perhitungan kadar aspal efektif. Setelah nilai KAO didapatkan untuk masing-masing kadar limbah plastik selanjutnya dibuat benda uji berdasarkan KAO tersebut. Limbah plastik yang digunakan yaitu PP. Selanjutnya sampel akan diberikan perlakuan normal sesuai SNI 06-2489-1991.

Setelah benda uji dinyatakan siap yaitu benda uji dalam kondisi KAO dan telah mengandung limbah plastik sebagai bahan tambah, kemudian dilakukan pengujian-pengujian ; karakteristik Marshall, kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*), XRF dan XRD (komposisi senyawa dominan) dan pengujian statistik (uji-t) untuk mengetahui karakteristiknya. Metode yang digunakan adalah penelitian di laboratorium, dengan mengacu pada :

- a. Standar Nasional Indonesia (SNI).
- b. American Association for Testing and Material (ASTM).
- c. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)
- d. Strategic Highway Research Program (SHRP-A-383)

Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan atau material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material agregat kasar, agregat halus dan abu batu diambil dari sungai Bili-Bili kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Aspal minyak dengan penetrasi 60/70 diperoleh dari salah satu produsen aspal minyak di Indonesia.
3. Parutan limbah plastik (lolos saringan no.4 dan tertahan di saringan no.50) diperoleh dari hasil parutan botol plastik jenis PP dengan alat pamarut manual.

Pengujian Karakteristik Marshall

Metode pengujian campuran aspal dengan alat marshall mengacu pada SNI 06-2489-1991 tentang metode pengujian campuran aspal dengan alat Marshall. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur stabilitas dan *flow* (kelelahan plastis) sehingga dapat menunjukkan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban yang ada. Stabilitas menunjukkan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban. Stabilitas terdiri dari stabilitas kering dan stabilitas basah. Stabilitas kering merupakan ukuran ketahanan benda uji dalam menerima beban dalam kondisi kering udara. Sementara stabilitas basah merupakan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban dalam kondisi jenuh. Parameter Marshall yang lain selain stabilitas, flow dan marshall quotient adalah VIM (*Voids in Mix*), VMA (*Voids in Mineral Aggregate*) dan VFB (*Voids Filled Bitument*). Pada pengujian Marshall terbagi atas 2 jenis, yaitu parameter stabilitas yang terdiri dari stabilitas, flow dan *Marshall Quetiont* (MQ) dan parameter volumetrik yang terdiri dari VIM (*Voids in Mix*),

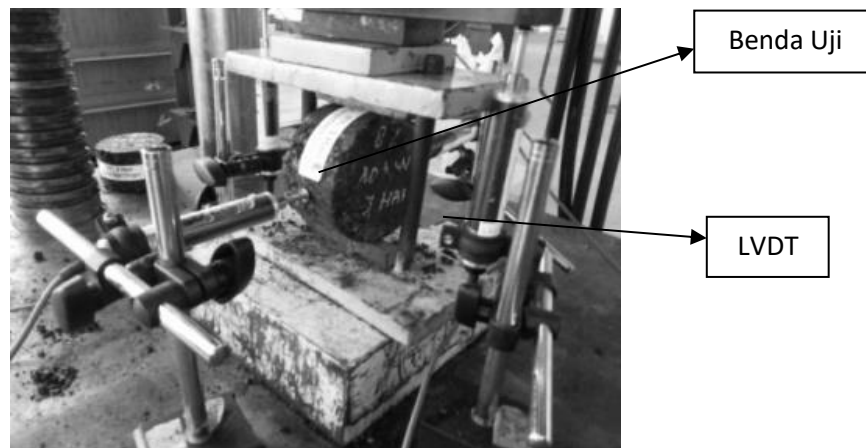
VMA (*Voids in Mineral Aggregate*) dan VFB (*Voids Filled Bitument*). Gambar 7 menunjukkan alat pengujian *Marshall* yang dapat digunakan untuk mengukur stabilitas dan *flow* sehingga dapat menunjukkan ukuran ketahanan benda uji dalam menerima beban.



Gambar 7. Alat pengujian Marshall

Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung

Gambar 8 memperlihatkan posisi benda uji pengujian ITS (*Indirect Tensile Strength*). LVDT digunakan untuk mengukur perubahan bentuk arah horizontal dan vertikal ketika menerima beban tarik.



Gambar 8. Posisi benda uji pengujian ITS (*Indirect Tensile Strength*)

HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah :

1. Pemanfaatan limbah plastik jenis PP sebagai bahan tambah dalam campuran AC-BC.
2. Mendapatkan kadar aspal optimum campuran AC-BC dengan penggunaan limbah plastik PP sebagai bahan tambah.
3. Mendapatkan model hubungan antara nilai stabilitas campuran AC-BC dengan kadar limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*) dan kadar aspal.
4. Mendapatkan model hubungan antara nilai kuat tarik tidak langsung campuran AC-BC dengan kadar limbah plastik jenis PP (*Polypropylene*) dan kadar aspal.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2005). Persyaratan Teknik Bandar Udara. Petunjuk Pelaksanaan Pemeliharaan Konstruksi Landas Pacu (Runway), Landas Hubung (Taxiway) dan Landas Parkir (Apron) serta Fasilitas Penunjang Bandar Udara Nomor : SKEP/78/VI/2005.
- Gul. W. A., Guler M., 2014. Rutting susceptibility of asphalt concrete with recycled concrete aggregate using revised Marshall procedure *Construction and building materials*, 55 hal. 341 – 349.
- Israil, Djamaluddin, Rudy, & Adisasmita, Sakti A.. 2012. Studi Pengaruh Plastik sebagai Bahan Substitusi Aspal terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton (AC-WC). Tesis tidak diterbitkan. Makassar: Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
- SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Stephen B., the Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham, July 2015.
- Suroso, Tjitjik Wasiah. 2009. Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. *Puslitbang Jalan dan Jembatan*.
- Tayfur S., Ozen H., Aksoy A., 2007. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. *ScienceDirect, Construction and Building Materials*, hal. 328 -337.
- Widajat D., Sjahdanulirwan M., 2009. Kinerja daur ulang campuran dingin dengan aspal busa pada lalu lintas berat. *Jurnal jalan – jembatan*, vol. 26, No. 3. Hal 256 – 265.
- Widodo, Sri & Setyaningsih, Ika. 2013. Modulus Elastisitas dan Umur Perkerasan Jalan Beton Aspal sebagai Fungsi Kepadatan. *Eco Rekayasa*.
- Wikipedia. 2016 a. Plastik, (Online), (<https://id.wikipedia.org/wiki/Plastik> diakses pada 18 Agustus 2016).

SELF COMPACTING CONCRETE (SCC) BERBAHAN MATERIAL LAUT DAN SERAT BAJA

Adri Raidyarto¹, Herman Parung², M. W. Tjaronge³ dan Rudy Djamaluddin⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: adri.raidyarto@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: parungherman@yahoo.co.id

³ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: tjaronge@yahoo.co.jp

⁴ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: rudy0011@gmail.com

ABSTRAK

Dalam kehidupan sehari-hari kebutuhan air bersih semakin meningkat namun potensi sumber air bersih semakin kecil, sehingga perlu memikirkan alternatif penggunaan air bersih pada konstruksi beton. Berkaitan dengan hal ini, maka dilakukan penelitian yang menggunakan material laut (air laut dan pasir laut) sebagai bahan campuran SCC. SCC merupakan konsep inovatif teknologi beton yang efektif dan efisien, dimana SCC memiliki karakter memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalir dan mengisi ruang-ruang di dalam cetakan dengan sedikit/tanpa proses pemadatan. Beton memiliki kekurangan yang tidak mampu menahan gaya tarik sehingga pada perkembangannya diberikan baja tulangan dengan tujuan mampu menahan gaya tarik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik mekanik antara beton campuran air laut dan pasir laut dengan penambahan serat baja. Penelitian ini berupa penelitian eksperimental di laboratorium. Kuat tekan (*compressive strength*) dan *compressometer* untuk menghasilkan regangan digunakan untuk mengevaluasi SCC yang dihasilkan dengan material laut tanpa dan dengan penambahan serat baja.

Kata kunci: SCC, material laut, serat baja

PENDAHULUAN

Beton merupakan campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dengan atau tanpa bahan tambah. Beton yang berkualitas jika beton mempunyai sifat mekanik dan ketahanan yang baik. Sifat mekanik beton yang paling penting adalah kuat tekan. Karakteristik ini sangat berhubungan dengan karakteristik lainnya, dengan kata lain jika kuat tekannya tinggi maka karakteristik lainnya juga baik.

Suatu perkiraan kasar dapat dipakai bahwa nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antara 9 - 15% dari kuat tekannya. Beton sangat lemah dalam menerima gaya tarik, sehingga akan terjadi retak yang makin lama semakin besar. Untuk meningkatkan kekuatan tarik beton perlu digunakan bahan tambah. Salah satu bahan tambah untuk meningkatkan mutu beton adalah serat.

Beton serat (*fiber reinforced concrete*) merupakan modifikasi beton konvensional dengan menambah serat pada adukannya. Bahan-bahan serat yang dapat digunakan untuk perbaikan sifat beton pada beton serat antara lain baja, plastik, kaca, karbon, serta serat dari bahan alami seperti ijuk, rami, maupun serat dari tumbuhan lain (*American Concrete Institute*, 1982).

Alani dan Beckett (2013) menyatakan bahwa lebih banyak informasi dan dibutuhkan pengetahuan tentang mekanis dan fisik serta sifat kimia dan karakteristik serat yang diperkuat pada beton. Mempelajari tentang beton berserat yang diperkuat dengan serat baja (SFRC) adalah tujuan utama dari penelitian ini.

Rao (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan serat baja dengan penambahan abu terbang kelas F. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggantian semen dengan *fly ash* pada sifat beton segar dan beton keras dengan menggunakan serat baja. Penelitian ini menggunakan abu terbang sebesar 35% untuk semua variasi. Aspek rasio yang digunakan sebesar 15, 25 dan 35 dan volume fraksi dari serat baja sebesar 0,5%, 1%, dan 1,5%. Hasil pengujian pada beton segar menunjukkan ada yang lebih rendah dari syarat SCC pada EFNARC, tetapi semua campuran beton memiliki penyebaran (*flowability*) yang baik dan karakteristik sebagai SCC. Kekuatan dan daktilitas dari beton SCC dengan serat meningkat pada volume fraksi 1% untuk aspek rasio 15, 25, dan 35. Volume fraksi (V) dan aspek rasio (A) optimal pada 1% dan 25. Hasil pengujian menunjukkan pengaruh abu terbang tidak terlalu terlihat pada umur beton awal tetapi pada umur beton setelah 56 hari, pengaruh abu terbang terlihat terutama pada kekuatan beton.

Pruckner, F. dan Gjorv, O.E. (2003), air laut yang mengandung NaCl memberikan efek pada beton, dimana penambahan natrium klorida pada beton segar akan membentuk kristal *friedel's salt* ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) yang dapat meningkatkan pH lebih tinggi, dan alkalinitas meningkat sehingga akan mengaktifkan hidrasi semen serta memberikan struktur pasta lebih padat dengan pori-pori yang lebih kecil. Otsuki *et al* (2011, 2012), aman menggunakan air laut sebagai air pencampur dalam beton serta air laut memiliki pengaruh kecil pada kekuatan dan korosi. Kaushik, S.K. dan Islam, S (1995), Falah M. W. (2010) telah meneliti beton menggunakan air laut sebagai *mixing water dan curing*, dengan hasil tidak begitu banyak perbedaan dengan beton dicampur dengan air segar ataupun dicampur dengan air laut. Kumar, S. (2000), campuran *fly ash* pada semen telah meningkatkan ketahanan beton terhadap serangan air laut serta tipe *Ordinary Cement* yang dimodifikasi dengan penambahan pozolan yang sesuai untuk pembangunan struktur laut. Aburawy, MM dan Swamy, R.N. (2008), Kehadiran klorida mempercepat perkembangan kekuatan usia dini pada beton dengan slag sampai sekitar 7-14 hari. Setelah usia ini, ada kerugian yang berbeda pada kekuatan beton dengan klorida tetapi pengurangan kekuatan itu tidak signifikan. Shetty (1982), air laut atau kualitas air bukan faktor yang mempengaruhi korosi dalam beton melainkan yang mempengaruhi korosi adalah faktor permeabilitas beton dan minimnya penutup beton/selimut beton.

Reddy dan Pawade (2012) meneliti pengaruh kombinasi *silica fume* dan serat baja pada sifat mekanik pada standar kelas beton dan keterkaitannya. Kelas beton yang direncanakan adalah M35 dengan fas 0,41. Variasi *silica fume* digunakan 0%, 4%, 8%, dan 12% dengan kadar serat baja 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5% dari volume beton. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton meningkat dengan meningkatnya substitusi *silica fume* penambahan serat baja. Kuat lentur beton mengalami peningkatan yang signifikan pada substitusi *silica fume* 8% baik dengan serat maupun tanpa serat.

Okamura & Ouchy (2003), mengemukakan bahwa salah satu pemecahan untuk memperoleh struktur beton yang memiliki ketahanan yang baik adalah dengan menggunakan SCC (*Self Compacting Concrete*). SCC merupakan konsep inovatif teknologi beton yang efektif dan efisien, dimana SCC memiliki karakter memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalir dan mengisi ruang-ruang di dalam cetakan dengan sedikit/tanpa proses pemadatan. Hal ini dapat mengurangi waktu proses pemadatan karena tingkat kecairan yang tinggi, sehingga SCC mampu diangkat dan dibawa dengan mudah melalui pompa ke tingkat yang tinggi pada pengecoran bangunan berlantai banyak serta pada struktur yang memiliki tulangan sangat padat.

Penelitian ketahanan SCC telah banyak dilakukan antara lain, Al-Tamimi & Sonebi M. (2003) telah menyelidiki ketahanan SCC terhadap serangan asam sulfat dan klorida, dimana ketahanan SCC lebih baik dibandingkan dengan *conventional concrete* (CC). Persson, B. (2001, 2003), modulus elastisitas, rangkakan (*creep*) dan susut (*shrinkage*) beton SCC tidak berbeda secara signifikan dengan beton normal serta setelah beton normal dan SCC di lakukan perawatan sampai 900 hari baik di laut dan air tawar tidak ada perbedaan massa dan kerusakan akibat sulfat. Dinakar dkk., (2008) permeabilitas SCC menurun dengan meningkatnya kekuatan dan kuantitas serta volume tinggi *fly ash* menunjukkan permeabilitas ion klorida secara signifikan lebih rendah daripada beton normal.

Vasusmitha dan Rao (2013) meneliti mengenai kekuatan dan durabilitas *self compacting concrete* mutu tinggi untuk meningkatkan kualitas dari SCC. *Mx design* pada penelitian ini berdasarkan dari uji *trial mix*. Nilai *water/binder ratio* (w/b) yang digunakan sebesar 0,251. Pengujian beton segar yang digunakan adalah *slump flow*, *T50cm slump flow*, *V-funnel*, *VfunnelT5min*, dan *L-box*. Hasil pengujian beton segar memenuhi syarat SCC menurut EFNARC. Pengujian beton segar pada penelitian ini adalah kuat tekan beton, kuat tarik belah, kuat lentur, permeabilitas dan durabilitas dari SCC mutu tinggi pada umur 28, 56, 90, dan 180 hari. Hasil kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur SCC mengalami peningkatan dengan meningkatnya umur beton. Hasil permeabilitas *chloride* pada SCC mutu tinggi menunjukkan angka yang sangat rendah.

Murali, dkk. (2014) meneliti tentang ketahanan kejut dan kekuatan keandalan dari beton serat menggunakan dua parameter distribusi Weibull. Pengujian ketahanan kejut menggunakan prosedur sesuai dengan *ACI committee 544*. Serat baja yang digunakan berdiameter 1 mm dan panjang 50 mm dengan variasi 0,5%, 1%, dan 1,5%. Fas yang digunakan sebesar 0,42. Variasi hasil uji dianalisa dengan menggunakan dua parameter distribusi Weibull. Hasil penelitian ini menunjukkan penggunaan serat dalam beton meningkatkan ketahanan terhadap kejut, mengubah pola kegagalan dari yang bersifat getas menjadi daktail.

Penambahan serat baja pada beton akan memberikan daktalitas dan kemampuan menerima beban yang tinggi (*high load bearing capacity*). Penambahan ini bermaksud memperbaiki kemampuan beton dalam memikul beban terutama untuk bagian yang tertarik, sehingga serat baja diharapkan bisa menjadi pilihan untuk menggantikan fungsi tulangan longitudinal yang umumnya dipakai.

Pembangunan konstruksi beton yang mempunyai ketahanan membutuhkan pemadatan yang baik, dimana pemadatan tersebut dilakukan oleh tenaga-tenaga kerja terampil. Semakin berkurangnya tenaga-tenaga kerja terampil dalam dunia konstruksi mengakibatkan beton kadang-kadang tidak terpadatkan dengan baik sehingga menurunkan mutu pekerjaan konstruksi.

Melihat potensi sumber laut yang begitu melimpah di Indonesia maka ada pemikiran untuk menggunakan agregat halus dan air yang bersumber dari laut sebagai bahan penyusun utama dari beton, yang terkhusus pada lokasi-lokasi bangunan konstruksi yang berinteraksi langsung dengan air laut. Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis pengaruh serat baja pada sifat mekanik beton SCC yang terbuat dari material laut (air laut dan pasir laut).
2. Menganalisis hubungan tegangan dan regangan beton SCC air laut dengan dan tanpa penambahan serat baja.
3. Merumuskan model hubungan antara sifat mekanik beton SCC yang menggunakan air laut dan pasir laut yang diperkuat dengan serat baja.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton (*Concrete*)

Beton adalah suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus) dan bahan tambahan bila diperlukan. Beton yang banyak dipakai pada saat ini yaitu beton normal. Menurut SNI 2847-2013 beton normal memiliki berat 2200-2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah atau dengan tanpa dipecah.

Kekuatan rencana beton dapat dilakukan dengan uji silinder kuat tekan dan uji tarik belah dilakukan sesuai dengan ASTM C39-94 1996, Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tarik belah benda uji silinder beton dapat dihitung dengan rumus:

$$T = \frac{2P}{\pi ld} \quad (1)$$

dimana: T = kekuatan tarik belah (MPa), P = beban maksimum yang diterapkan, I = panjang silinder (mm), dan d = diameter silinder (mm).

Steel Fibre Reinforced Concrete (SFRC)

Salah satu bahan tambah beton ialah serat (*fibre*). Beton yang diberi bahan tambah serat disebut beton serat (*fibre reinforced concrete*). Karena ditambah serat, maka menjadi suatu bahan komposit yaitu beton dan serat. Beton serat merupakan campuran beton ditambah serat. Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastik (*poly-propylene*), serat kaca (*glass*), serat kawat baja, serat tumbuh-tumbuhan seperti: rami, sabut kelapa, bambu, ijuk (Trimulyono, 2004). Penggunaan serat pada adukan beton pada intinya memberikan pengaruh yang baik yaitu dapat memperbaiki sifat beton antara lain dapat meningkatkan daktilitas dan kuat lentur beton. Retak-retak yang membawa keruntuhan pada struktur beton biasanya dimulai dari retak rambut (*micro crack*).

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan diperoleh bahwa penambahan serat kedalam adukan akan menurunkan kelecakan (*workability*) secara cepat sejalan dengan pertambahan konsentrasi serat dan aspek rasio serat. Sehingga untuk mendapatkan hasil yang optimal ada dua hal yang harus diperhatikan (Suhendro, 1990) yaitu :

1. *Fiber aspect ratio*, yaitu rasio antara panjang serat (l) dan diameter serat (d).
2. *Fiber volume fraction* (V_f), yaitu persentase volume serat yang ditambahkan pada setiap satuan volume beton.

Penelitian yang dilakukan Sudarmoko (1991) menyimpulkan bahwa kehadiran serat (*fiber*) pada beton akan menaikkan kekakuan dan mengurangi lendutan (*defleksi*) yang terjadi. Penambahan serat juga dapat meningkatkan keliatan beton, sehingga struktur akan terhindar dari keruntuhan yang tiba-tiba akibat pembebanan yang berlebihan.

Hasil penelitian Beltran (2015) menunjukkan bahwa serat abaca untuk beton dengan komposisi serat yang ideal dapat memberikan kontribusi yang optimal untuk modulus pecah (modulus rupture) beton berada pada serat 0,25% dari berat beton, dengan panjang serat 2 inch yang memberikan efek positif untuk kemampuan modulus pecah beton sebesar 15%. Juga memberikan peningkatan yang cukup (8%) dalam kekuatan tekan serat beton atas campuran beton tanpa serat. Penambahan serat secara signifikan mengubah kapasitas penyerapan energi dari komposit juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan 39% dari energi patah dibandingkan dengan campuran beton tanpa serat. Selain itu efek serat dievaluasi dalam hal beban dan defleksi memberikan perilaku pada beton serat dengan kenaikan rata-rata 21%.

Steel fiber reinforced concrete (SFRC) atau beton serat baja adalah beton yang dibuat dari campuran semen hidrolis, agregat halus, agregat kasar, dan serat baja yang disebar merata secara acak (*random*). Serat baja dapat berupa serat baja karbon (*carbon steel*) atau serat baja anti karat (*stainless steel*).

Proses pencampuran serat baja ke dalam campuran beton merupakan hal penting. Proses tersebut dilakukan selama proses *batching* dan *mixing*. Terdapat beberapa cara pencampuran serat baja ke dalam beton, yakni :

1. Menambahkan serat baja ke dalam *mixer* setelah semua material bahan penyusun beton, termasuk air, telah dicampurkan.
2. Menambahkan serat baja sebelum agregat dituangkan ke dalam *mixer*.
3. Menambahkan serat baja bersamaan dengan agregat ke dalam *mixer*.

Sifat fisis beton serat : Beton dengan serat membuatnya menjadi lebih kaku sehingga memperkecil nilai *slump* serta membuat waktu ikat awal (*initial setting*) lebih cepat. Sifat mekanis beton serat : Penambahan serat sampai batas optimum umumnya meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur, tetapi menurunkan kekuatan tekan. Jenis serat tertentu meningkatkan kinerja beton seperti serat baja dan serat tembaga. Penggunaan beton serat : Beton serat digunakan pada konstruksi yang harus mempunyai permukaan luas di mana temperatur, oksidasi dan penguapan mempunyai pengaruh

besar terhadap besarnya susut muai, seperti landasan pacu di bandar udara, plat atap, jalan plaza tol, putaran dan perhentian bus, dan lain-lain.

Keuntungan teknis menggunakan serat baja :

1. Menambah kemampuan menerima beban (*load bearing capacity*) karena tegangan yang terdistribusi kembali (*redistribution of stresses*) oleh *steel fiber*.
2. Penulangan pada semua bagian memberikan kontrol terhadap retak (*crack control*) yang sangat baik.
3. Ketahanan yang optimal terhadap beban kejut dan beban dinamis.
4. Peningkatan ketahanan yang drastis terhadap kelelahan (*fatigue*).

Keuntungan praktis menggunakan serat baja :

1. 15 - 30% waktu konstruksi yang lebih cepat karena tidak memerlukan pemasangan *wiremesh* atau rebar.
2. Lebih tahan lama (*durable*).
3. Penghematan biaya 5 - 30%.

Perbandingan antara serat baja dengan penulangan konvensional :

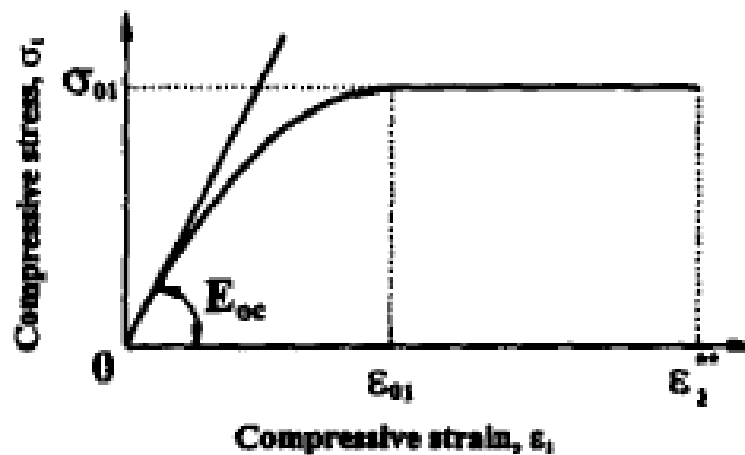
Wiremesh

1. Penulangan hanya pada level tertentu saja, tergantung pada posisi penempatan *wiremesh* atau rebar.
2. Kekuatan tarik (*tensile strength*) 415 - 550 MPa.

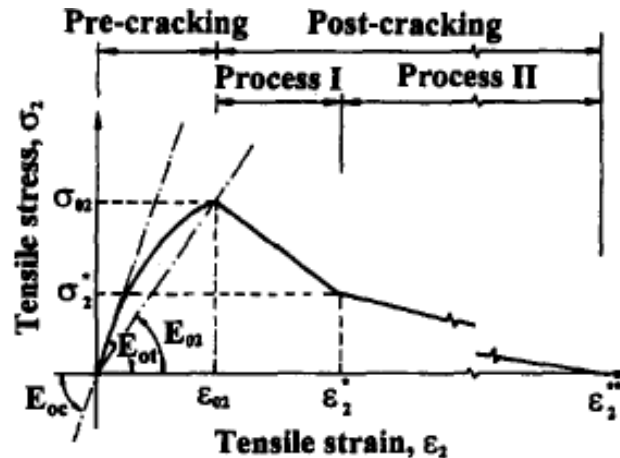
Serat baja

1. Penulangan pada seluruh bagian.
2. Kekuatan tarik (*tensile strength*) 1225 MPa (3D), 1500 MPa (4D) & 2300 MPa (5D).

Oleh karena serat baja memiliki efek kecil pada kekuatan tekan yang kompresif model untuk beton biasa seperti yang direkomendasikan dalam BS8110:1985: Pt. 1 ("Struktural" 1985) diadopsi untuk beton FRC. Gambar 1 dan 2 menunjukkan hubungan tegangan-regangan tekan dan tarik pada FRC.



Gambar 1. Hubungan tegangan dan regangan tekan pada FRC



Gambar 2. Hubungan tegangan dan regangan tarik pada FRC

Teori Self Compacting Concrete (SCC)

SCC merupakan beton segar plastis yang mudah mengalir karena berat sendirinya mengisi keseluruhan cetakan yang dikarenakan beton tersebut memiliki sifat-sifat untuk memadat sendiri, tanpa adanya bantuan alat penggetar untuk pemadatan. Dengan tingkat kecairan yang tinggi, maka SCC mampu diangkat dan dibawa dengan mudah melalui pompa ke tingkat yang tinggi pada pengecoran bangunan berlantai banyak. Salah satu bahan kimia yang mempengaruhi kemampuan SCC untuk mengalir adalah superplastisizer.

Menurut Okamura and Ouchi (2003), satu solusi untuk mendapatkan suatu struktur beton tahan lama yang terikat pada kemampuan pekerjaan konstruksi adalah kemampuan sendiri beton untuk memadat, yang dapat mengalir ke dalam tiap-tiap sudut suatu cetakan, karena berat sendiri dan tanpa kebutuhan akan alat penggetar, dengan komposisi campuran agregat kasar 50% dari volume beton, agregat halus 40% dari volume mortar dan faktor air semen antara 0,25 – 0,40.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan Juni 2019 sampai Bulan Desember 2019.

Material Penelitian

Adapun bahan/material yang digunakan dalam penelitian ini adalah : Semen PCC, Air Laut, Pasir Laut, Batu Pecah, viscocrete 3115, Serat Baja *Dramix*

Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan/material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material agregat kasar berupa batu pecah diperoleh dari sekitar sungai Bili-Bili, Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Agregat halus berupa pasir laut yang digunakan adalah pasir dari daerah Pantai Barombong, Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan.
3. Air laut yang digunakan berasal dari daerah Pantai Barombong, Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan, yang telah diteliti kandungannya di Laboratorium Oceanografi Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Serat Baja yang digunakan yakni *dramix* 3D 80/60 BG dengan panjang (l) 60 mm, dan diameter (d) 0,75 mm diperoleh dari salah satu distributor serat baja yang ada di Indonesia.
5. Additive (bahan tambah) adalah Superplaticiezer viscocrete 3115 ID diperoleh dari salah satu distributor di Makassar.

Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian ekperimental tentang karakteristik sifat mekanik dan mikrostruktur SCC yang menggunakan serat baja sebagai bahan tambah. Penelitian ini dimulai dengan studi literatur sebagai acuan dalam penelitian, selanjutnya diikuti pemeriksaan karakteristik material bahan campuran SCC. Dari hasil karakteristik material merupakan acuan dalam desain komposisi campuran SCC.

Beton jenis SCC yang menggunakan air laut sebagai air pencampur dan pasir laut sebagai agregat halus dengan atau tanpa serat baja sebesar 0% (SCC-AL-PL0), 2,5% (SCC-AL-PL1)

1. Semua jenis beton yang dibuat dilakukan dengan 3 perawatan (curing) yaitu rendam air laut, udara dan rendam angkat selama 1, 3, 7, 28 dan 90 hari. penggunaan serat baja sebanyak 0%, dan 2,5% didasarkan pada penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan yaitu diantaranya Aziz A., dkk (2016), Ba'ka R. G., dkk
2. Pengumpulan data dilakukan dengan serangkaian uji pada beton segar scc yakni uji *slump flow* dan t500, analisis mikrostruktur uji mikrostruktur terdiri dari, uji sem, xrd dan petrografi sedangkan uji sifat mekanik dilakukan uji kuat tekan, uji kuat tarik belah dan uji kuat lentur. Data yang terkumpul digunakan untuk menganalisis karakteristik mekanik dan karakteristik mikrostruktur beton.

Komposisi Material dan Ukuran Mould :

Tabel 1. Komposisi Material Tabel

No.	Material	Untuk 1 m ³ beton		12 mould silinder		Total kg
		kg	Liter	kg		
				0%	2,50%	
1	Semen PCC	559,00	0,1800	12,64	12,64	25,28
2	Air Laut	170,00	0,1700	3,84	3,84	7,69
3	Pasir Laut	811,00	0,3110	18,34	18,34	36,67
4	Batu Pecah	837,00	0,3210	18,92	18,92	37,85
5	Viscorete 3115 N	8,385	0,0049	0,19	0,19	0,38
6	Serat Baja				0,316	0,32

Tabel 2. Ukuran Mould

Diameter Silinder	0,10	m
Tinggi Silinder	0,20	m
Luas alas 1 silinder \varnothing 100 mm	0,01	m ²
Volume 1 Silinder \varnothing 100 mm	0,00	m ³
Volume 12 Silinder \varnothing 100 mm	0,02	m ³

Jadwal dan Jumlah Pengujian :

Tabel 3. Jadwal dan Jumlah Pengujian

No.	Mix Design	Jenis Pengujian/Umur (Hari)							
		Kuat Tekan				Kuat Tarik Belah			
		3	7	28	90	3	7	28	90
1	1	5	5	5	5	5	5	5	5
2	1	5	5	5	5	5	5	5	5
Jumlah		10	10	10	10	10	10	10	10
Total 0%		40							
Total 2,5%		40							
Total Keseluruhan		80							

Pengujian Benda Uji

Pengujian mekanik yang akan dilakukan adalah kuat tekan (ASTM-C39) dan kuat tarik belah (ASTM- C496/C496M). Pengujian sifat mekanik (kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur) dilakukan pada umur 1, 3, 7, 28, dan 90 hari.

Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan SNI-03-6825-2002 dan SNI 1974-2011, pengujian kuat tekan yaitu memberi beban monoton secara terus menerus dengan laju yang konstan pada benda uji di antara dua batang pembebanan yang akan menciptakan tegangan tekan pada benda uji yang diberi beban. Pada pengujian kuat tekan posisi benda uji yang berbentuk silinder pada saat dibebani yaitu dalam keadaan berdiri/tegak. Tegangan tekan yang dialami benda uji lama kelamaan akan menyebabkan benda uji runtuh/hancur. Sehingga, kuat tekan adalah tegangan tekan pada pembebanan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami runtuh/hancur. Gambar 4 memperlihatkan posisi benda uji pada pengujian kuat tekan beton silinder SCC dimana menggunakan LVDT sebagai alat pengukur perpindahan arah horizontal akibat beban yang diberikan.



Gambar 4. Posisi benda uji pengujian kuat tekan (*Compressive strength*)

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah, dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine (Tokyo Testing Machine Inc.)* kapasitas 1000 kN dan LVDT (*Longitudinal Variable Diferencial Tranducer*) 25 mm yang di sambungkan ke *data logger* dan *switching box* serta satu set computer. Gambar 5 menunjukkan posisi benda uji pada pengujian kuat tarik belah beton SCC.



Gambar 5. Posisi benda uji pada pengujian kuat tarik belah beton

Pengujian Statistika

Variabel bebas yg ada dalam penelitian ini adalah kadar serat baja, jenis SCC serta umur SCC. Untuk semen yang digunakan adalah PCC. Statistik yang digunakan adalah membuat hubungan persamaan regresi dan keterkaitan antara satu variabel dengan variabel lainnya. Software yang dipakai adalah SPSS

Hipotesis

Hipotesis yg dibangun dari penelitian ini adalah semakin meningkatnya kadar serat baja yg digunakan dalam SCC material laut maka kekuatan tekan, dan tarik semakin meningkat.

HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah :

1. Memberikan gambaran hubungan kekuatan SCC berbahan material laut yang diperkuat dengan serat baja.
2. Menemukan pengaruh keseragaman (homogenitas) campuran beton SCC pada beton SCC dengan atau tanpa penambahan serat baja.
3. Merumuskan model hubungan antara sifat mekanik beton SCC yang menggunakan air laut dan pasir laut serta air tawar dan pasir sungai yang diperkuat dengan serat baja. Model ini berkaitan dengan interaksi serat-matriks dengan menggunakan serat tarik-keluar dan interlock agregat, sebagai fungsi dari perilaku pembukaan retak geser (yaitu kombinasi pembukaan dan selip).

DAFTAR PUSTAKA

- Aburawy, M.M. and Swamy, R. N. 2008. Influence Of Salt Weathering On The Properties Of Concrete”, *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 33, Number 1B.
- ACI Committee 544, 2002. *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*, ACI 544.1R-96, American Concrete Institute.
- Ahmadi, M. A., Alidoust, O., Sadrijenad, I. and Nayeri, 2007. Development of Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Contain Rice Husk Ash, Proceedings Of World Academy Of Science, *International Journal of Computer, Information, and Systems Science, and Engineering* 1:4: 258 - 261.
- Alani, A. M., and Beckett, D. (2013). “Mechanical properties of a largescale synthetic fiber reinforced concrete ground slab.” *Constr. Build. Mater.*, 41, 335–344.
- Alhozaimy, A. M., Soroushiad, P., and Mirza, C. F. (1996). “Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials.” *Cem. Concr. Compos.*, 18(2), 85–92.

- Al-Tamimi and Sonebi, M. 2003. Assessment of Self-Compacting Concrete Immersed in Acidic Solutions, *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE*, Vol 15, No. 4:354-357
- Altoubat, S., Yazdanbakhsh, A., and Rieder, K.-A. (2009). "Shear behavior of macro-synthetic fiber-reinforced concrete beams without stirrups." *ACI Mater. J.*, 106(4), 381–389.
- ASTM C494/C494M – 13, 2013. *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*, April 2013.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. Jakarta : Dewan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-7064-2004 Semen Portland Komposit. Jakarta : Dewan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4431-1997. Pengujian Kuat Lentur Beton. Jakarta : Dewan Standardisasi Nasional.
- Banthia, N., and Sappakittipakorn, M. (2007). "Toughness enhancement in steel fiber reinforced concrete through fiber hybridization." *Cem. Concr. Res.*, 37(9), 1366–1372.
- Bentur, A., and Mindess, S. (1990). *Fiber reinforced cementitious composites*, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Bernard, E. (2004). "Creep of cracked fiber reinforced shotcrete panels." *Shotcrete: More engineering developments*, E. S. Bernard, ed., Taylor & Francis Group, London, 47–57.
- Biro penelitian teknik PT. Semen Tonasa, 2012. *Ketahanan Semen PCC Terhadap Air Laut*, Departemen Jaminan Mutu dan Lingkungan PT. Semen Tonasa.
- Buratti, N., Mazzotti, C., and Savoia, M. (2011). "Post-cracking behavior of steel and macrosynthetic fiber-reinforced concretes." *Constr. Build. Mater.*, 25(5), 2713–2722.
- Chompreda, P. 2010. *Construction Material: Concrete*, Mahidol University, Thailand.
- Dinakar, P., Babu, K.G. dan Santhanam, M. 2008. Durability properties of high volume fly ash self compacting concrete, *cement & concrete composites*, 30: 880 – 886.
- Dr. Wasan Ismail Khalil, Dr. Ikbal Naeem Gorgis, Zeinab Raad Mahdi, *Mechanical Properties of High Performance Fiber Reinforced Concrete*, 2012.
- EFNARC (2005). *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use*, UK (www.efnarc.org), May, 2005.
- Falah, M. W. 2010. Effect of seawater for mixing and curing on structural concrete, *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, Vol. 3, No. 4, 235–243
- Fukute, T. et. al. (1990). Study on The Durability of Concrete Mixed with Seawater, *Report of the Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport*, Vol.29, No.3, pp.57-59,61-93
- Furuya, D., Otsuki, N., Saito, T., Lee Yun. 2009. *A Study On The Effects Of Seawater as Mixing Water on The Hydration Characteristics of Blast-Furnace Slag Cement*, 34th Conference on Our World In Concrete & Structure: 16 - 18 August 2009, Singapore
- Islam, M. M., Islam, M. S., Mondal, B. C., and Islam, M.R. 2010. *Strength behavior of concrete using slag with*, *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 38 (2) 129-140
- Islam, Md.S, Kaushik, S.K., and Islam, Md.M. 2005. Physical and Mechanical Behaviour Of Concrete In Sea Water Under Hydrostatic Pressure, *Journal-The Institution of Engineers*, Vol.66 No.2, Malaysia.

ANALISIS PERBANDINGAN STRUKTUR BAJA DAN STRUKTUR BETON AKIBAT GEMPA KUAT (STUDI KASUS GEDUNG HOTEL FAME JAYAPURA)

Ardi Azis Sila¹, Adri Raidyarto²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sistem Informasi, Universitas Yapis Papua
Jl. DR. Sam Ratulangi No. 11 Dok V Atas, Tlp (0967) 534012, 550355, Jayapura-Papua
¹ardi.azis.sila@gmail.com, ²adri.raidyarto@gmail.com

ABSTRAK

Bangunan bertingkat tinggi rentan terhadap gaya lateral seperti beban gempa dikarenakan beban tersebut bersifat horizontal dengan arah yang tidak menentu, sehingga harus dirancang untuk dapat menahan beban lateral tersebut. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan ketahanan struktur beton dan struktur baja dengan *bracing* terhadap beban gempa (studi kasus pada bangunan Fame Hotel Jayapura). Penelitian ini menggunakan *software* SAP 2000 sebagai bantuan pada pemodelan struktur dan pembebanan yang berpedoman pada peraturan SNI 1726-2012 tentang pedoman tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Dari hasil analisis didapatkan periode getar struktur baja sebesar 2,89 detik, sedangkan periode getar struktur beton adalah sebesar 1,39 detik. Perbandingan *base shear* pada masing-masing arah X sebesar 205.540 kg serta arah Y sebesar 114.465,29 kg untuk struktur baja dan arah X sebesar 2.495.282 kg dan arah Y sebesar 2.327.479 kg untuk struktur beton. Dan hasil *joint displacement* struktur baja pada arah X (0.032 m) dan arah Y (0.050 m), sedangkan pada sistem struktur beton pada arah X (0.200 m) dan arah Y (0.274 m). Dari analisis simpangan (*displacement*) menunjukkan bahwa struktur baja dengan tambahan *bracing* lebih efektif dalam menahan beban lateral seperti gempa dibandingkan dengan struktur beton dengan tambahan *shear wall* karena menghasilkan nilai simpangan yang lebih kecil.

Kata Kunci: Struktur Baja, Struktur Beton, Beban Gempa.

PENDAHULUAN

Sebagian besar bangunan gedung di Indonesia merupakan struktur rangka beton bertulang (SRBB), dimana komponen strukturnya telah mengalami deformasi dan retak akibat beban yang bekerja. Adanya faktor seperti kesalahan desain, pelaksanaan konstruksi tidak sesuai rencana, perubahan fungsi bangunan dan revisi peraturan gempa, memberikan dampak tidak baik dan menyebabkan bangunan tersebut cenderung mengalami tegangan berlebih apabila dianalisis kembali, sehingga perlu dilakukan perkuatan. Baja memiliki beberapa kelebihan dibandingkan beton salah satunya adalah baja memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan dengan beton yang lebih berat namun kekurangan baja adalah perlu perlakuan khusus pada saat instalasi dan factor safety yang lebih tinggi. Dalam penelitian ini peneliti tertarik melakukan perbandingan ketahanan struktur beton dengan *shear wall* berbentuk I dan struktur baja dengan menggunakan *bracing* terhadap beban gempa (studi kasus pada bangunan Fame Hotel Jayapura) untuk mengetahui jenis struktur mana yang lebih efektif.

LANDASAN TEORI

Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2 % hingga 2,1 % berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengerasan pada kisi kristal atom besi.

Material baja unggul jika ditinjau dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitasnya. Tinjauan dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitas sangat cocok dipakai mengevaluasi struktur yang diberi pembebanan. Tetapi perlu diingat bahwa selain kondisi tadi akan ada pengaruh lingkungan yang mempengaruhi kelangsungan hidup struktur bangunannya. Kelebihan material baja dibandingkan material beton atau kayu adalah karena buatan pabrik, yang tentunya mempunyai kontrol mutu yang baik.

Di Indonesia tenaga ahli konstruksi baja (*hot-rolled*) relatif banyak karena materinya dijadikan materi perkuliahan di perguruan tinggi. Adapun peraturan baja ringan SNI 7971:2013 adalah yang pertama kali diterbitkan di Indonesia, dan belum menjadi kurikulum wajib di perguruan tinggi.

Struktur Baja *Hot-Rolled* atau *Cold-Formed*

Struktur baja yang dipakai pada dasarnya dapat dibagi menjadi dua kelompok berbeda. Pertama adalah struktur baja konvensional, yang dijumpai pada konstruksi besar, seperti gedung tinggi, jembatan atau tower dan sebagainya. Kelompok ini memakai profil baja yang disebut baja *hot-rolled* atau canai panas.

Kelompok kedua adalah yang sering dikenal sebagai struktur baja ringan, yang umum digunakan pada konstruksi ringan, rumah atau rak penyimpanan, disebut juga baja *cold-formed* atau baja canai dingin. Karakter keduanya berbeda, juga asosiasi profesi yang menerbitkan peraturan keduanya juga berbeda.

Struktur Portal Browsing (*Braced Frame*)

Bracing atau pengaku merupakan elemen struktur penahan gaya lateral. Elemen ini berupa batang yang dipasang pada portal struktur. Karakteristik dari elemen ini adalah dominasi aksial yang terjadi ketika gaya lateral terjadi. Di mana pada saat gempa terjadi, gaya lateral yang diterima oleh struktur akan diteruskan pada elemen bracing ini sebagai gaya-gaya aksial.

Beton

Beton yang biasa di ketahui adalah sebuah bahan penyusun struktur bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat, air, dan pengikat semen. Bentuk paling umum biasanya adalah beton semen Portland, yang terdiri dari campuran agregat mineral (biasanya kerikil atau batu pecah dan pasir), semen, dan air.

Biasanya dipercayai bahwa beton mengering setelah pencampuran dan peletakan. Sebenarnya, beton tidak menjadi padat karena air menguap, tetapi semen berhidrasi, mengesem komponen lainnya bersama dan akhirnya membentuk material seperti-batu. Beton digunakan untuk membuat bangunan perumahan, bangunan kesehatan, bangunan/prasarana pemerintahan.

METODE PENELITIAN

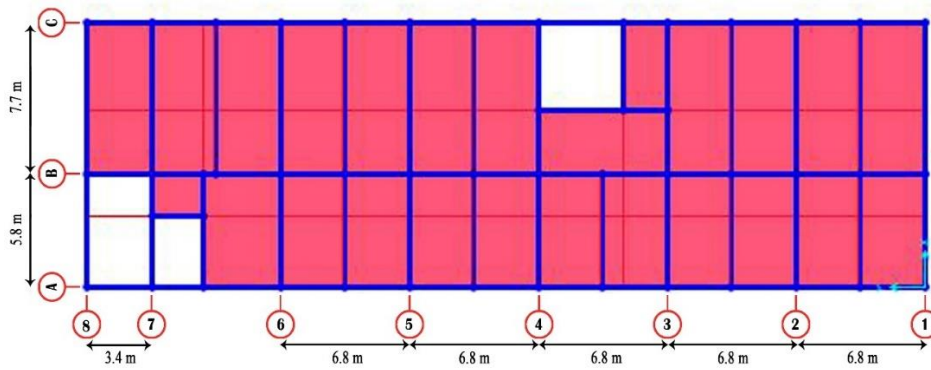
Lokasi Penelitian

Secara geografis letak proyek pembangunan Gedung Fame Hotel Jayapura berlokasi di Jl. Dr. Soetomo Jayapura. Terletak pada koordinat: 2° 32' 40"S 140° 42' 05"E dengan rincian sebagai berikut:

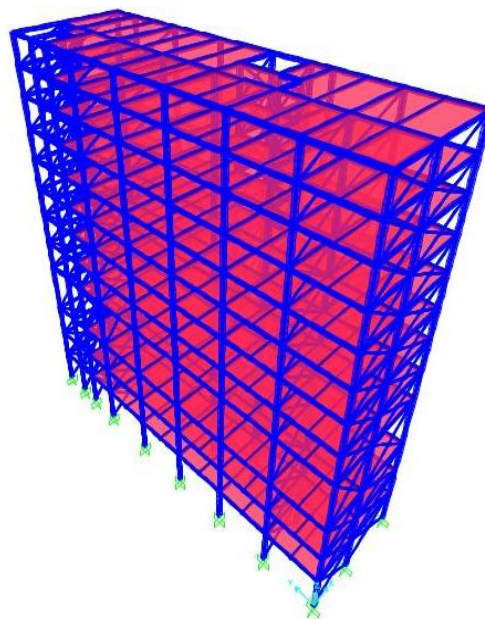
Sebelah Utara: Gedung Sagu Indah Plaza
Sebelah Timur: Gedung Bank Mandiri Kanwil 12 Jayapura
Sebelah Barat: Masjid Raya Baiturahim Jayapura
Sebelah Selatan: Toko Emas Benteng Jayapura

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dengan SAP2000 dibuat dalam bentuk 3D seperti di tunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 1. Denah Hotel Fame Jayapura



Gambar 2. Perspektif Bangunan Hotel Fame Jayapura

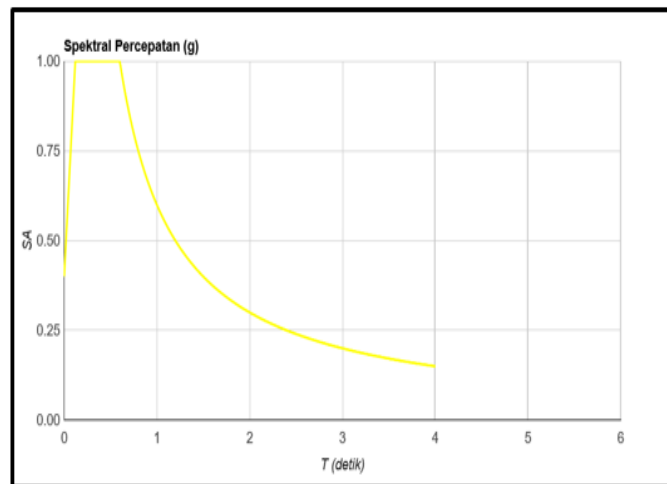
Pembebanan Struktur

Perencanaan pembebanan dimaksudkan untuk memberikan pedoman dalam menentukan beban-beban yang bekerja pada bangunan. Secara umum, beban direncanakan sesuai Pedoman SNI 1726-2012 tentang Pedoman Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

Tabel 1. Parameter Respon Spektrum Gempa Rencana SNI 03-1726-2012

Kelas situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda				
	$S_g \leq 0,25$	$S_g = 0,5$	$S_g = 0,75$	$S_g = 1,0$	$S_g \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Sumber : SNI 03-1726-2012



Sumber : Puskim.Pu.go.id

Gambar 3. Grafik Respon Spectrum Jayapura

Kriteria yang digunakan:

Kelas Situs = SD (tanah sedang)

$S_s = 1$

$S_1 = 0.6$

$F_a = 1$

$F_v = 1.5$

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Tinjauan Umum

Analisis struktur konstruksi gedung ini dilakukan dengan menggunakan permodelan struktur 3D dengan menggunakan software SAP 2000. Dari hasil analisis struktur akan diperoleh perbandingan besar perpindahan (*joint displacement*) struktur gedung, gaya geser dasar struktur gedung (*Base Shear*), dan besar periode getar struktur bangunan Fame Hotel Jayapura antara menggunakan struktur beton dan baja.

Data Struktur Bangunan

Untuk melakukan analisis struktur, parameter-parameter yang digunakan adalah data teknis bangunan gedung yang di dapatkan dari konsultan perencana dan data profil baja sebagai bahan penyusun struktur yang akan dibandingkan sebagai berikut:

1. Jenis Struktur : Beton dan Baja.
2. Mutu Beton : Kolom = K-350 ($f'_c = 34,34$), Balok = K-350 ($f'_c = 34,34$), Pelat Lantai = K-350 ($f'_c = 34,34$), dan Mutu Baja Tulangan : f_y 390 MPa.
3. Baja profil WF atau Profil I : dengan kekatan material pada Kolom = Tegangan tarik (f_u) = 410 MPa, tegangan leleh (f_y) = 250 MPa dan modulus elastisitas (E_s) = 200.000 MPa, Balok, plat lantai dan bresing = Tegangan tarik (f_u) = 340 MPa, tegangan leleh (f_y) = 210 MPa dan modulus elastisitas (E_s) = 200.000 MPa
4. Jumlah Lantai : 12.
5. Tinggi gedung : 43,85 m.

Dari data perencanaan diatas, didapatkan dimensi penampang kolom, balok, dan pelat lantai untuk struktur beton dan struktur baja dapat dilihat pada tabel 2, tabel 3, tabel 4, tabel 5, table 6, dan tabel 7

Tabel 2. Dimensi Kolom Konfigurasi Sistem Struktur Beton

No	Kolom (lantai bangunan)	Dimensi Penampang	
		b (mm)	h (mm)
Lantai 1			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 2			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 3			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 4			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 5			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 6			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 7			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 8			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 9			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 10			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 11			
K1	500	1200	
K2	300	1000	
Lantai 12			
K1	500	1200	
K2	300	1000	

Tabel 3. Dimensi Kolom Konfigurasi Sistem Struktur Baja

Kolom (lantai bangunan)	Dimensi Penampang			
	h (mm)	b (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)
Lt. 1	400	400	13	21
Lt. 2	400	400	13	21
Lt. 3	400	400	13	21
Lt. 4	400	400	13	21
Lt. 5	400	400	13	21
Lt. 6	400	400	13	21
Lt. 7	400	400	13	21
Lt. 8	400	400	13	21
Lt. 9	400	400	13	21
Lt. 10	400	400	13	21
Lt. 11	400	400	13	21
Lt. 12	400	400	13	21

Tabel 4. Dimensi Balok Konfigurasi Sistem Struktur Beton

Balok (lantai bangunan)	Dimensi Penampang	
	b (mm)	h (mm)
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B4	350	700

Balok (lantai bangunan)	Dimensi Penampang	
	b (mm)	h (mm)
B5	400	750
Lantai 2		
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B6	400	700
B5	400	750
Lantai 3		
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B4	350	700
B6	400	700
B5	400	750
B7	500	800
Lantai 4		
B3	300	600
B8	300	700
B4	350	700
B6	400	700
B5	400	750
B9	400	800
B10	500	900
Lantai 5		
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B4	350	700
B5	400	750
Lantai 6		
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B4	350	700
B5	400	750
Lantai 7		
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B4	350	700
B5	400	750
Lantai 8		
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B4	350	700
B5	400	750
Lantai 9		
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B4	350	700
B5	400	750
Lantai 10		
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B4	350	700
B5	400	750
Lantai 11		
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B4	350	700
B5	400	750
Lantai 12		

Balok (lantai bangunan)	Dimensi Penampang	
	b (mm)	h (mm)
B1	250	500
B2	250	600
B3	300	600
B4	350	700
B5	400	750

Tabel 5. Dimensi Balok Konfigurasi sistem struktur baja

No	Balok (lantai bangunan)	Dimensi Penampang							
		Balok Utama				Balok Anak			
		h (mm)	b (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	h (mm)	b (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)
1	Lt. 1	350	175	7	11	200	100	5	8
2	Lt. 2	350	175	7	11	200	100	5	8
3	Lt. 3	350	175	7	11	200	100	5	8
4	Lt. 4	350	175	7	11	200	100	5	8
5	Lt. 5	350	175	7	11	200	100	5	8
6	Lt. 6	350	175	7	11	200	100	5	8
7	Lt. 7	350	175	7	11	200	100	5	8
8	Lt. 8	350	175	7	11	200	100	5	8
9	Lt. 9	350	175	7	11	200	100	5	8
10	Lt. 10	350	175	7	11	200	100	5	8
11	Lt. 11	350	175	7	11	200	100	5	8
12	Lt. 12	350	175	7	11	200	100	5	8

Tabel 6. Dimensi Pelat Lantai Konfigurasi Sistem Struktur Beton dan Baja

Pelat lantai (struktur beton)		Pelat lantai/Bondek(struktur baja)	
Lt. bangunan	Dimensi (cm)	Lt. bangunan	Dimensi (cm)
Lt. 01	13	Lt. 01	10
Lt. 02	13	Lt. 02	10
Lt. 03	13	Lt. 03	10
Lt. 04	13	Lt. 04	10
Lt. 05	13	Lt. 05	10
Lt. 06	13	Lt. 06	10
Lt. 06	13	Lt. 06	10
Lt. 07	13	Lt. 07	10
Lt. 08	13	Lt. 08	10
Lt. 09	13	Lt. 09	10
Lt. 10	13	Lt. 10	10
Lt. 11	13	Lt. 11	10
Lt. 12	13	Lt. 12	10

Tabel 7. Dimensi Bresing vertical X konfigurasi sistem struktur baja

Bresing Vertikal X (lantai bangunan)	Dimensi Penampang			
	h (mm)	b (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)
Lt. 1	148	100	6	9
Lt. 2	148	100	6	9
Lt. 3	148	100	6	9
Lt. 4	148	100	6	9
Lt. 5	148	100	6	9
Lt. 6	148	100	6	9
Lt. 7	148	100	6	9
Lt. 8	148	100	6	9
Lt. 9	148	100	6	9
Lt. 10	148	100	6	9
Lt. 11	148	100	6	9
Lt. 12	148	100	6	9

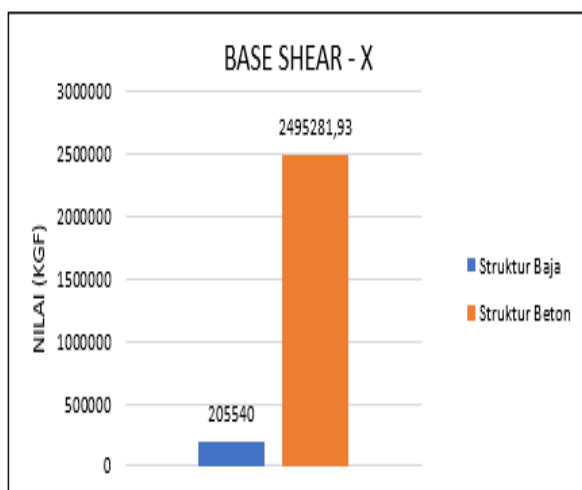
Pemilihan dimensi dari strutur baja didasarkan pada analisis yang dilakukan secara otomatis pada program SAP2000 sehingga rasio kekuatan struktur sudah diperhitungkan oleh program.

Perbandingan Base Shear

Perbandingan *base shear* yang pada gedung Fame Hotel Jayapura ditinjau dari nilai yang paling kecil, antara struktur gedung yang menggunakan baja dan beton.

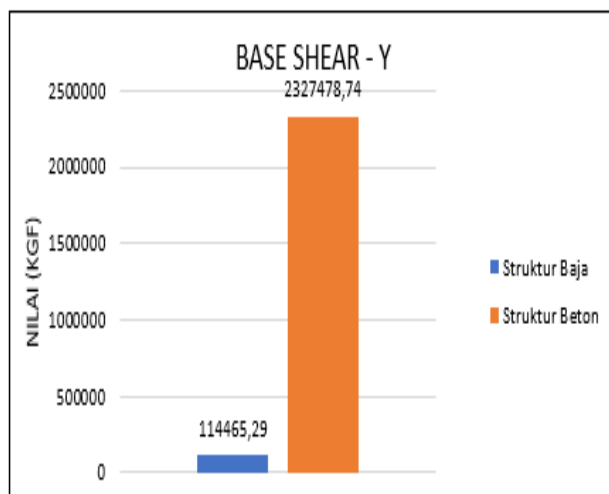
Tabel 8. Perbandingan Hasil analisis Base Shear antara Struktur dengan Menggunakan Baja dan Beton

Konfigurasi Struktur	Fx (kgf)	Fy (kgf)
Dengan Baja	205540	114465.29
Dengan Beton	2495282	2327479



Sumber: Hasil Perhitungan 2019

Gambar 4. Perbandingan Gaya Geser Dasar atau *Base Shear* Arah X Menggunakan Baja dan Beton

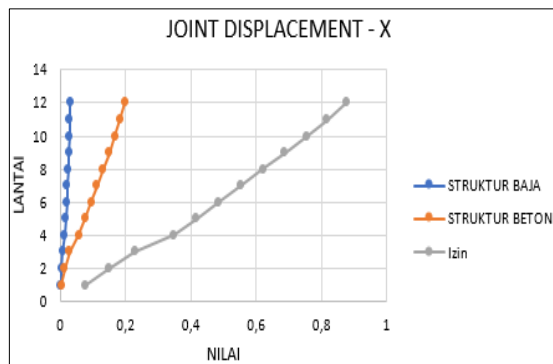


Sumber: Hasil Perhitungan 2019

Gambar 5. Perbandingan Gaya Geser Dasar atau *Baseshear* Arah Y Menggunakan Baja dan Beton

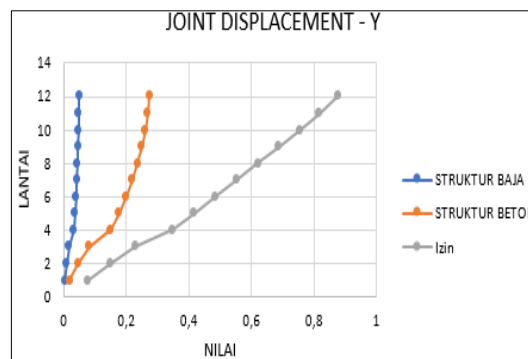
Perbandingan Joint Displacement

Adapun perbandingan *joint displacement* ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Sumber: Hasil Analisis SAP 2000 2019

Gambar 6. Grafik Perbandingan Perpindahan Arah X Gedung Fame Hotel Jayapura Menggunakan Struktur Baja dan Beton



Sumber: Hasil Analisis SAP 2000 2019

Gambar 7. Grafik Perbandingan Perpindahan Arah Y Gedung Fame Hotel Jayapura Menggunakan Struktur Baja dan Beton

Matriks Hasil Penelitian

Adapun matriks hasil penelitian ditunjukkan dalam tabel 9 di bawah ini:

Tabel 9. Matriks hasil penelitian

Sistem Struktur dengan Baja	Sistem Struktur dengan Beton
Hasil Analisis Nilai Periode Getar = 2.89 detik.	Hasil Analisis Nilai Periode Getar = 1.39 detik.
Nilai Base Shear F_x = 205540 kgf F_y = 114465.29 kgf	Nilai Base Shear F_x = 2495282 kgf F_y = 2327478 kgf
Hasil Analisis Nilai Joint Displacement arah x (0.032 m) dan arah y (0.050 m)	Hasil Analisis Nilai Joint Displacement arah x (0.200 m) dan arah y (0.274 m)
Lebih baik Dalam Meredam Gaya Lateral Pada Arah x dan y.	Baik dalam Meredam Gaya Lateral Pada Arah x dan y.

Sumber: Hasil Perhitungan 2019

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari analisis struktur bangunan Hotel Fame Jayapura disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Periode getar struktur didapatkan periode getar struktur dengan menggunakan Baja sebesar **2,89 detik**. Dan periode getar struktur beton sebesar **1,39 detik**. Hal ini disebabkan oleh rasio kekakuan dan massa struktur beton jauh lebih besar dibanding kekakuannya, sedangkan pada struktur baja memiliki massa yang lebih kecil.
2. Gaya geser dasar (*baseshear*) pada struktur baja di dapatkan arah X sebesar **205.540 kg** dan arah Y sebesar **114.465,29 kg**. Nilai tersebut jauh lebih kecil dari pada struktur beton yang didapatkan nilai pada arah X sebesar **2.495.282 kg** dan arah Y sebesar **2.327.478 kg**. Hal ini karena massa tiap lantai dari beton jauh lebih besar daripada massa tiap lantai menggunakan baja.
3. *Joint displacement* pada struktur baja lebih kecil dengan nilai dari arah X (**0.032 m**) dan arah Y (**0.050 m**) dibandingkan yang terjadi pada struktur beton dengan nilai pada arah X (**0.200 m**) dan arah Y (**0.274 m**). hal tersebut menunjukkan bahwa struktur baja menggunakan *bracing* lebih efektif dalam menahan gaya lateral dibanding struktur beton dengan *shear wall*.
4. Hasil analisis secara keseluruhan menunjukkan bahwa sistem struktur baja lebih efektif dalam meredam gaya lateral pada struktur, dikarenakan bahan material baja yang ringan dan lebih daktail dibanding beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiyanto, 2018. Perencanaan Gedung Tahan Gempa dengan Dinding Geser Berbentuk I. Uniyap Purwono, Rachmat. 2010. Perencanaan Struktur Tahan Gempa. ITS Press.Jakarta.
- SNI 03-1762-2012 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung"
- Badan Standarisasi Nasional 2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1729-2002.
- Putri, Prima Yane. 2007. Analisis dan Desain Struktur Rangka dengan SAP2000 Versi Student. Padang: UNP Press.
- SNI 2847-2013 "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung"

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN FIBRE ARAMID-POLYOLEFIN TERHADAP PERFORMA CAMPURAN ASPAL HANGAT

Christian Gerald Daniel¹

¹Alumni Program Studi Master of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Geoscience, Delft University of Technology, Email: christian.geralddaniel@gmail.com

ABSTRAK

Teknologi aspal hangat telah menjadi salah satu metode alternatif untuk produksi struktur perkerasan jalan. Akan tetapi, teknologi tersebut mempunyai kelemahan dari segi performa mekanis dibandingkan dengan campuran aspal panas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh positif dari penggunaan fibre aramid dan polyolefin pada campuran aspal hangat dalam beberapa tahap. Pada fase pertama, uji 4-point bending dan triaxial dilakukan pada sampel campuran aspal padat DAC-16 yang dibandingkan dengan sampel yang dicampur dengan fibre dengan proporsi 0.05% berat total, menghasilkan peningkatan fatigue life sebesar 100% dengan kekakuan yang setara, serta penurunan creep coefficient sebesar 20%. Pada tahap kedua, pengujian tarik dilakukan pada sampel aspal mortar untuk mengecek pengaruh perbedaan dosis fibre: 0.05%, 0.1% dan 0.5% terhadap performa benda uji, juga pengaruh dari dua panjang fibre yang berbeda: 19-mm dan 38-mm. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa kekakuan sampel meningkat hingga mencapai 189% serta creep coefficient yang menurun hingga 45% dibanding benda uji kontrol. Selain itu, ditemukan bahwa hasil pengujian sampel dengan penambahan fibre 38-mm sebanyak 0.1% dari total berat spesimen setara dengan dosis 0.5%. Hasil pengujian tahap ketiga, *semi-circular bending test*, menunjukkan trend yang sama dengan peningkatan nilai kuat tarik sampel sebesar 12.5% dan total energi sebesar 17%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan fibre aramid-polyolefin panjang 38-mm dengan dosis sebesar 0.1% memberikan hasil yang optimum. Adapun hasil CT-Scan pada sampel mortar menjelaskan mekanisme perkuatan akibat penambahan fibre, yakni (i) transfer beban antar fibre dan (ii) *interface bonding* antara fibre dan mortar matrix.

Kata kunci: aspal hangat, aramid + polyolefin, kuat tarik, *semi-circular bending test*, *standard test*

PENDAHULUAN

Aspal merupakan suatu komponen yang vital dalam proses pembangunan suatu konstruksi jalan raya, dimana secara umum volume aspal adalah sekitar lima persen dari volume total satu lapis perkerasan (wearing course). Adapun dewasa ini, teknologi rekayasa aspal sudah berkembang dengan sangat pesat, dimana salah satunya dengan pembuatan aspal campuran hangat (warm mix asphalt – WMA). Keuntungan dari WMA dibandingkan dengan tipe campuran pada umumnya (hot mix asphalt – HMA) terdiri dari beberapa aspek, seperti penghematan energi dan bahan bakar sekitar 20-35% (1) juga emisi panas ke lingkungan yang lebih rendah, dikarenakan selisih suhu pencampuran yang berada pada kisaran 10-40°C lebih rendah. Selain itu, dengan teknologi ini juga memungkinkan untuk menggunakan agregat hasil daur ulang (recycled aggregate) dengan porsi yang lebih banyak dari biasanya. Akan tetapi, suhu pencampuran yang lebih rendah ini pun dapat menimbulkan kerugian pada aplikasinya, terutama pada bagian performa dari perkerasan yang dihasilkan, sehingga berdampak langsung pada masa pakainya. Untuk mengatasi problem tersebut, fibre digunakan sebagai material tambahan untuk memperbaiki sifat mekanis dari campuran aspal hangat sehingga dapat menghasilkan suatu material dengan kualitas yang baik. Penelitian ini menggunakan kombinasi antara fibre aramid dan polyolefin sebagai bahan tambah untuk campuran aspal hangat bergradasi rapat (*dense asphalt concrete – DAC*), dengan tujuan untuk mencari kadar

optimum penambahan fibre serta efek dari penambahan fibre ke performa material WMA melalui beberapa pengujian, yakni *4-point bending test* untuk menentukan umur sampel terhadap beban siklik, pengujian kuat tarik pada level mortar (bitumen + pasir + mineral filler), serta *semi-circular bending test* pada campuran DAC. Adapun CT-Scan dilakukan pada sampel mortar agar dapat menganalisis interaksi fibre dalam benda uji, sehingga mekanisme perkuatan dapat diidentifikasi.

DASAR TEORI

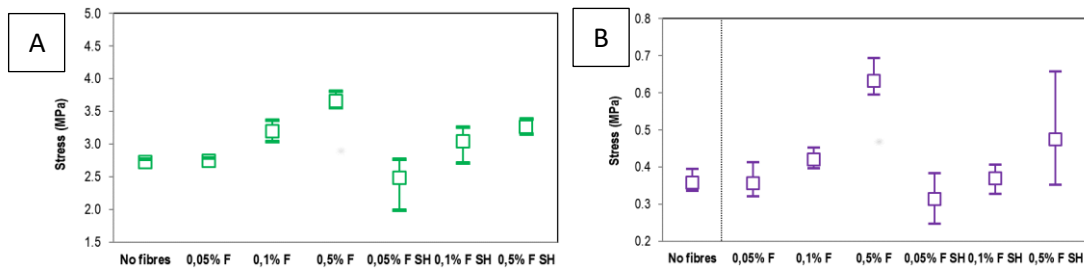
Penggunaan teknologi aspal hangat diketahui memiliki beberapa keuntungan, antara lain untuk mengurangi emisi gas, efisiensi konsumsi bahan bakar pada level 20-35% (Zaumanis 2011) (D'Angelo and al. 2008), serta peluang untuk melakukan pemadatan dalam periode yang lebih lama dibandingkan campuran aspal panas, sehingga mengurangi durasi pengerjaan (Prowell, Hurley and Frank 2012). Akan tetapi, campuran aspal hangat juga dilaporkan memiliki beberapa kerugian dari segi performa, yang paling utama adalah terkait performa struktur dalam jangka panjang, terutama potensi kerusakan akibat pengaruh air/kelembaban, karena salah satu teknologi utama untuk produksi campuran aspal hangat yakni menggunakan *foam* yang dapat berubah menjadi air dalam proses pencampuran sehingga dapat menurunkan kualitas campuran tersebut.

Salah satu metode untuk memperbaiki kualitas campuran aspal hangat yaitu dengan menggunakan fibre sebagai bahan tambah. Penggunaan fibre telah menjadi hal umum dalam teknik sipil, secara khusus di konsentrasi struktur jalan, dimana penggunaan pertama dalam peradaban modern tercatat pada periode 1920-an di Amerika Serikat dengan menggunakan bahan asbestos (Mcdaniel 2015). Penggunaan asbestos sebagai material tambah menjadi hal yang wajar hingga periode 1970-an, dimana penggunaan asbestos dilarang karena bahayanya bagi kesehatan. Oleh karena itu, penggunaan material lain sebagai fibre mulai diminati, hingga saat ini tipe-tipe fibre yang umumnya digunakan terbagi atas beberapa kategori sesuai material pembentuknya, yakni mineral, glass, selulosa dan polimer sintesis. Secara umum, penggunaan fibre sebagai bahan tambah pada campuran aspal dilaporkan dapat meningkatkan kuat tarik, umur layan terhadap beban siklik (*fatigue life*) serta ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*) sehingga akan meningkatkan durabilitas campuran aspal (Mcdaniel 2015).Fibre aramid dan polyolefin termasuk dalam kategori polimer sintesis. Aramid, bernama kimia para-phenyleneterephthalamide, dibentuk melalui proses sintesis oleh dua monomer yakni 1,4-phenylenediamine dan terephthaloyl dichloride dengan menggunakan methyl pyrrolidone dan kalsium klorida sebagai bahan pelarut (Van Der Zwaag 2009). Aramid dikenal memiliki rasio kuat tarik terhadap berat jenis yang tinggi (>5 kali fibre baja dan glass), *fatigue resistance* yang tinggi (>10 juta *cycles*) serta daya tahan yang baik terhadap panas (kehilangan hanya <20% kuat tarik pada suhu 200°C), sehingga sering digunakan untuk struktur untuk mencapai berat yang ringan dengan mutu tinggi atau struktur pada lokasi yang ekstrim (Jassal and Ghosh 2002). Sedangkan polyolefin terbagi atas beberapa sub-klaster, seperti High-Density Polyethylene (HDPE), Low-Density Polyethylene (LDPE), dan Polypropylene (PP). Pembuatan fibre polyolefin diawali dari penemuan polyhethylene sebagai sisa dari pengujian kimia pada tekanan tinggi, yang mana mengawali metode produksi LDPE. Polyolefin memiliki beberapa keunggulan seperti berat jenis yang ringan (~0.9 gr/cm³) dengan kekuatan tarik yang bervariasi antara 17-80 MPa serta modulus elastisitas yang relative tinggi antara 200-1000 MPa, dimana PP memiliki sifat yang lebih unggul dibandingkan PE (Hutley and Ouederni 2016), (Grigoriu and Blascu 2000).

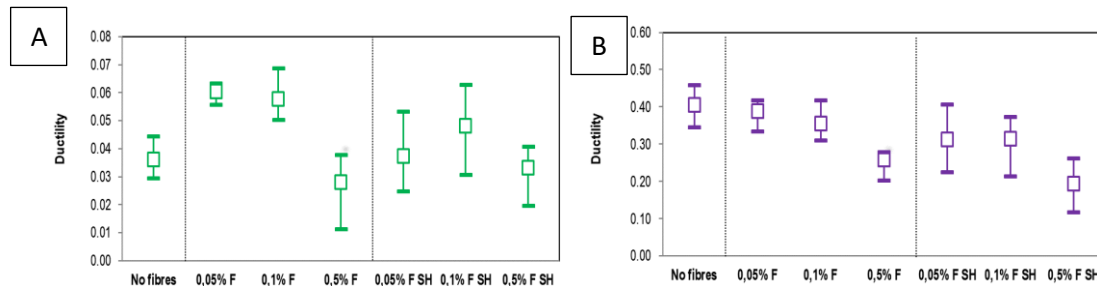
Efek dari penggunaan kombinasi fibre aramid dan polyolefin pada campuran aspal telah diteliti pada campuran aspal panas (Kaloush, et al. 2008), dimana penambahan material fibre dapat meningkatkan kuat geser serta ketahanan terhadap beban siklik, dan juga kekuatan tarik campuran aspal. Penelitian lain juga membuktikan efek dari penambahan fibre aramid dan polyolefin terhadap kualitas campuran aspal untuk lapangan terbang, dimana fibre yang ditambahkan dapat meningkatkan kekakuan serta ketahanan terhadap *ravelling* (Stempihar, Souliman and Kaloush 2012).

Penelitian terkait kegunaan fibre aramid dan polyolefin sebelumnya juga telah dilakukan penulis untuk meninjau pengaruh temperatur terhadap kekuatan tarik campuran aspal hangat. Penelitian

tersebut menunjukkan bahwa penggunaan fibre sebagai material perkuatan akan berfungsi dengan lebih maksimal pada temperatur pengujian yang tinggi (20°C). (Apostolidis, et al. 2019)



Gambar 1. (A) Kuat Tarik Spesimen pada Temperatur 5°C dan (B) 20°C



Gambar 2. (A) Daktilitas Spesimen pada Temperatur 5°C dan (B) 20°C

Gambar menunjukkan bahwa efek dari penggunaan fibre pada campuran aspal memberikan hasil kuat tarik yang lebih signifikan saat diuji pada temperatur yang lebih tinggi (20°C). Hal ini disebabkan oleh sifat bitumen yang menjadi lebih viscous pada suhu tersebut, sehingga parameter kritis yang menentukan keruntuhan sampel tersebut adalah *interfacial bonding* antara fibre dan mortar matrix, sehingga nilai kuat tarik serta modulus elastisitas fibre yang tinggi memberikan dampak yang lebih signifikan dibandingkan pada suhu yang rendah. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan fibre pada struktur perkerasan sendiri menjadi lebih optimum jika digunakan pada temperatur layan yang relative tinggi. Hanya saja, peningkatan kapasitas tarik ini menyebabkan daktilitas sampel berkurang (Gambar), dengan kata lain material dengan dosis fibre yang besar kehilangan kemampuan untuk meregang. Oleh karena itu, penelitian tersebut menyimpulkan bahwa campuran aspal dengan proporsi fibre aramid-polyolefin sebesar 0.1% memberikan hasil yang optimum dibandingkan dengan opsi lainnya.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan

Penelitian ini menggunakan kombinasi fibre aramid dan polyolefin dengan proporsi 10% dan 90%. Adapun spesifikasi fibre sesuai dengan standar manufaktur dapat dilihat pada Tabel 1.

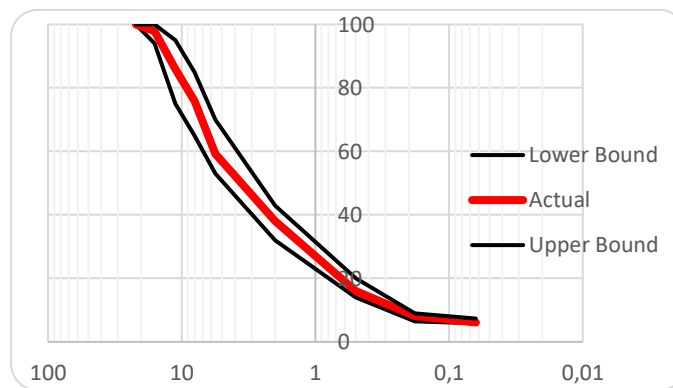
Tabel 1. Spesifikasi teknis fibre aramid-polyolefin yang digunakan

<u>Physical Properties</u>		
<i>Aramid Fibres</i>		
Length	19	mm
Form	Monofilament	
Tensile Strength +	2758	Mpa
Specific Gravity	1,44	
Operating Temperatures	-73 - 427	°C
<i>Polyolefin Fibres</i>		

Length	19	mm
Form	Serrated	
Tensile Strength	N/A	*
Specific Gravity	0,91	
Operating Temperatures	N/A	*

* *Fibres will become plastically deformed during asphalt mix production*

Untuk campuran yang digunakan pada pengujian ini adalah campuran aspal hangat dengan gradasi tipe DAC-16, sesuai dengan standard mix design Belanda (*DAB – dense asphalt beton*), seperti yang terlihat pada Gambar . Adapun untuk keperluan pembuatan sampel aspal mortar, pasir yang diambil didefinisikan dari yang tertahan pada saringan ukuran 0.5 mm yang dapat dilihat pada Tabel . Bitumen yang digunakan adalah bitumen penetration grade 50/70, serta *chemical additive* ANOVA 1501 yang dapat menurunkan temperatur bitumen hingga 40°C dan mempermudah proses kompaksi tanpa memodifikasi sifat reologinya (Cargill, Inc. n.d.).



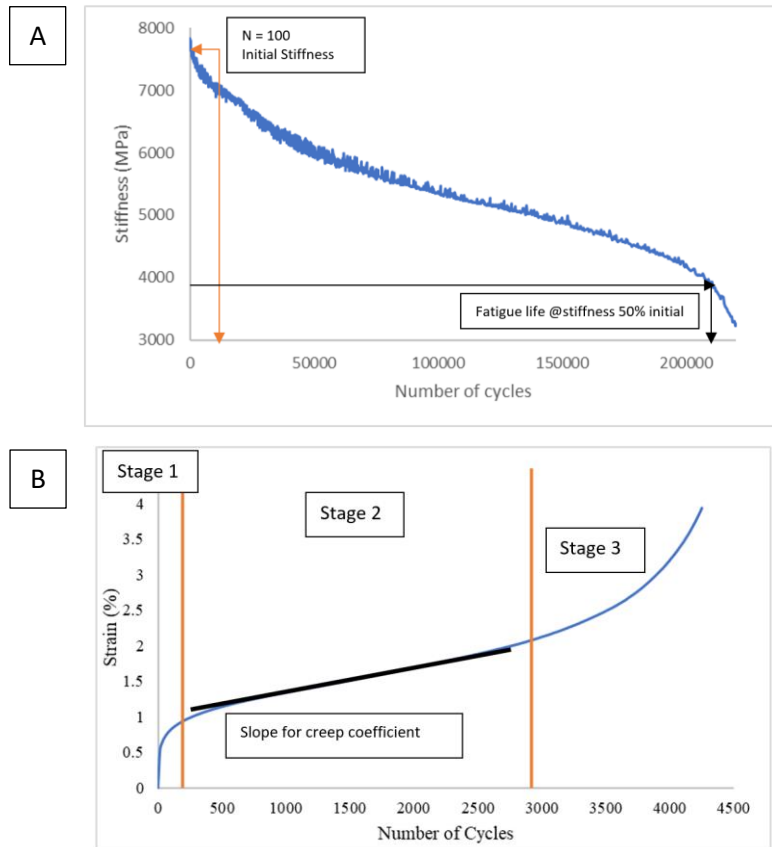
Gambar 3. Hasil Analisa Saringan untuk Campuran Aspal Hangat DAC-16

Tabel 2. Komposisi Aspal Mortar berdasarkan Gradasi DAC-16

Komponen	Proporsi
Sand	47.10%
Bitumen 50/70	23.80%
Filler (Wigras)	29.00%
ANOVA 1501	0.7% of bitumen weight

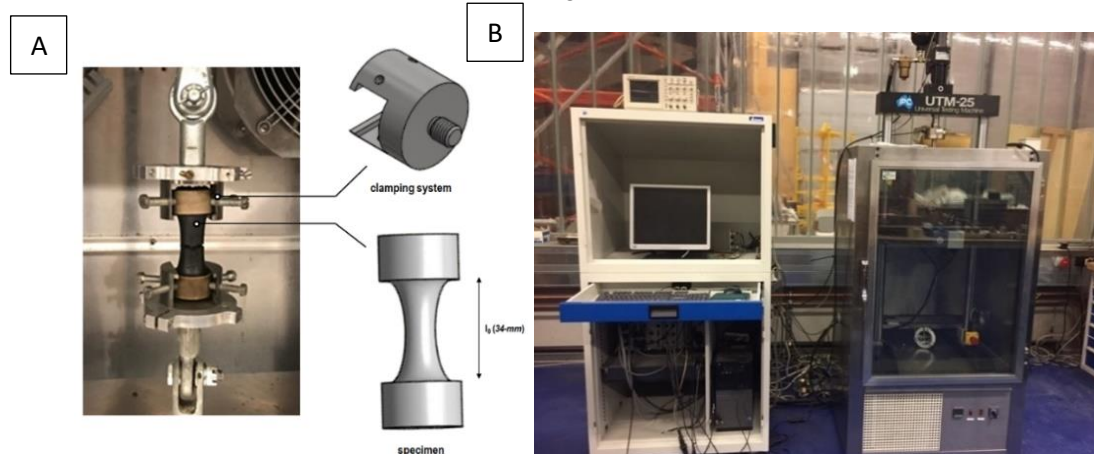
Sampel dan Pengujian

Untuk pengujian standard sebagai tahap awal penelitian ini, campuran aspal hangat dibuat dengan bentuk spesimen balok untuk pengujian 4-point bending, dan silinder untuk pengujian triaxial. Nilai kekakuan dari pengujian 4-point bending didapatkan dari hasil kekakuan setelah 100 cycles (initial stiffness), dimana pengujian dilakukan dalam beberapa variasi frekuensi untuk mengetahui pengaruh frekuensi beban terhadap kekakuan spesimen. Sedangkan nilai fatigue life diambil dari jumlah cycles yang ditempuh dimana kekakuan sampel telah mencapai 50% dari nilai kekakuan awal. Pengujian 4-point bending dilakukan sesuai dengan standard Eurocode NEN 12697-24 dan 12697-26. Sedangkan pengujian triaxial menghasilkan kurva deformasi terhadap waktu yang dibagi dalam tiga fase: fase 1 (elastis), fase 2 (viscoelastic) dan fase 3 (menjelang keruntuhan). Nilai creep coefficient sendiri ditetapkan sesuai standard Eurocode NEN 12697-25 sebagai eksponen dari slope fungsi matematis yang terdapat pada fase kedua, dimana deformasi permanen mulai terjadi. Skema hasil pengujian 4-point bending metode interpretasi data dapat dilihat pada Gambar .



Gambar 4. (A) Hasil uji dan interpretasi data 4-point bending dan (B) Triaxial

Pada tahap selanjutnya, sampel aspal mortar untuk pengujian tarik dibuat dengan bentuk parabolic seperti pada Gambar . Pemilihan geometri tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa bidang keruntuhan terjadi pada bagian tengah dari sampel tersebut, atau untuk menghindari keruntuhan terjadi pada bagian atas/bawah spesimen, yang mana berpotensi menimbulkan kerusakan pada mesin test seperti yang terjadi pada penelitian menggunakan sampel silinder sempurna (Bolzan and Huber 1993). Bentuk geometri tersebut pertama kali dikemukakan pada awal periode 2000-an (Erkens and Poot 2001), kemudian dilakukan pemodelan lebih lanjut menggunakan finite element untuk membuktikan failure mode tersebut (Kringos, et al. 2011).



Gambar 5. (A) Setup uji tarik dan (B) Mesin UTM

CT-Scan juga dilakukan untuk sampel mortar sebelum dan setelah pengujian tarik, yang bertujuan untuk menganalisis mekanisme relasi antara fibre dengan komponen lain dalam spesimen tersebut, sehingga mekanisme perkuatan yang diberikan oleh fibre dapat diidentifikasi.

Hasil pengujian tarik adalah data force-displacement yang direkam oleh system untuk kemudian dikonversikan menjadi tegangan dan regangan menggunakan rumus (1) dan (2)

$$\sigma = \frac{F}{0.25\pi d^2} \quad (1)$$

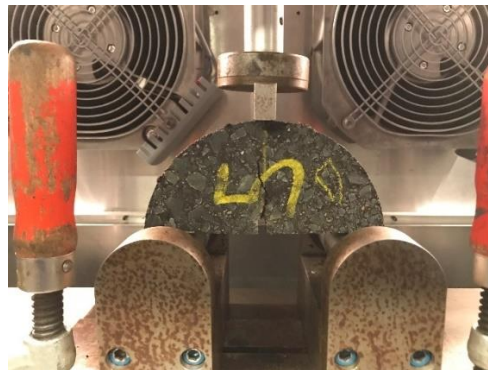
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

Untuk tahap akhir, pengujian semi-circular bending dilakukan menggunakan mesin UTM berdasarkan standard Eurocode NEN 12697-44. Metode ini dipilih karena dapat merepresentasikan nilai kekuatan tarik campuran aspal dengan lebih jelas ketimbang pengujian standard ITT, dimana failure mode yang terjadi pada uji ITT adalah kombinasi antara tekan dan Tarik, sedangkan pada uji SCB keruntuhan akibat tarik menjadi failure mode yang dominan terjadi (Molenaar, et al. 2002), (Molenaar, Liu and Molenaar 2003). Pengujian tersebut dilakukan pada suhu 0°C, dimana hasil pengujian akan diolah menggunakan rumus berikut:

$$\sigma_{max,i} = \frac{4.263 \cdot F_{max,i}}{D_i \cdot t_i} \quad (3)$$

$$G_f = \frac{W_f}{A_{lig}} \quad (4)$$

Sampel untuk pengujian SCB beserta test setup dapat dilihat pada Gambar

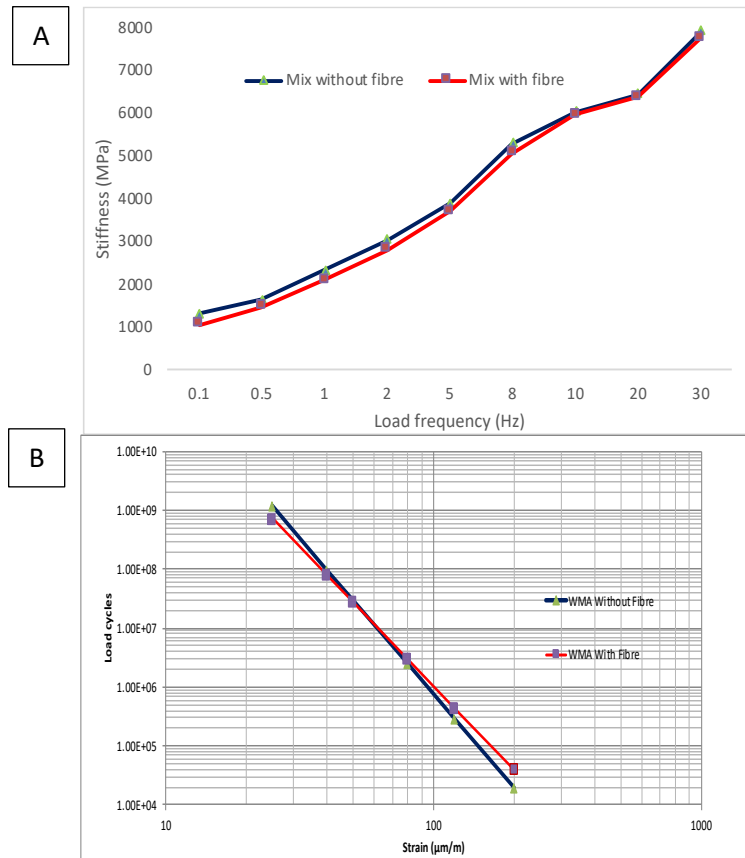


Gambar 6. Test Setup Semi Circular Bending

HASIL DAN PEMBAHASAN

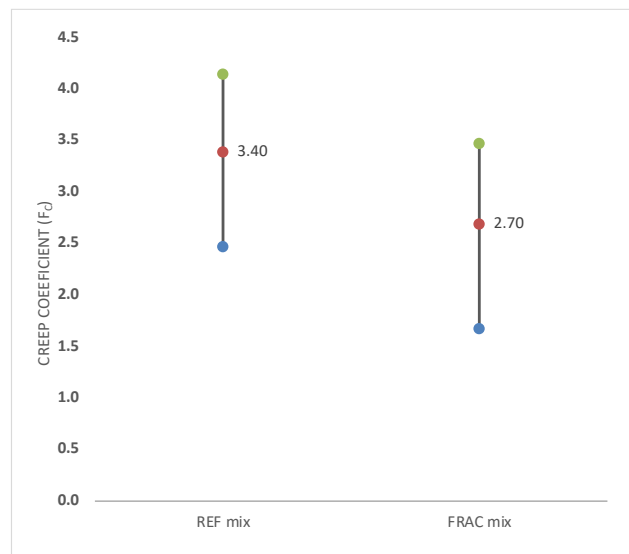
Uji Awal – Standard Test

Bagian pertama penelitian ini adalah dengan menggunakan serangkaian uji standard untuk menentukan kualitas campuran aspal hangat hasil penambahan fibre aramid-polyolefin dengan dosis 0.05% dari berat spesimen, sesuai dengan saran distributor. Pengujian pertama, yakni 4-point bending test, menghasilkan data berupa kekakuan serta umur hidup sampel terhadap beban siklik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar .



Gambar 7. (A) Nilai kekakuan dan (B) fatigue hasil pengujian 4-point bending beam

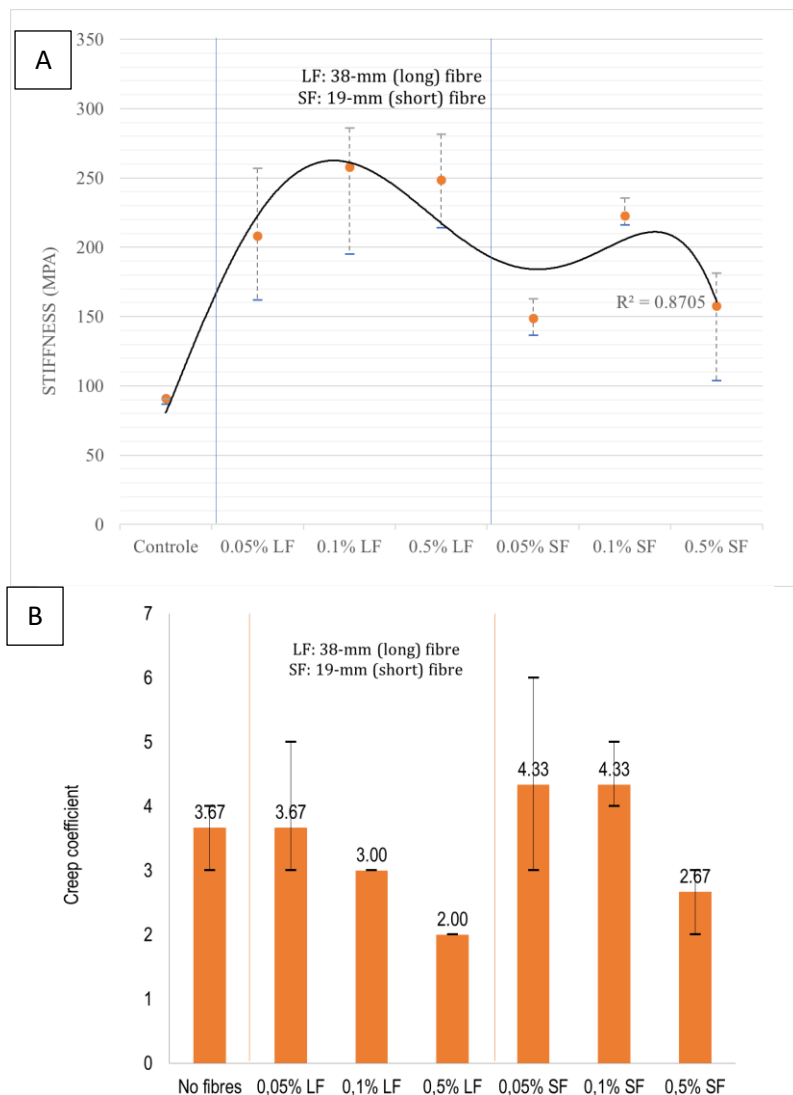
Dari data diatas dapat dilihat bahwa dengan penambahan fibre, walaupun tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kekakuan material (pada range 1 – 8 GPa), ternyata dapat meningkatkan umur layan spesimen dalam uji fatigue, khususnya pada frekuensi beban yang tinggi sebesar hampir 2 kali lipat. Dapat dilihat dari kedua grafik bahwa peningkatan performa yang lebih signifikan pada saat dibebani dengan strain level yang tinggi, baik kurva evolusi kekakuan maupun fatigue life dari spesimen yang diuji. Strain level yang tinggi dapat diasosiasikan dengan kelajuan beban yang rendah, menandakan bahwa penggunaan fibre akan lebih optimum pada struktur perkerasan dengan tingkat kecepatan rencana yang rendah.



Gambar 8. Koefisien deformasi permanen hasil pengujian triaxial

Koefisien creep adalah gradien dari kurva hasil pengujian triaxial menggunakan beban siklik yang batasnya diambil mulai dari titik dimana deformasi viscoelastic mulai terjadi. Berdasarkan Gambar , terlihat jelas bahwa koefisien creep sampel dengan penambahan fibre berada di bawah sampel uji control dengan perbedaan sekitar 20%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan fibre pada campuran aspal dapat meningkatkan resistensi campuran tersebut terhadap deformasi permanen akibat pembebanan dalam jangka waktu tertentu.

Pengujian Aspal Mortar – Uji Tarik



Gambar 9. (A) Nilai Kekakuan dan (B) creep coefficient Hasil Uji Tarik Sampel Aspal Mortar

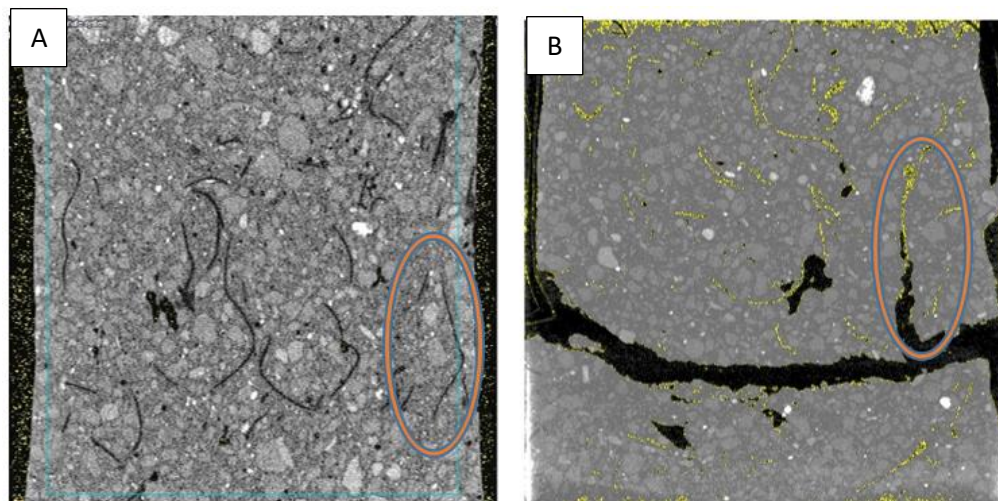
Pengujian tarik dengan menggunakan spesimen aspal mortar menunjukkan hasil berupa kekakuan, yang dapat dilihat pada Gambar . Nilai ini hanya dapat dihasilkan pada temperatur yang cukup rendah, dimana bitumen bertindak sebagai material yang elastis. Pada suhu yang lebih tinggi, bitumen akan bersifat viscoelastic, sehingga penentuan kekakuan elastic tidak dapat menggambarkan perilaku struktur secara akurat.

Hasil pengujian pada suhu -5°C menunjukkan adanya peningkatan pada nilai kekakuan melalui penambahan fibre dibandingkan dengan sampel uji control, dimana kekakuan sampel uji dengan fibre meningkat sebesar 190% dari sampel uji tanpa fibre. Hal ini menunjukkan adanya peran fibre sebagai material pengikat dalam sampel tersebut, yang juga mengindikasikan adanya peningkatan

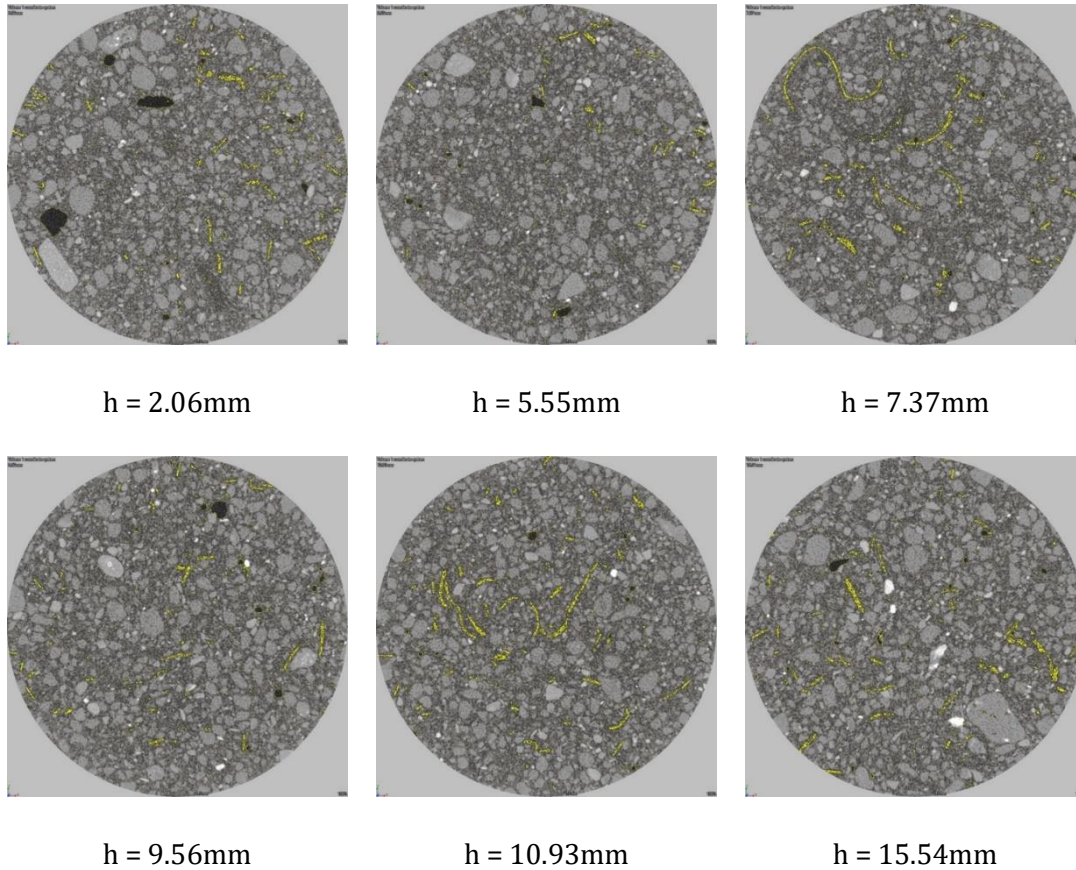
kekuatan dari spesimen. Selain itu, parameter kekakuan spesimen dengan dosis fibre berukuran 38-mm sebesar 0.1% memiliki nilai yang relative sebanding dengan campuran yang memiliki dosis fibre sebesar 0.5%. Hal ini terjadi karena pada dosis 0.5%, dapat terjadi fenomena *clumping*, dimana fibre terkumpul dan terpusat dalam satu titik yang menyebabkan mekanisme kerja fibre dalam aspal relative kurang optimum. Walau terlihat pula bahwa dosis fibre yang cukup besar dapat menurunkan resiko terhadap deformasi permanen yang cukup signifikan, tetapi nilai koefisien dari campuran dengan fibre ukuran 38-mm proporsi 0.1% w/t tidak berbeda jauh dengan campuran dengan fibre ukuran 19-mm proporsi 0.5% w/t.

Lebih jauh lagi, hasil pengujian tarik menggunakan beban siklik menunjukkan bahwa penambahan fibre pada campuran aspal mortar memberikan nilai resistensi terhadap deformasi permanen (*rutting*) yang lebih tinggi, seperti terlihat pada *creep coefficient* pada Gambar . Berdasarkan grafik tersebut, peningkatan dosis fibre yang digunakan akan meningkatkan nilai ketahanan campuran aspal hingga mencapai 45%. Akan tetapi, penggunaan dosis yang kurang tepat dan/atau penggunaan fibre berukuran 19-mm ternyata menimbulkan dampak yang negative terhadap hasil pengujian. Hal ini disebabkan oleh mekanisme ikatan yang terjadi pada interface fibre-matrix itu sendiri (Park, El-Tawil and Naaman 2017). Dalam pengujian campuran dengan dosis dan penggunaan fibre dengan panjang yang tepat, kapasitas fibre untuk menyalurkan beban secara merata menjadi lebih optimum, sehingga beban dapat ditransfer dari 1 fibre ke fibre lainnya tanpa menimbulkan kerusakan pada matriks. Selain itu, fungsi fibre sebagai material pengikat juga menjadi lebih maksimal karena adanya kontribusi dari beberapa fibre pada satu lokasi. Dengan penggunaan yang kurang tepat, fibre tersebut malah akan berpotensi menjadi material pelumasan yang menurunkan gaya gesek di dalam mortar matrix, sehingga menyebabkan keruntuhan dapat terjadi lebih cepat dari yang seharusnya.

Adapun mekanisme perkuatan yang diberikan oleh fibre yang dicampur dalam spesimen diilustrasikan pada Gambar . Pada gambar hasil CT-Scan sampel uji tarik tersebut terlihat jelas bahwa fibre tersebut menjadi material pengikat, dimana pada mode keruntuhan, fibre tersebut mengalami perpindahan dari lokasi semula. Hal tersebut mengindikasikan bahwa selama pembebanan berlangsung, fibre tersebut memikul beban yang ditransfer dari mortar matrix. Selain itu, fibre berfungsi untuk menahan agar keretakan pada spesimen tidak serta merta menimbulkan failure pada sampel, yakni dengan melalui mekanisme gaya interface (*interface bonding*) antara fibre dan mortar matrix. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengujian , dimana adanya *bonding length* antara fibre dan matrix menimbulkan adanya resistance terhadap pembebanan yang diberikan.



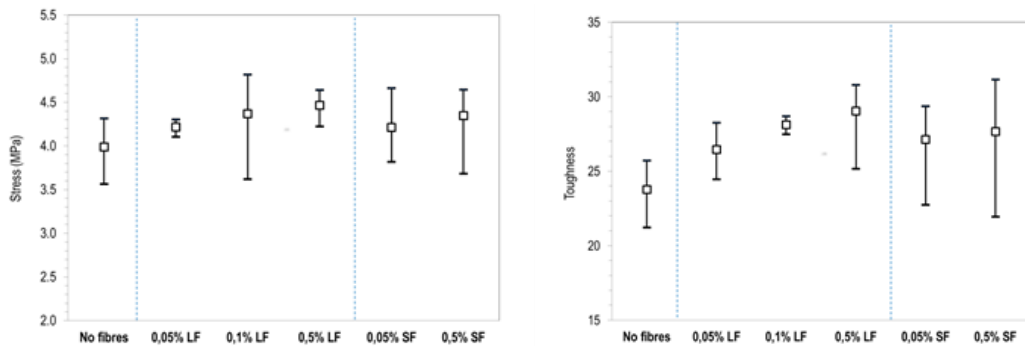
Gambar 10. (A) Mekanisme perkuatan fibre dalam campuran dilihat melalui CT-Scan sebelum pengujian dan (B) setelah pengujian



Gambar 11. CT-Scan Penampang Melintang Sampel uji Tarik Mortar

Gambar merupakan hasil CT-Scan yang menunjukkan distribusi fibre di seluruh bagian spesimen uji. Adanya distribusi yang tidak merata disebabkan oleh metode fabrikasi sampel yang sifatnya manual, dimana metode pencampuran serta pemadatan menggunakan metode manual. Selain itu, dalam perhitungan rencana pun dibuat dalam bentuk *batch*, dimana 1 *batch* campuran dapat dibuat menjadi 6 sampel. Hal-hal tersebut berpengaruh terhadap variasi nilai hasil pengujian serta lokasi keruntuhan sampel. Sekaligus, gambar ini dapat menunjukkan potensi fibre untuk terkonsentrasi pada lokasi tertentu, membentuk fenomena *clumping*.

Penelitian Pendukung – Semi Circular Bending



Gambar 8. Hasil Pengujian Semi-Circular Bending

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa penambahan fibre pada benda uji akan meningkatkan kekuatan sampel hingga 12.5% serta nilai energi yang dibutuhkan untuk mencapai keruntuhan hingga sebesar 17%. Hasil tersebut pun mendukung hasil pengujian sebelumnya, bahwa dosis 0.1% fibre dengan

panjang 38-mm memberikan hasil yang relative setara dengan campuran dengan dosis 0.5% . Seperti dijelaskan sebelumnya, ini terjadi karena pada dosis 0.5%, dapat terjadi fenomena *clumping*, dimana fibre terkumpul dan terpusat dalam satu titik yang menyebabkan mekanisme kerja fibre dalam aspal relative kurang optimum.

KESIMPULAN

Dari hasil tersebut dapat dilihat beberapa hal sebagai berikut. Pengujian standar yang dilakukan (ITT, triaxial dan 4-point bending test) berhasil memperlihatkan adanya peningkatan performa spesimen campuran aspal hangat dengan tambahan konten fibre aramid-polyolefin sebesar 0.05% dari berat campuran. Hanya saja, peningkatan yang dihasilkan tidak terlalu signifikan, kecuali dari segi ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*). Kemudian dari hasil pengujian kuat tarik pada suhu -5°C dapat disimpulkan bahwa penambahan fibre dengan kadar 0.1% dari berat spesimen menghasilkan kekakuan yang optimum. CT-Scan pada sampel mortar dapat menjelaskan hasil tersebut, bahwa adanya transfer beban antar fibre serta *interfacial bonding* antara fibre dan komponen lain pembentuk mortar akan meningkatkan kekuatan benda uji, tetapi dengan proporsi yang tidak tepat akan mengurangi kekuatan sampel karena sifatnya yang menjadi bahan lubrikasi. Hal tersebut juga dapat dilihat dari hasil pengujian *Semi-Circular Bending*, dimana penambahan fibre dengan dosis 0.1% memberikan hasil yang optimum dibandingkan dosis yang lain. Selain itu, terlihat juga bahwa efek perbedaan panjang fibre (38 dan 19 mm) berdampak pada hasil pengujian, dimana fibre dengan ukuran lebih panjang memberikan hasil yang lebih tinggi. Dapat disimpulkan bahwa untuk dosis penggunaan fibre aramid dan polyolefin disarankan pada level 0.1% dari total berat campuran, serta dengan menggunakan fibre yang berukuran lebih panjang untuk memperoleh kapasitas kerekatan yang optimum sehingga menghasilkan campuran aspal hangat dengan performa yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Apostolidis, P., X. Liu, C.G. Daniel, S.M.J.G. Erkens, och A. Scarpas. "Effect of Synthetic Fibres on Fracture Performance of Asphalt Mortar." *Road Materials and Pavement Design*, 2019.
- Bolzan, P.E., och G. Huber. *Direct Tension Test Experiments*. Austin: Strategic Highway Research Program, 1993.
- Cargill, Inc. "Cargill - Asphalt Warm Mix Additives." <https://www.cargill.com/bioindustrialanova/asphalt-warm-mix-additives>. u.d. <https://www.cargill.com/bioindustrialanova/asphalt-warm-mix-additives> (använd 8 2019).
- Chang, K. "Aramid Fibers." (Materials Park, OH: ASM International) 2001: 41-45.
- Chowdhury, Arif, och J.W. Button. *A review of warm mix asphalt*. Texas Transportation Institute. Texas A&M University System., 2008, 75.
- D'Angelo, John, och et al. *Warm-Mix Asphalt: European Practice*. Alexandria: US Federal Highway Administration, 2008.
- Erkens, S.M.J.G., och M.R. Poot. *The Uniaxial Tension Test - Asphalt Concrete Response (ACRe)*. Delft: Delft University of Technology, 2001.
- Grigoriu, A., och V. Blascu. "Polyolefin Fibers." i *Handbook of Polyolefins*, av Cornelia Vasile, 773-824. Marcel Dekker, Inc, 2000.
- Hutley, T.J., och M. Ouederni. "Polyolefins—The History and Economic Impact." i *Polyolefin Compounds and Materials - Fundamentals and Industrial Applications*, av M.A. AlMa'adeed, & I. Krupa, 13-50. Springer, Cham, 2016.
- Jassal, M, och S Ghosh. "Aramid fibres-An overview." *Indian Journal of Fibre and Textile Research* 27, nr 3 (2002): 290-306.
- Kaloush, K.E., W.A. Zeiada, K.P. Biligiri, M.C. Rodezno, och J. Reed. "Evaluation of Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests." *The First Pan American Geosynthetics Conference & Exhibition*. Cancun, 2008.

- Kringos, N., R. Khedoe, A. Scarpas, och A. de Bondt. "A New Asphalt Concrete Moisture Susceptibility Test Methodology." *Transportation Research Board 90th Annual Meeting*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2011.
- Mcdaniel, R.S. "Fiber Additives in Asphalt Mixtures." *NCHRP SYNTHESIS 475*, 2015.
- Molenaar, A.A.A., A. Scarpas, X. Liu, och S.M.J.G. Erkens. "Semi-Circular Bending Test: Simple But Useful?" *Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions*. 2002.
- Molenaar, J.M.M., X. Liu, och A.A.A. Molenaar. "RESISTANCE TO CRACK-GROWTH AND FRACTURE OF ASPHALT MIXTURE." *6th RILEM Symposium PTEBM'03*. Zurich, 2003.
- Park, P., S. El-Tawil, och A.E. Naaman. "Pull-out behavior of straight steel fibers from asphalt binder." *Construction and Building Materials* 144 (2017): 125 - 137.
- Prowell, B.D., G.C. Hurley, och B. Frank. "Warm-Mix Asphalt: Best Practices." *Quality Improvement Publication 125, 3rd Edition*, 2012.
- Stempihar, J.J., M.I. Souliman, och K.E. Kaloush. "Fiber-Reinforced Asphalt Concrete as Sustainable Paving Material for Airfields." *Journal of the Transportation Research Board* (Transportation Research Board of the National Academies), nr 2266 (2012): 60-68.
- Van Der Zwaag, S. *Structure and properties of aramid fibres*. Vol. 1, i *Handbook of Textile Fibre Structure - Fundamentals and Manufactured Polymer Fibres*, av S.J. Eichhorn, J.W.S. Hearle, M. Jaffe, & T. Kikutani, 394-412. Woodhead Publishing Limited, 2009.
- Zaumanis, Martins. *Asphalt is Going Green: Overview of Warm Mix Asphalt technologies and research results from all over the world*. Berlin: Lambert Academic Publising, 2011.

STUDI PEMANFAATAN ABU JERAMI, ABU TERBANG DAN TANAH LATERIT SEBAGAI MATERIAL GEOPOLYMER

Parea Rusan Rangan¹, Rita Irmawaty², A. Arwin Amiruddin³ dan Bambang Bakri⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: pareausanrangan68@gmail.com

²Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: rita_irmaway@yahoo.com

³ Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: a.arwinamiruddin@yahoo.com

⁴ Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: bambangbakri@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu jenis material untuk menghasilkan geopolimer adalah abu terbang. Abu terbang adalah salah satu hasil produk sisa pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik mekanik material geopolimer yang menggunakan abu jerami, abu terbang dan tanah laterit sebagai material. Penelitian ini berupa uji eksperimental di laboratorium. Material geopolimer diproduksi menggunakan abu jerami, abu terbang dan tanah laterit dengan persentase rasio 16,67 : 41,67 : 41,67 yang diaktifkan dengan alkaline activator (NaOH). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium. Material geopolimer diproduksi dengan menggunakan abu jerami, abu terbang dan tanah laterit. Selanjutnya dilakukan pengkajian dan pengujian kuat tekan (*compressive strength*), kuat tarik belah (*indirect tensile strength*), penyerapan air (*sorptivity*) dan komposisi kimia (XRF dan XRD) untuk mengevaluasi beton geopolimer yang dihasilkan. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah abu jerami dapat digunakan sebagai material geopolimer, dan menjadi salah satu alternatif pemilihan material geopolimer abu terbang, serta memberikan gambaran hubungan kekuatan geopolimer abu terbang berbahan abu jerami dan tanah laterit dengan variasi molaritas dan lama curing benda uji.

Kata kunci: abu jerami, abu terbang, tanah laterit

PENDAHULUAN

Sekarang ini terdapat banyak pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batubara. Hasil sampingan dari pembakaran batu bara berupa abu terbang yang tergolong sebagai material polusi (*pollutant*). Di Indonesia, untuk mengurangi limbah maka sejumlah pabrik semen mencampur abu terbang dan limbah yang mengandung pozzolan dengan klinker semen portland untuk menghasilkan Semen Portland Komposit (SNI 15-7064-2004) dengan tujuan menurunkan konsumsi energi dan mengurangi penggunaan sumber alam tidak terbarukan (Antiohos, 2005). Semen Portland Komposit dapat dikategorikan sebagai CEM II menurut standar Eropa EN 197-1:2000, di Indonesia baru diproduksi pada tahun 2005, namun di Eropa pangsa pasar semen kategori CEM II telah lebih 50%, lebih besar dari Semen Portland Jenis 1 yang hanya sekitar 35% (Tjaronge, 2012).

Namun dalam proses produksi semen terjadi pelepasan karbon dioksida (CO₂) dengan jumlah besar ke atmosfer yang dapat merusak lingkungan. Untuk mengurangi emisi karbon dioksida dari industri semen maka perlu dicari material lain sebagai bahan pengganti semen. Geopolymer fly ash adalah salah satu alternatif pengganti semen yang dapat mempunyai fungsi yang sama seperti semen (American Coal Ash Association, 2014). Beberapa penelitian telah menggunakan Geopolymer fly ash sebagai pengikat material, baik pada mortar maupun pada beton. Mortar dan beton yang dibuat dengan geopolymer fly ash memiliki karakteristik fisik menyerupai mortar dan beton yang berbahan semen.

Fly ash adalah hasil buangan dari PLTU. Fly ash ini dapat menjadi salah satu bahan geopolymer dengan penambahan alkaline aktivator. Hal ini dimungkinkan karena fly ash kaya akan Silika (Si) dan Alumina (Al). Silika dan Alumina yang terkandung dalam fly ash ini, dapat bereaksi dengan cairan alkalin dalam menghasilkan bahan pengikat (binder). Cairan alkalin yang digunakan untuk mengaktifkan Si dan Al yang terdapat dalam fly ash adalah Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dan Natrium Hidroksida (NaOH). Natrium Silikat dan Natrium Hidroksida adalah zat yang digunakan sebagai alkaline aktivator (Hardjito Djuwanto, dkk, 2004). Natrium Silikat mempunyai fungsi mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan Natrium Hidroksida berfungsi mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam fly ash. Dengan rasio tertentu, alkaline aktivator Na_2SiO_3 dan NaOH dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Ikatan polimer yang terbentuk akan memberikan kekuatan pada mortar atau pada beton. Semakin kuat ikatan polimer yang terbentuk maka akan semakin besar pula memberi kekuatan. Karena ikatan polimer ini diberikan Sehingga rasio Na_2SiO_3 dan NaOH ini, menjadi salah satu faktor yang memberi kekuatan pada mortar dan beton yang menggunakan geopolymer fly ash sebagai pengikat. Dalam penelitian ini hanya digunakan satu jenis alkaline aktivator yaitu NaOH.

Sebagian besar lapisan permukaan di wilayah Papua dan Kalimantan merupakan Tanah Laterit. Ketika kering tanah laterit akan kering namun ketika mengandung air dalam jumlah besar tanah laterit menjadi lembur. Saat ini pemanfaatan material-material buangan semakin digalakkan untuk menjadi bahan baku pembuatan beton. Salah satu yang dapat dimanfaatkan adalah abu jerami padi. Wangsa, F. A., 2017 menggunakan tanah laterit sebagai material geopolimer dengan komposisi sebanyak 900 gram yang dicampur dengan abu terbang sebanyak 600 gram dan diaktifkan dengan NaOH dan Na_2SiO_3 sebagai alkaline activator menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 4,11 MPa pada umur 7 hari. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menggunakan abu jerami sebagai salah satu bahan pembuatan beton geopolymer.

Matakah F., 2016 mempelajari beton geopolymer dengan komposisi pengikat yang bekerja dengan baik dalam pekerjaan eksperimental terdiri dari abu jerami panas: abu terbang batubara: metakaolin: gips di 0,50: 0,25: 0,25: 0,05 rasio berat. Beton berbasis abu jerami serta semen portland sebagai kontrol menjadi sasaran penyelidikan eksperimental yang komprehensif. Kemampuan kerja, waktu pengerjaan, kuat tekan, kekuatan tekan residual setelah direndam dalam air mendidih, kekuatan lentur, kepadatan, penyerapan kelembaban, kandungan rongga, daya serap kapiler, dan ketahanan asam dan api dari bahan beton dievaluasi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa material beton geopolimer berbasis abu non kayu dengan formulasi binder yang tepat dapat memberikan atribut mekanis yang diinginkan, kesetaraan kelembaban, daya tahan, dan tahan api bila dibandingkan dengan beton semen portland normal.

Detphan & Chindaprasirt, 2009 melaporkan bahwa fly ash (FA) dan abu sekam padi (RHA) digunakan sebagai bahan pembuatan geopolymer. Suhu pembakaran sekam padi, kehalusan RHA dan rasio FA ke RHA divariasikan. Kepadatan dan kekuatan mortar geopolimer dengan rasio massa RHA/FA yaitu 0/100, 20/80, 40/60, dan 60/40. Geopolymer diaktifkan dengan natrium hidroksida (NaOH), natrium silikat, dan panas. Terungkap bahwa suhu pembakaran optimal RHA untuk membuat geopolymer FA-RHA adalah 690°C. FA yang diterima dan RHA dengan 1% -5% tertahan pada ayakan No. 325 adalah bahan sumber yang cocok untuk membuat geopolymer dan diperoleh kekuatan tekan antara 12,5-56,0 MPa dan tergantung pada rasio FA/RHA, kehalusan RHA, dan rasio natrium silikat dengan NaOH. Mortar geopolymer FA-RHA yang relative tinggi diperoleh dengan menggunakan rasio massa natrium silikat/NaOH yaitu 4,0, dengan waktu sebelum sampel dipanaskan dalam oven selama 1 jam dan selanjutnya dioven pada 60°C selama 48 jam. Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton geopolymer berbahan abu jerami, fly ash dan tanah laterit.
2. Menganalisis korelasi antara konsentrasi Molaritas aktivator abu terbang yang menggunakan abu jerami dan tanah laterit terhadap kekuatan beton geopolymer.
3. Menganalisis pengaruh variasi curing pada penggunaan abu terbang yang menggunakan abu jerami dan tanah laterit terhadap kekuatan beton geopolymer.

(M), atau konsentrasi molar. Molaritas adalah jumlah mol terlarut setiap liter larutan. Atau biasa diungkapkan dengan rumus : Molaritas = Jumlah mol terlarut/volume larutan dalam air. Rumus molaritas dapat dilihat pada persamaan 2, persamaan 3 dan persamaan 4.

$$Molaritas = \frac{Jumlah\ mol\ terlarut}{Volume\ larutan\ dalam\ air} \quad (2)$$

jika yang diketahui bukan mol melainkan gram zat terlarut, rumus bisa juga dengan :

$$M = \frac{gram\ (terlarut)}{Mr} \times \frac{1000}{mL\ (larutan)} \quad (3)$$

jika yang diketahui massa jenis larutan dan kadar/persen massa (%), maka molaritas dapat dicari dengan rumus :

$$M = \frac{mol\ zat\ terlarut}{volume} = \frac{gram \cdot 1000}{Mr \cdot Volume} = \frac{\% \cdot \rho \cdot 10}{Volume} \quad (4)$$

Keterangan :

- M = Molaritas (konsentrasi)
- Mr = Massa Molekul Relatif
- ρ = Massa jenis

Penelitian menunjukkan alkali aktivator berupa *sodium silicate* (Na_2SiO_3) atau *sodium silicate* dengan *sodium hydroxide* (NaOH) memberikan kekuatan yang baik pada abu terbang geopolymer. Campuran antara Na_2SiO_3 dan NaOH digunakan pada penelitian ini karena telah sering digunakan oleh para peneliti sebelumnya dan memberikan hasil yang memuaskan. Untuk benda uji abu terbang geopolymer, menurut beberapa peneliti konsentrasi aktivator yang digunakan (terhadap molaritas NaOH) merupakan parameter utama dan parameter yang sangat penting pada pembuatan beton geopolymer berbahan tanah laterit, abu jerami dan abu terbang (Hardjito & Rangan, 2005; Weng & Sagoe-Crentsil, 2007).

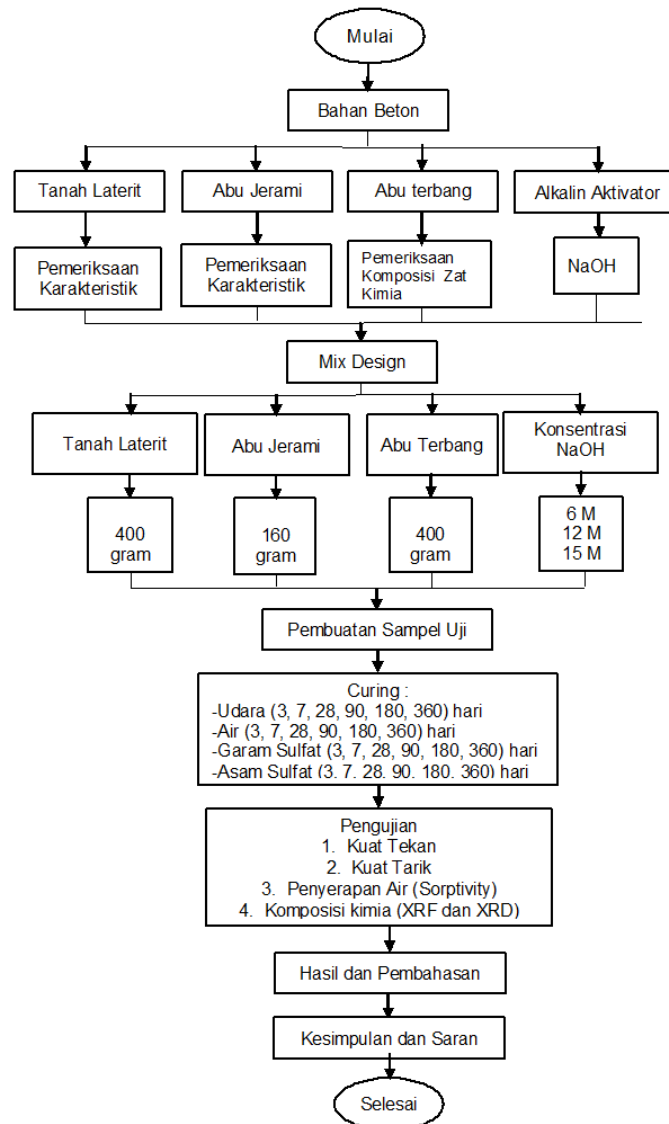
METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini rencana di dilaksanakan di Laboratorium riset Eco Material Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin. Penelitian ini rencana dilaksanakan selama 6 bulan dimulai dari bulan Maret 2019 sampai dengan September 2019.

Bagan Alir Penelitian

Untuk memudahkan penelitian yang akan dilakukan, maka perlu direncanakan tahapan–tahapan yang akan menjadi pedoman dan arahan bagi penelitian ini, tahapan–tahapan proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

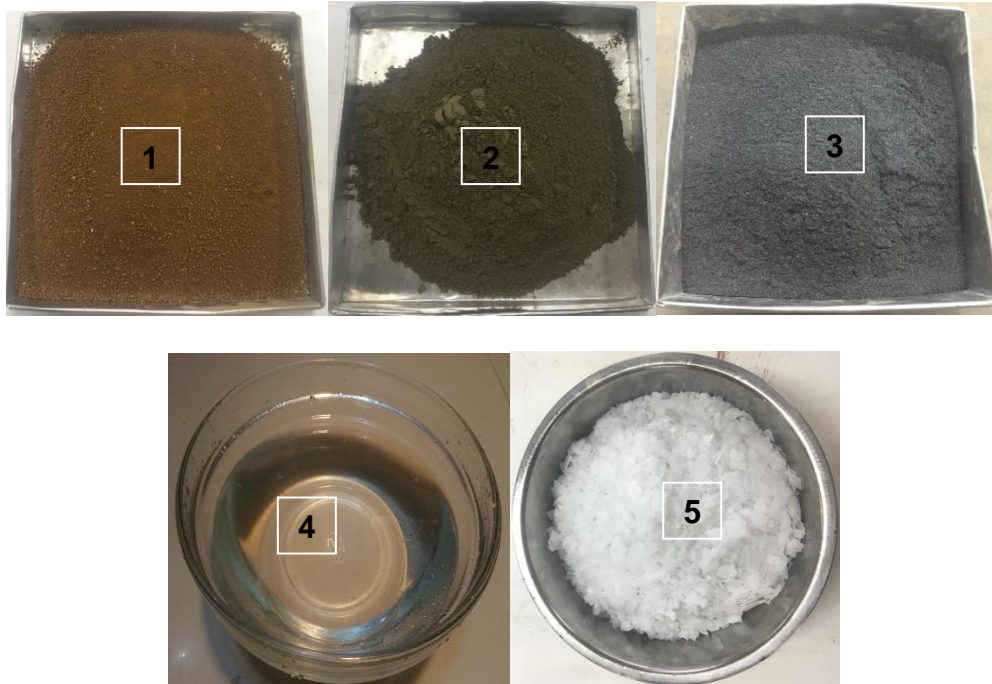
Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa komposisi campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu jerami sebanyak 160 gram, abu terbang sebanyak 400 gram dan tanah laterit sebanyak 400 gram. Komposisi ini merupakan komposisi optimal yang diperoleh dari serangkaian uji coba campuran awal.

Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan atau material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Tanah laterit diambil dari sekitar kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang terletak di Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Abu terbang diperoleh dari hasil buangan PLTU di Kabupaten Jeneponto Desa Punagayya Kecamatan Bangkala, Provinsi Sulawesi Selatan.
3. Abu Jerami diperoleh dari hasil buangan limbah pemotongan padi yang ada di Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan dan telah mengalami proses pembakaran pada suhu ± 500 derajat Celcius.
4. Air yang digunakan berasal dari PDAM Makassar.
5. Alkalin Aktivator adalah Natrium Hidroksida (NaOH) diperoleh dari salah satu distributor di Makassar.

Gambar 2 memperlihatkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2. Bahan-bahan penelitian

Rancangan Uji

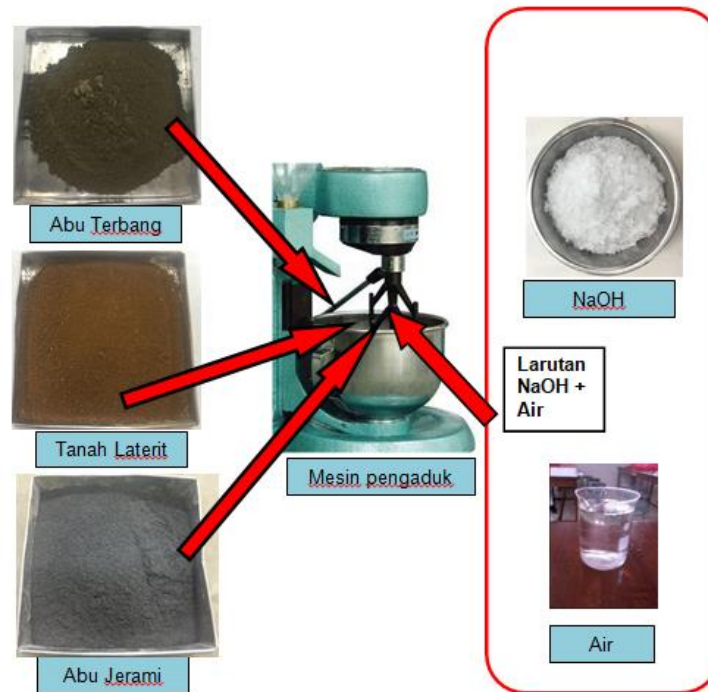
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium. Beton geopolymer diproduksi dengan menggunakan tanah laterit, abu jerami dan abu terbang yang sumber pengambilannya dari Provinsi Sulawesi Selatan beserta dengan alkalin activator yang digunakan. Kemudian dilakukan pengkajian dan pengujian kuat tekan (*compressive strength*), pengujian kuat tarik belah (*indirect tensile strength*), penyerapan air (*sorptivity*) dan komposisi kimia (XRF dan XRD).

Pembuatan Benda Uji

Penelitian ini dirancang untuk mengetahui pengaruh umur pada beton geopolymer dengan cetakan silinder berukuran 5 x 10 cm. Gambar 3 memperlihatkan proses pencampuran material untuk membuat beton geopolymer. Metode pencampuran yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Menyiapkan Material dengan komposisi yang sudah di tentukan;
2. Abu terbang dan abu jerami dimasukkan ke dalam mangkuk mixer;
3. Mengaduk abu terbang dan abu jerami menggunakan mixer dengan kecepatan rendah (*slow speed*) selama 60 detik kemudian matikan mesin mixer, mengaduk manual campuran hingga tercampur rata;
4. Mengaduk campuran abu terbang dan abu jerami dengan menggunakan mixer sambil memasukkan alkali aktivator (NaOH) yang sebelumnya telah dilarutkan dalam air, mix selama 1 menit dengan kecepatan rendah (*slow speed*). Kemudian matikan mesin mixer;
5. Mengaduk manual campuran sampai merata. Setelah itu, mengaduk campuran menggunakan mixer dengan kecepatan tinggi (*high speed*) selama 1 menit;
6. Hasil campuran dicetak ke dalam cetakan sebanyak 3 layer, masing-masing 25 kali tumbukan per layer menggunakan sambil ditumbuk penumbuk slump flow;
7. Mendiamkan campuran selama 24 jam agar campuran dapat memadat di dalam cetakan;
8. Mengeluarkan benda uji dari cetakan, kemudian curing benda uji selama 3, 7, 28, 90, 180 dan 360 hari dalam kondisi curing udara dan curing air.

9. Untuk mengevaluasi campuran yang dihasilkan selanjutnya adalah variasi curing yaitu di rendam pada larutan garam sulfat (Na_2SiO_3) dan asam sulfat (H_2SO_4) sesuai dengan waktu curing yang telah ditetapkan yaitu 3, 7, 28, 90, 180 dan 360 hari.
10. Selain itu, dilakukan pula pengujian penyerapan air (*sorptivity*) terhadap beton geopolymer yang dihasilkan.



Gambar 3. Pencampuran material geopolymer

HASIL YANG DIHARAPKAN

Berdasarkan uraian singkat di atas, hasil yang diharapkan dalam penelitian antara lain :

- a) Penggunaan abu jerami dapat digunakan sebagai material geopolimer.
- b) Abu jerami dapat menjadi salah satu alternatif pemilihan material geopolymer abu terbang.
- c) Memberikan gambaran hubungan kekuatan material geopolymer abu terbang berbahan abu jerami dan tanah laterit dengan variasi molaritas dan lama curing benda uji.

RENCANA KERJA SELANJUTNYA

- a. Pembuatan Mix Design material geopolimer dengan variasi molaritas dan lama curing benda uji
- b. Menguji kuat tekan dan kuat Tarik belah sampel benda uji yang dibuat.
- c. Menguji penyerapan air (Sorptivity) serta komposisi kimianya.

DAFTAR PUSTAKA

- American Coal Ash Association. 2014. CCP Production and Use Survei. <https://www.aaa-usa.org/Portals/9/Files/PDFs/2014-Production-and-Use-Survey-Presentation.pdf>.
- Antiohos S., Maganari K., & Tsimas S. (2005). Evaluation of blends of high and low calcium fly ashes for use as supplementary cementing materials. *Cement dan Concrete Composites* : 349-356.
- Badan Standardisasi Nasional. SNI 15-7064-2004. Semen Portland Komposit.
- Davidovits, J. 2002. Environmentally Driven Geopolymer Cement Applications. *Proceeding At The Geopolymer 2002 Conference, Melbourne, Australia.*

- Davidovits. (1997). "Geopolymer Properties And Chemistry". 1st European Conference on Soft Minerallurgy, Geopolymer, Compiègne, France, 1(1), pp. 25–48, 1998.
- Detphan S & Chindaprasirt. 2009. Preparation of Fly Ash and Rice Husk Ash Geopolymer. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. Volume 16, Number 6, December 2009.
- Hardjito Djuwantoro, dkk. (2004). "On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete". ACI Materials Journal.
- Hardjito, D dan B. V. Rangan. 2005. Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. Curtin University Technology : Perth, Australia.
- Hardjito, D dan B. V. Rangan. 2005. Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. Curtin University Technology : Perth, Australia.
- Law dkk. (2014). "Long Term Durability Properties of Class F Fly Ash Geopolymer Concrete". Department of Civil Engineering, Tadulako University, Palu, Indonesia.
- Matakah F. et al. 2016. Characterization of Alkali-Activated Nonwood Biomass Ash-Based Geopolymer Concrete. American Society of Civil Engineers.
- Pan dkk. (2009). "An Investigation of The Mechanism for Strength Gain or Loss of Geopolymer Mortar After Exposure to Elevated Temperature". Curtin University Technology, Perth, WA, Australia.
- Rattanasak dan Chindaprasirt. (2009). "Influence of NaOH Solution on The Synthesis of Fly Ash Geopolymer". Minerals Engineering 22, 1073–1078.
- Rosello J. et al. 2017. Rice straw ash : A Potential Pozzolanic Supplementary Material for Cementing Systems. Industrial Crops and Products 103 (39 – 50).
- Sarker dan Mcbeath. (2015). Fire endurance of steel reinforced fly ash geopolymer concrete elements. Construction and Building Materials 90, 91–98.
- Sarker, Prabir Kumar. 2011. Bond Strength of Reinforcing Steel Embedded in Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. Materials and Structures 44 : 1021-1030.
- Tjaronge M. W. (2012). Teknologi Bahan Lanjut – Semen dan Beton Berongga. CV. Telaga Zamzam. Makassar.
- Wangsa F. A., Tjaronge, M. W., Djamaluddin A. R. dan Muhiddin A. B. Effect of hydrated lime on compressive strength mortar of fly ash laterite soil geopolymer mortar. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 271 (2017) 012068.
- Weng dan Sagoe-Crentsil. (2007). "Dissolution Processes, Hydrolisis, and Condensation Reactions During Geopolymer Synthesis: Part I-Low Si/Al Ratio Systems". Journal of Material Science, vol. 42, pp. 2997-3006.

MATERIAL KONSTRUKSI DINDING YANG TERBUAT DARI PENGEMBANGAN KOMPOSIT PLASTIK DAN SERAT KENAF SERTA SERAT GLASS

Mardiana Amir¹, Rita Irmawaty², Muralia Hustim³ dan Irwan Ridwan Rahim⁴

¹Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: lmardiana.amir@poliupg.ac.id

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Email: rita_irmaway@yahoo.com

³Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: muraliahustim@yahoo.com

⁴Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Email: irwanrr@yahoo.com

ABSTRAK

Peningkatan jumlah limbah plastik dari tahun ketahun tak terhindarkan lagi diakibatkan peningkatan penggunaan plastik oleh masyarakat di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan suatu produk teknik yang baru berupa dinding aplikasi material konstruksi untuk alternatif selain jenis tripleks, *gypsum* ataupun asbes. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah eksperimental laboratorium. Bahan komposit yang akan dibuat adalah campuran plastik, serat kenaf dengan serat *glass* dengan penguatan poliester. Baik serat kenaf maupun serat *glass* terbuat dalam bentuk lembaran. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan temuan baru di bidang rekayasa material konstruksi khususnya teknologi material konstruksi ramah lingkungan dan merupakan salah satu kearifan lokal. Nilai kebaruan dapat diberikan dari hasil penelitian ini akan ditemukan produk material konstruksi dari hybrid plastik, serat kenaf dan *glass* yang ramah lingkungan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi produk yang dapat diproduksi secara massal dalam suatu industri produk material konstruksi khususnya bahan dinding.

Kata kunci: serat kenaf, limbah plastik, serat *glass*

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah limbah plastik dari tahun ketahun tak terhindarkan lagi diakibatkan peningkatan penggunaan plastik oleh masyarakat di Indonesia. Direktur Pengelolaan Sampah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Novrizal Tahar mengungkapkan, dalam kurun waktu 2002-2016, terjadi peningkatan komposisi sampah plastik dari 11 persen menjadi 16 persen. Kondisi demikian pastinya akan menimbulkan kekhawatiran terhadap keberlangsungan lingkungan di masa depan.

Daur Ulang sampah selalu menjadi bahan perbincangan dalam penanganan masalah sampah plastik, khususnya di Indonesia. Namun yang menjadi persoalan adalah dampak negatif sampah plastik ternyata sebesar fungsinya juga. Dibutuhkan waktu 1000 tahun agar plastik dapat terurai oleh tanah secara terdekomposisi atau terurai dengan sempurna. Ini adalah sebuah waktu yang sangat lama. Saat terurai, partikel-partikel plastik akan mencemari tanah dan air tanah. Jika dibakar, sampah plastik akan menghasilkan asap beracun yang berbahaya bagi kesehatan yaitu jika proses pembakarannya tidak sempurna, plastik akan mengurai di udara sebagai dioksin. Oleh karena itu, penggunaan bahan plastik dapat dikatakan tidak bersahabat ataupun konservatif bagi lingkungan apabila digunakan tanpa menggunakan batasan tertentu. Sedangkan di dalam kehidupan sehari-hari, khususnya di Indonesia, penggunaan bahan plastik bisa ditemukan di hampir seluruh aktivitas kehidupan.

Padahal apabila memiliki kesadaran akan bahaya limbah plastik, akan mampu berbuat lebih untuk hal ini yaitu dengan menggunakan kembali (*reuse*) terhadap limbah plastik. Dengan demikian

secara tidak langsung telah mengurangi limbah plastik yang dapat terbuang percuma setelah digunakan (*reduce*). Atau bahkan lebih bagus lagi jika dapat mendaur ulang plastik menjadi sesuatu yang lebih berguna (*recycle*).

Peningkatan penelitian yang menggunakan limbah plastik sebagai bahan material konstruksi saat ini giat dilakukan. Sebagai contoh penggunaan limbah plastik sebagai material dinding, plafond dan konstruksi jalan. Khusus penelitian mengenai material plafond, telah banyak dihasilkan sebagai material komposit antara lain, Komposit dari Polypropylene (PP) yang diperkuat dengan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (Nora Azheera, 2011). Sejalan dengan hal tersebut penelitian penggunaan komposit dengan menggunakan serat alam yang dapat dibudidayakan semakin meningkat karena lingkungan konsumen sadar untuk melestarikan alam (Harera-Franco Jp, dkk, 2005). Dalam aplikasinya serat alami dicampur dengan serat sintetis yang merupakan buatan manusia (Atiqah, dkk, 2005). Pemilihan limbah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan dasar pada penelitian ini selain karena dapat diperoleh dengan mudah, bahan ini juga dapat meleleh pada temperatur 100 °C – 180 °C serta memiliki kelebihan dapat merekat dengan kuat apabila telah menyatu dengan bahan lainnya.

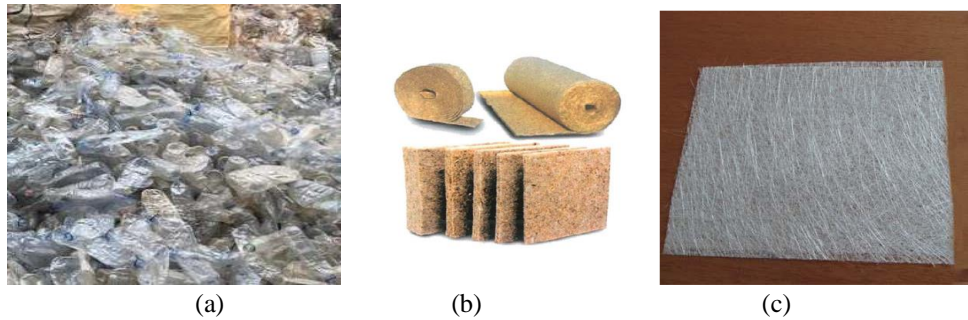
Komposit campuran telah terbukti menciptakan keseimbangan efek dalam serat tergabung dalam material komposit. Kombinasi bahan serat alami yang terbarukan dan sintetis muncul menjadi bahan struktural yang luar biasa dan berlimpah untuk penggantian serat tidak terbarukan seperti serat sintetis yang harganya mahal (Silva RVD dkk, 2008). Kekuatan serat alami biasanya sangat terbatas dan untuk meningkatkannya dilakukan dengan menggunakan teknik modifikasi kimia (Kabir MM dkk, 2012).

Penelitian pada komposit campuran atau hibridisasi dari serat alami dengan serat alami, serat sintetis dengan serat alami dan serat sintetis dengan serat sintetis dalam matriks tunggal telah dilakukan (Mishra S dkk, 2003). Penggunaan lignoselulosa baik dalam bidang pertanian ataupun lebih sebagai pengisi dan penguat dalam komposit hibrida telah menunjukkan sesuatu efek yang menjanjikan pada peningkatan sifat mekanik komposit (Harnnecker F dkk, 2012)

Dalam penelitian sebelumnya material komposit campuran antara serat kenaf dan serat gelas (*glass*) ditemukan untuk penggunaan bangunan sipil yaitu untuk plafon rumah. Bahan tersebut direkomendasikan sebagai bahan yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan plafon rumah karena sifat mekaniknya lebih baik dari jenis plafon yang biasa digunakan seperti tripleks, kalsiboard, ataupun gypsum. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, menimbulkan pemikiran alternatif penggunaannya untuk material konstruksi lainnya.

Semakin mahalnya bahan baku dari bahan-bahan atau material konstruksi misalnya untuk penggunaan dinding bangunan seperti gypsum, tripleks dan asbes mendorong produsen untuk mencari bahan lain yang lebih murah dan dari segi kekuatan fisik dan mekanik lebih baik. Selain itu material yang digunakan untuk membangun haruslah diperoleh dari alam, merupakan sumber energi terbarukan yang dikelola secara berkelanjutan, atau bahan bangunan yang didapat secara lokal untuk mengurangi biaya transportasi.

Daya tahan material bangunan yang layak sebaiknya tetap teruji, namun tetap mengandung unsur bahan daur ulang, mengurangi produksi sampah, dan dapat digunakan kembali atau didaur ulang. Saat ini jenis tripleks, gypsum ataupun asbes semakin tipis sehingga kekuatan fisik dan mekaniknya juga semakin berkurang. Salah satu penyebabnya oleh karena terbatasnya bahan baku sehingga harga menjadi mahal. Untuk menyiasati agar masyarakat bisa menjangkau harga produk bahan /material tersebut, dibuatlah oleh produsen menjadi lebih tipis. Gambar 1 memperlihatkan material yang sering digunakan sebagai komposit.



Gambar 1. (a) Limbah plastik PET (<https://www.beritasatu.com>)
(b) Lembaran kenaf (Ahmad dkk,2017) dan
(c) Serat glass (<http://aeroengineering.co.id>)

Untuk itu perlu dibuat suatu produk alternatif bahan material konstruksi dinding seperti komposit campuran plastik, serat kenaf dengan gelas yang diperkuat polyester. Bahan serat kenaf dan gelas selain lebih mudah didapat dan dari segi kekuatan fisik dan mekanik lebih unggul dari beberapa bahan serat lain. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa serat kenaf dan gelas merupakan serat yang sangat baik untuk dijadikan sebagai suatu produk terapan (Ahmad dkk,2017). Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengevaluasi karakteristik dari komposit variasi campuran hybrid antara serat alami kenaf dengan serat gelas aplikasi material konstruksi dinding.
2. Mengevaluasi perilaku mekanis dan struktur dari komposit variasi campuran hybrid antara serat alami kenaf dengan serat gelas aplikasi material konstruksi dinding.
3. Menemukan suatu produk teknik yang baru berupa material dinding aplikasi material konstruksi dinding untuk alternatif selain jenis tripleks, *gypsum* ataupun asbes.

TINJAUAN PUSTAKA

Plastik

Plastik adalah senyawa polimer alkena dengan bentuk molekul sangat besar. Istilah plastik, menurut pengertian kimia, mencakup produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik. Molekul plastik terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terdiri dari zat lain untuk meningkatkan performa atau nilai ekonominya. Plastik adalah senyawa polimer alkena dengan bentuk molekul sangat besar. Istilah plastik, menurut pengertian kimia, mencakup produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik. Molekul plastik terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terdiri dari zat lain untuk meningkatkan performa atau nilai ekonominya. Secara alamiah, terdapat beberapa polimer (pengulangan tidak terhingga dari monomer-monomer) yang digolongkan ke dalam kategori plastik. Secara fisik, plastik bisa dibentuk atau dicetak menjadi lembar film atau serat sintetik, yang disebabkan karena plastik juga bersifat "malleable" alias memiliki sifat bisa dibentuk atau ditempa. Dalam proses industri dan pabrikan, plastik dibuat dalam jenis yang sangat banyak. Sifat-sifat bisa menerima tekanan, panas, keras juga lentur, dan bisa digabung dengan partikel lain semisal karet, metal, dan keramik. Sehingga wajar jika plastik bisa dipergunakan secara massal untuk banyak sekali keperluan.

Jenis plastik yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*), tanda ini biasanya tertera logo daur ulang dengan angka 1 di tengahnya serta tulisan PETE atau PET (*Polyethylene Terephthalate*) di bawah segitiga. Biasa dipakai untuk botol plastik berwarna jernih, tembus pandang/transparan seperti botol air mineral, botol minuman, botol jus, botol minyak goreng, botol kecap, botol sambal, dan hampir semua botol minuman lainnya. Untuk pertekstil, PET digunakan untuk bahan serat sintesis atau lebih dikenal dengan polyester PETE/PET direkomendasikan hanya untuk sekali pakai. Penggunaan berulang kali terutama pada

kondisi panas dapat menyebabkan melelehnya lapisan polimer dan keluarnya zat karsinogenik dari bahan plastik tersebut, sehingga dapat menyebabkan kanker untuk penggunaan jangka panjang.

Serat Komposit

Komposit serat banyak digunakan karena ringan, ketahanan kimia dan kekakuan spesifik yang tinggi, dan harga yang murah. Dibandingkan dengan logam, komposit serat digunakan secara meluas dan banyak diberbagai bidang aplikasi seperti perkapalan, otomotif, aeronatika, peralatan olah raga, struktur sipil, dan lain- lain.

Beberapa penelitian telah dilakukan terhadap bahan komposit yang berhubungan dengan produk perkapalan (Afshar dkk, 2015), penelitian yang berhubungan dengan produk automotif (Sapuan dkk, 2014), penelitian yang berhubungan dengan produk aeronatika (C. Santiuste dkk, 2010), penelitian yang berhubungan dengan peralatan olah raga (Vicki P, 2000), penelitian yang berhubungan dengan produk struktur sipil (Balogun dkk, 2008). Penelitian yang berhubungan dengan produk peralatan tentara (Mathijsen, 2015) dan lain-lainnya. Secara spesifik lagi, komposit juga diteliti berhubungan dengan ketebalan dan orientasi lapisan dalam penggunaan pada sesuatu produk (Hoffmann dkk, 2015). Dalam beberapa penelitian yang telah dilaksanakan, komposit serat gelas dicampur dengan serat alami dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat teknik. Sebelumnya telah diketahui bahwa banyak kelebihan serat alami dibandingkan dengan serat kaca dan karbon buatan manusia yaitu resiko kesehatan kurang, harga rendah, kepadatan yang rendah sebanding dengan sifat tegangan tertentu, bebas abrasif pada peralatan, tidak terjadi iritasi pada kulit, dapat didaur ulang dan ramah lingkungan (Malkapuram dkk, 2008). Dari alasan itu pula serat alami digabungkan dengan serat gelas dalam bentuk komposit.

Adapun hasil yang diperoleh dari penelitian komposit campuran serat alami dengan serat gelas tersebut adalah meningkatkan kekuatan tarik, lentur dan kekuatan mekanik bahan (Mishra dkk, 2003) dan dengan meletakkan lapisan serat gelas di bagian ujung mampu meningkatkan kekuatan mekanikal yang baik (Ahmad dkk, 2015). Sifat-sifat tegangan komposit serat campuran (*hibryd*) kelapa sawit dengan serat gelas mampu meningkat dengan signifikan kekuatan mekaniknya (Jawaid dkk, 2011).

Pertimbangan sehingga dalam komposit serat alami dicampur dengan serat gelas, oleh karena sifat kekuatan komposit serat alami agak rendah namun tidak rapuh. Sehingga ketika dicampurkan antara keduanya dapat saling menguatkan. Suatu contoh, dengan menambahkan serat sisal dalam komposit dapat meningkatkan sifat tahan suhu tinggi dan mengurangi resapan air (Jarukumjorn dkk, 2009). Begitu pula campuran serta rami dan gelas diperkuat polyester dapat meningkatkan kekuatan lentur dan tidak mudah menyerap pada komposit (Panthapulakkal dkk, 2007).

Tabel 1. Sifat-sifat mekanik beberapa serat alami dan sintesis (Mahjoub dkk, 2014)

Fibre	Density (gr/cm ³)	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Elongation at break (%)
Jute	1,30	393 – 773	26,5	1,5 – 1,8
Sisal	1,50	511 – 635	9,4 – 22	2,0 – 2,5
Flax	1,50	500 – 1500	27,6	2,7 – 3,2
Hemp	1,47	690	70	2,0 – 4,0
Pineapple	1,56	170 – 1627	60 – 82	2,4
Cotton	1,50 – 1,60	400	5,5 – 12	7,0 – 8,0
Kenaf	1,45	930	53	1,6
E-glass	2,55	3400	71	3,4
Carbon	1,40	4000	230 - 240	1,4 – 1,8

Suatu kajian yang sangat mendukung dalam penelitian terapan ini adalah Pengembangan komposit campuran (*hibryd*) serat kenaf dan gelas yang diperkuat poliester tak jenuh untuk aplikasi struktur sipil (Atiqah dkk, 2014). Dalam penelitian tersebut diperoleh bahwa nilai kekuatan mekanik sama dengan kekuatan mekanik pada komposit serat gelas penguatan polyester (*GFRP*). Namun keunggulannya bahwa dalam komposit tersebut mampu memadukan serat alami dan serat buatan,

dan harganya pun lebih murah serta bahannya lebih mudah diperoleh. Bahan campuran serat kenaf dan kaca lebih ramah lingkungan. Dari segi kekuatan mekanik sudah terbukti bahwa serat kenaf merupakan salah satu serat yang unggul dibandingkan beberapa serat yang lain. Seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1 yang merupakan hasil penelitian ilmuwan dibidang material *science*.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan di atas peneliti memulai membuat suatu penelitian terapan yang merupakan perpaduan antara ilmu teknik material dengan ilmu teknik sipil. Peneliti yakin bahwa produk terapan akan diperoleh dengan baik dengan mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya. Dari tahun ke tahun semakin banyak orang meneliti bahan komposit alami termasuk komposit yang terbuat dari serat kenaf. Demikian pula komposit campuran antara serat alami dan serat sintesis seperti yang telah disebutkan. Sehingga dari hal tersebut, dibuat suatu peta jalan (*road map*) penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta jalan penelitian

Glass

Serat kaca (*fiberglass*) atau sering diterjemahkan menjadi serat gelas adalah [kaca](#) cair yang ditarik menjadi [serat](#) tipis dengan [garis tengah](#) sekitar 0,005 mm - 0,01 mm. [Serat](#) ini dapat dipintal menjadi [benang](#) atau ditenun menjadi [kain](#), yang kemudian diresapi dengan [resin](#) sehingga menjadi bahan yang kuat dan tahan [korosi](#) untuk digunakan sebagai badan [mobil](#) dan bangunan [kapal](#). Dia juga digunakan sebagai agen penguat untuk banyak produk [plastik](#); [material komposit](#) yang dihasilkan dikenal sebagai [plastik diperkuat-gelas](#) (*glass-reinforced plastic*, GRP) atau [epoxy](#) diperkuat glass-fiber (GRE), disebut "fiberglass" dalam penggunaan umumnya.

Plastik berserat kaca (*glass-reinforced plastic* – GRP), yang juga dikenal sebagai plastik yang diperkuat oleh serat kaca (*glass fiber-reinforced plastic* – GFRP), merupakan suatu polimer yang diperkuat. Polimer ini terbuat dari bahan plastik yang diperkuat oleh serat-serat halus yang terbuat dari kaca. Bahan ini juga dikenal dengan nama GFK yang merupakan kepanjangan dari *Glasfaserverstärkter Kunststoff*, atau yang biasanya lebih akrab dikenal oleh serat kaca yang digunakan dalam proses penguatannya, yang dalam bahasa inggrisnya disebut [fiberglass](#). GRP adalah suatu material yang ringan dan kuat dengan banyak kegunaan, seperti dalam pembuatan perahu, mobil, tangki air, atap, perpipaan, pelapisan, [box motor delivery](#), [payung promosi](#), [booth fiberglass](#) dll. Jenis bahan plastik yang digunakan dapat berupa *epoxy*, plastik *thermosetting* (pada

umumnya poliester atau vinilester) atau thermoplastik.
(<https://www.scribd.com/doc/244296806/Artikel-Komposit>)

Serat Kenaf

Tahapan pengolahan batang kenaf menjadi serat untuk bahan karung atau material campuran pembuatan komposit meliputi: panen, perendaman, pemisahan serat dari kayu, pencucian dan pengeringan. Perendaman merupakan tahapan terpenting dalam pengolahan serat.

Panen: Waktu panen kenaf harus tepat karena bila dilakukan lebih awal akan menghasilkan serat yang rapuh dengan rendemen rendah, dan bila lewat waktu akan menambah waktu perendaman, menghasilkan serat yang rapuh, kekuatan serat menurun, meskipun produktivitas serat meningkat. Panen dilakukan apabila bunga ke sepuluh dari 50% populasi bunga telah mekar. Panen dilakukan dengan cara;

- Memotong pangkal batang pada ketinggian sekitar 5-10 cm dari permukaan tanah
- Memotong batang tepat di atas permukaan tanah,
- Mencabut batang dari tanah. Dari ketiga cara tersebut, cara ke dua memberikan hasil terbaik. (Balittas Kenaf 2009)



Gambar 2. Tanaman kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*) (<http://ditjenbun.pertanian.go.id>)

Perendaman: Tempat perendaman dapat berupa parit, atau tempat perendaman yang dibuat dengan meninggikan pematang di daerah pertanaman kenaf. Ikatan batang kenaf diletakkan di dasar kolam, sebagian ujungnya ditindih bagian pangkal batang yang lain, dan lakukan penumpukan hingga 3-5 ikat batang. Tindihlah batang yang direndam dengan batang pisang, batu atau lainnya. Perendaman dilakukan 14-20 hari, hingga kulit mudah dilepas dari batang, dan kulit telah berubah menjadi serat yang terurai satu dengan yang lain baik di pangkal maupun di ujung. (Balittas Kenaf 2009)

Terdapat tiga kategori kemasakan, yaitu:

- Tepat masak yaitu serat yang dicuci tepat pada waktunya, serat yang dihasilkan seragam mulai dari ujung hingga pangkal. Serat kering yang dihasilkan berwarna putih, lemas, bebas dari sisa kulit batang (kliko).
- Lewat masak yaitu serat yang sebenarnya sudah siap untuk dicuci, namun perendaman masih dilanjutkan terus karena bagian pangkal batang belum terurai sempurna menjadi helaian serat. Hal ini akan berakibat serat menjadi rapuh, baik pada saat dicuci maupun setelah kering.
- Kurang masak yaitu serat yang belum masak telah dikeluarkan dari kolam perendaman untuk dicuci dan dikeringkan. Tanda serat yang kurang masak adalah serat kurang bersih dari sisa-sisa jaringan antar serat, seratnya kaku meskipun telah kelihatan bersih dan seratnya tidak dapat terurai menjadi helaian.

Pencucian serat: Pencucian serat dilakukan di sungai-sungai atau di kolam perendaman. Serat hasil rendaman harus dicuci bersih. Pada retting kulit batang yang dihasilkan dari proses dekortikasi (batang hancur), ada kesulitan dalam pencucian serat. Hal ini disebabkan ada sisa-sisa batang yang

melekat pada serat. Sisa-sisa batang ini harus dihilangkan karena dapat mempengaruhi kualitas serat. (Balittas Kenaf 2009)

Pengeringan dan Penyimpanan Serat:

Pengeringan dilakukan dengan menjemur di terik matahari, dilakukan dilapangan atau di halaman rumah. Serat hasil cucian diletakkan di atas para-para yang dibuat dari batang bambu. Bila sinar matahari cukup, serat akan kering dalam waktu 3-5 hari. Bila serat makin bersih, waktu penjemuran makin singkat. Pemilahan berdasar mutu dan pengebalan: Sebelum disimpan, setiap golongan mutu serat dibal terlebih dahulu. Setiap bal berisi 30 ikatan serat dengan berat setiap ikatan ± 1 kg. Syarat ruang penyimpanan:

- a. Atap tidak bocor;
- b. Tidak tembus cahaya matahari, baik atap maupun dindingnya;
- c. Sirkulasi udara dalam gudang cukup baik agar gudang tidak lembab;
- d. Suhu gudang antara 20°-30°C;
- e. Diberi alas setinggi ± 10 cm agar serat bagian bawah tidak lembab;
- f. Jauh dari sumber api.

Kondisi serat dalam penyimpanan:

- a. Serat ditumpuk menurut kelas mutu serat;
- b. Masing-masing mutu serat diberi label untuk menghindari kekeliruan dalam pengambilan serat;
- c. Kadar air serat maksimal 13 %.

Kualitas serat: Serat yang telah kering kemudian di pisah-pisahkan sesuai dengan keadaan fisik serat tersebut. Serat dapat digunakan untuk pembuatan karung goni hingga sebagai bahan baku interior mobil, maka perlu dibedakan antara kualitas serat untuk pembuatan karung dan untuk bahan baku interior mobil.(Balittas Kenaf 2009)

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian eksperimen yang dilakukan terhadap variabel yang data-datanya belum ada sehingga perlu dilakukan proses dengan melalui pemberian treatment/perlakuan tertentu terhadap subjek penelitian yang kemudian diamati/diukur dampaknya. Penelitian yang dilakukan secara sengaja oleh peneliti dengan cara memberikan *treatment*/perlakuan tertentu terhadap subjek penelitian guna membangkitkan sesuatu kejadian/keadaan yang akan diteliti bagaimana akibatnya.

Bahan Spesimen Penelitian

Bahan komposit yang akan dibuat adalah campuran plastik, serat kenaf dengan serat gelas dengan penguatan poliester. Baik serat kenaf maupun serat gelas terbuat dalam bentuk lembaran.

Tebal specimen setelah dibentuk menjadi komposit adalah 5 mm. Serat kenaf yang digunakan mempunyai dimensi berat per meter persegi : 650 gram/m². Sedangkan serat kaca yang merupakan *Chopped Strand Mat* (CSM) mempunyai berat per meter persegi : 350 gram/m². Kedua serat tersebut disatukan dengan menggunakan poliester resin SHCP (*High polymer*) Kimia Produk Singapore Pte Ltd) 268 jenis poliester BQTN. Dalam pembuatan komposit campuran plastik,serat kenaf dan kaca menggunakan metode *hand lay up* dan *press mould*. Hand lay-up adalah metoda yang paling sederhana dan merupakan proses dengan metode terbuka dari proses fabrikasi komposit.Adapun proses dari pembuatan dengan cara ini adalah dengan cara menuangkan resin dengan tangan kedalam serat berbentuk anyaman, rajuan atau kain, kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada proses ini resin langsung berkontak dengan udara dan biasanya proses pencetakan dilakukan pada temperatur kamar.

Prosedur Pengujian

Prosedur Pengujian Sifat Fisis Plastik Komposit

Dalam penelitian ini menggunakan prosedur pengujian papan partikel berdasarkan SNI 03-2105-2006, tentang papan partikel, dengan pengujian meliputi:

Pengujian Kerapatan

Bahan uji kerapatan plastik komposit berukuran panjang 10 cm dan lebar 10 cm ketebalannya bervariasi yaitu 2 cm, 4 cm dan 6 cm, masing-masing 1 buah bahan uji, penyajian hasil dengan rumus :

$$\text{Kerapatan (g/cm}^3\text{)} = \frac{B}{I} \quad (1)$$

Keterangan :

B = berat (gram)

I = isi (cm³) panjang (cm) x lebar (cm) x tebal (cm)

Pengujian Kadar Air

Bahan uji kadar air papan partikel berukuran panjang 10 cm dan lebar 10 cm dan ketebalannya bervariasi yaitu 2 cm, 4 cm dan 6 cm, masing-masing 1 buah bahan uji, penyajian hasil dengan rumus :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{Ba - Bk}{Bk} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan:

Ba = berat awal (gram)

Bk = Berat kering mutlak (gram)

Pengujian Daya Resapan air 24 jam

Bahan uji daya resapan air papan partikel berukuran Panjang 5 cm dan lebar 5 cm dan ketebalannya bervariasi yaitu 2 cm, 4 cm dan 6 cm, masing – masing 1 buah bahan uji, penyajian hasil dengan rumus :

$$\text{DSA (\%)} = \frac{B2 - B1}{B1} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan :

DSA = Daya resapan air

B2 = Setelah direndam air 24 jam (g)

B1 = Sebelum direndam air (g)

Pengujian pengembangan tebal setelah direndam air

Bahan uji pengembangan tebal papan partikel berukuran Panjang 5 cm dan lebar 5 cm dan ketebalannya bervariasi yaitu 2 cm, 4 cm dan 6 cm, masing – masing 1 buah bahan uji, penyajian hasil dengan rumus :

$$\text{Pengembangan tebal (\%)} = \frac{T2 - T1}{T1} \times 100 \quad (4)$$

Keterangan:

T2 = tebal setelah direndam air (mm)

T1 = tebal sebelum direndam air (mm)

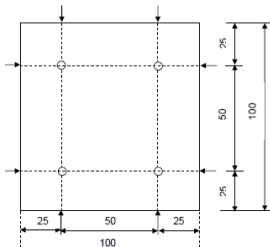
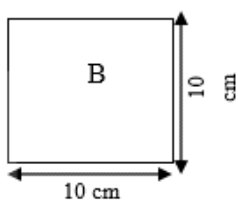
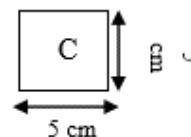
Prosedur Pengujian Konduktivitas Thermal Plastik Komposit

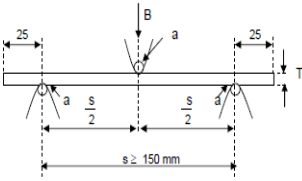
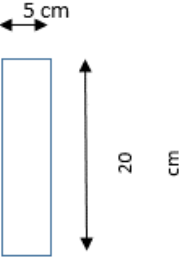
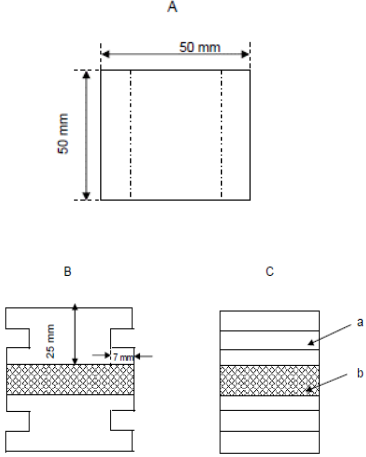
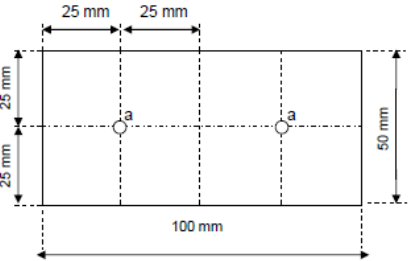
Prosedur pengujian konduktivitas termal ini menggunakan metode ASTM C177-92. Pengujian konduktivitas termal pada Plastik komposit dengan kepadatan optimal dari hasil penekanan 400 kg/cm². 1 buah bahan berukuran 30 x 30 cm, bahan uji dengan variasi tebal yang berbeda yaitu 7 mm, 10 mm dan 15 mm. dengan tidak memperhatikan kekuatan bahan, dengan pengujian secara tertutup, sumber panas yang diberikan 100-105 °C pada sampel. Adapun rancangan sampel penelitian dicantumkan dalam Tabel 2.

Pada Tahapan Pertama dilakukan pemilihan material yakni serat kenaf, plastik dan serat gelas dan penguatnya adalah resin poliester. Ketiga jenis material tersebut selanjutnya dicampur untuk menjadi komposit campuran serat kenaf-kaca berpenguat poliester. Pencetakan komposit sesuai pengujian yang akan dilakukan. Standar spesimen yang digunakan mengacu pada standar ASTM. Untuk uji Impak dengan metode charpy standart adalah ASTM D6110. Sedangkan untuk uji lenturan digunakan standart ASTM D790. Spesimen yang telah dicetak sesuai standar yang ada selanjutnya dilakukan pengujian sesuai standart pula. Untuk Pengujian Mekanik digunakan pengujian lenturan dan pengujian Impak. Kemudian untuk mengukur kekuatannya digunakan pengujian fsik yaitu pengujian penyerapan dan pengujian pemanasan. Setelah seluruh pengujian telah dilaksanakan selanjutnya dianalisa hasil penelitian yang diperoleh untuk selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam penerapan produk.

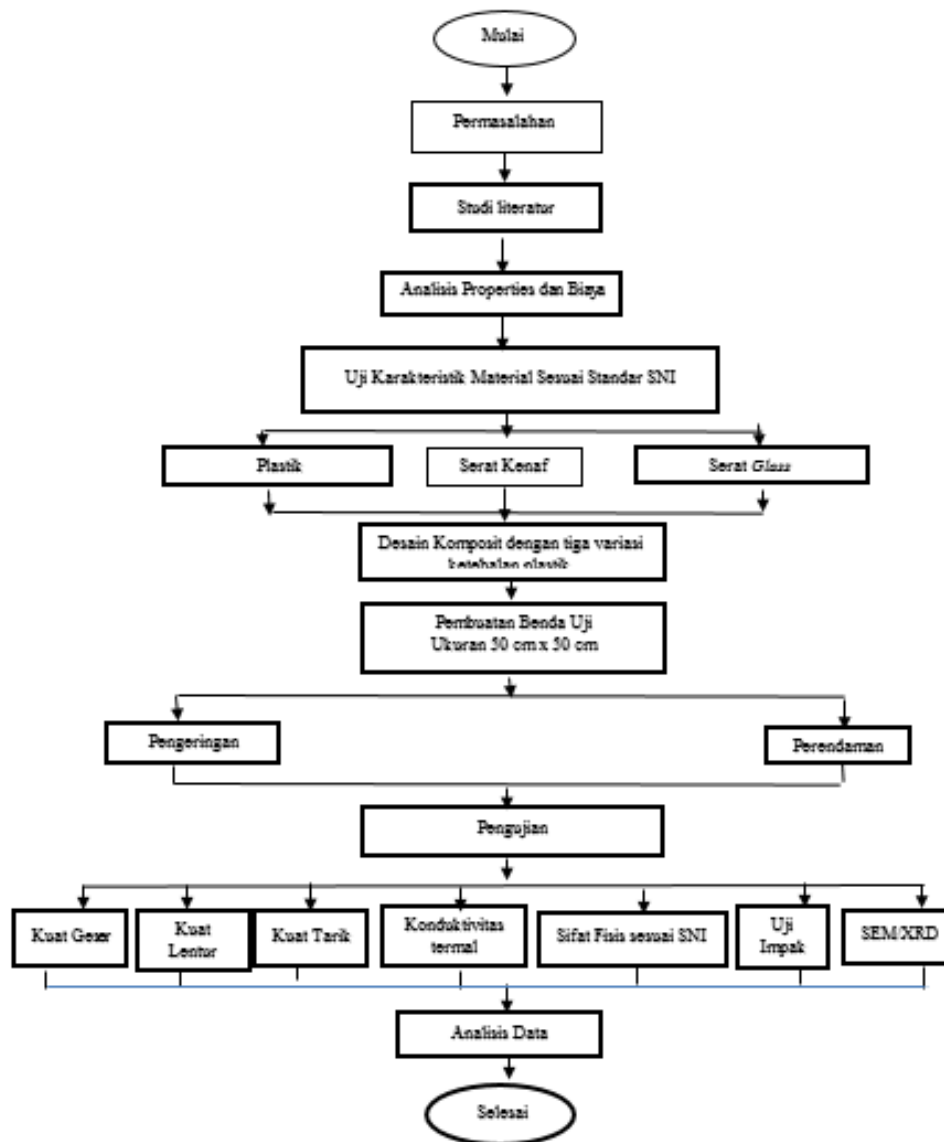
Pada Tahapan Kedua ini dilakukan pembuatan Produk dengan metode *press molding*. Kemudian untuk meyakinkan bahwa produk komposit campuran kenaf-gelas dapat siap diterapkan untuk material dinding rumah, dilakukan test pemanasan dan penyerapan setelah dalam bentuk produk jadi.

Tabel 2. Rancangan sampel penelitian

No.	Sifat Fisis	Nilai Standar	Ukuran Sampel (cm)	Sketsa sampel uji
1	Kerapatan (gr/cm ³)	0,4 – 0,9	10 × 10	
2	Kadar air (%)	14 maks	10 × 10	
3	Pengembangan tebal (%)	12 maks atau 25 maks*	5 × 5	

4	Modulus elastisitas (MOE) (kgf/cm ²)	2,55 min	5 × 20	 <p>Keterangan gambar: B adalah beban (kgf). S adalah jarak sangga (mm). a adalah diameter ± 10 mm. T adalah tebal papan partikel</p>
5	Modulus patah (MOR) (kgf/cm ²)	133 min	5 × 20	
6	Keteguhan tarik tegak lurus permukaan	3,1 kgf/cm	5 x 5	 <p>Keterangan: A adalah contoh uji dilihat dari atas. B adalah contoh uji dilihat dari samping depan. C adalah contoh uji dilihat dari samping sisi. a adalah blok besi. b adalah contoh uji.</p>
7	Keteguhan cabut sekrup	51 gf	5 x 10	

Standar ASTM D 143 (2005)



Gambar.3.Diagram Alir Penelitian

HASIL YANG DIHARAPKAN

Penelitian ini memberikan temuan baru di bidang rekayasa material konstruksi khususnya teknologi material konstruksi ramah lingkungan dan merupakan salah satu kearifan lokal jika dibandingkan dengan produk yang telah ada misalnya kalsiboard, tripleks. Nilai kebaruan (*novelty value*) yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah ditemukan produk material konstruksi dari *hybrid* plastik, serat kenaf dan *glass* yang ramah lingkungan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi produk yang dapat diproduksi secara massal dalam suatu industri produk material konstruksi khususnya dinding.

DAFTAR PUSTAKA

Afshar, Maen Alkhader, Chad S. Korach, Fu-Pen Chiang ,2015. *Effect of long-term exposure to marine environments on the flexural properties of carbon fiber vinylester composites*. *Original Research Article Composite Structures*, August 2015; **126**: 72-77.

- Ahmad, Mohamed Ruslan Abdullah, and Ab Saman Abd Kader 2015. *Effect of the gel coat composition on the tensile strength for glass fibre reinforced polyester composites*. *Advanced Materials research* vol. 1125: 79-83.
- ASTM - D570. *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. West Conshohocken, PA : ASTM International.2010.
- ASTM-D6110. *Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics*. West Conshohocken, PA : ASTM International, 2010.
- ASTM-D790. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. West Conshohocken, PA : ASTM International, 2010.
- ASTM D143 *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber* ASTM International, 2015
- Atiqah, M.A. Maleque, M. Jawaid, M. Iqbal ,2005. *Design and fabrication of natural woven fabric reinforced epoxy composite for household telephone stand*. *Materials and Design* 26: 65–71.
- Atiqah, M.A. Maleque, M. Jawaid, M. Iqbal ,2014. *Development of kenaf-glass reinforced unsaturated polyester hybrid composite for structural applications*. *Composites: Part B* 56: 68–73.
- Ahmad dan Mardiana A. ,2017. *Analisis Kekuatan Mekanik antara Komposit Hybrid Serat Kenaf Gelas dengan Tripleks untuk Aplikasi Plafond Rumah*. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M) 2017* (pp.31-34).
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2006, *Papan partikel*, SNI 03-2105-2006, Badan Standardisasi Nasional: ICS 79.0060.20.
- Faris M. AL-Oqla, S.M. Sapuan ,2014. *Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry*. *Journal of Cleaner Production* 66: 347-354.
- Fauziah, D. Wahyuni, dan B.P. Lapanporo. 2011. *Analisis Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel Berbahan Dasar Sekam Padi*. *POSITRON*, Vol. IV, No. 2 (2014), Hal. 60 – 63.
- Harnnecker F, Santos Rosa D, Lenz DM ,2012. *Biodegradable polyester based blend reinforced with curaua fiber. thermal, mechanical and biodegradation behaviour*. *Polymer Environ* 20: 237–44.
- Herrera-Franco PJ, Valadez-González A ,2005. *A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites*. *Composites Part B* 36: 597–608.
- In Mauliza ,<https://www.scribd.com/doc/244296806/Artikel-Komposit> (diakses pada 2 Juni 2018)
- J.P.Holman. 1997. *Perpindahan Kalor*, 6nd Jilid 2., Jakarta: Erlangga.
- Kabir MM, Wang H, Lau KT, Cardona F, 2012. *Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: an overview*. *Composites Part B* 2012 43 : 2883–2892.
- L.A. Balogun, D. Adepegba ,2008. *Effect of varying sand content in laterized concrete*. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete* 4: 235-240 Libo Yan, Bohumil Kasal, Liang Huang 2016. *A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering*. *Composites Part B* 92: 94-102.
- M. Hoffmann, Kristian Zimmermann, Brian Bautz, Peter Middendorf 2015. *A new specimen geometry to determine the through-thickness tensile strength of composite laminates*. *Composites Part B: Engineering* 77: 145-152.
- Mathijssen ,2015. *Inventing the future of military technology*. *Journal of Reinforced Plastics* 59 : 233-237.
- Mishra S, Mohanty A K, Drzal L T, Misra M, Parija S, Nayak SK 2003. *Studies on mechanical performance of biofiber/glass reinforced polyester hybrid composites*. *Composite Science and Technology* 63: 1377–1385.

Mohd Nazif Nora'asheera, 2011 *Composites from polypropylene (PP) Reinforced with oil palm empty fruit bunch (OPEFB) Fibre. A Thesis.*

Monograf Balittas KENAF(Hibiscus cannabinus L.) Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat 2009.

Santiuste, Xavier Soldani, Maria Henar Miguélez ,2010. *Machining FEM model of long fiber composites for aeronautical components.* Composite Structures, Volume 92, Issue 3: 691-698.

<http://aeroengineering.co.id/2017/09/material-fiberglass-serat-kaca/> (diakses pada 25 Juni 2018)

<https://www.beritasatu.com/nasional/569468/daur-ulang-botol-plastik-pet-bisa-berulang-kali>

KEGAGALAN KONSTRUKSI DAN KEGAGALAN BANGUNAN DALAM PERSPEKTIF KEBERLANJUTAN KONSTRUKSI

Muhammad Amry¹, Sarwono Hardjomuljadi² dan Chaidir Anwar Makarim³

¹Magister Teknik Sipil-Manajemen Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, Email: [amryarchie@gmail](mailto:amryarchie@gmail.com)

²Guru Besar Kontrak Konstruksi, Universitas Mercu Buana, Email: sarwonohm2@gmail.com

³Guru Besar Geoteknik, Universitas Tarumanagara, Email: chaidir259@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan sektor konstruksi Indonesia berdampak langsung pada peningkatan volume proyek konstruksi. Kebijakan Pemerintah pada sektor ini dimaksudkan untuk mendorong dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi Nasional. Berdasarkan kondisi inilah masalah pengelolaan proyek konstruksi membutuhkan perhatian dan tindakan sangat serius pada konteks ini. Diantaranya karena sektor konstruksi memiliki dimensi bisnis dan non-teknis yang tengah memasuki era keterbukaan informasi, dimana masyarakat dapat memantau seluruh kegiatan program infrastruktur yang dikelola oleh Pemerintah maupun swasta. Kegagalan konstruksi dan kegagalan bangunan merupakan dua hal yang berpotensi menjadi masalah vital, khususnya terhadap keberlanjutan konstruksi. Kementerian PUPR membentuk satuan tugas Komite Keselamatan Konstruksi (Komite K2) untuk maksud tersebut. Tujuannya agar keberlanjutan konstruksi dapat tetap terjaga dan meminimalkan timbulnya potensi kerugian dan stagnasi. Namun, fokus makalah ini dititikberatkan pada aspek sumber daya manusia sebagai pintu masuk, terutama karena faktor terkait yaitu kompetensi, kepedulian, pengorganisasian dan apresiasi masih menjadi persoalan besar. Kerumitan masalah akan meningkat ketika keduanya dihadapkan dengan aspek hukum, diantaranya klaim dan sengketa konstruksi. Akumulasi dari berbagai faktor dan aspek tersebut berujung pada keberlanjutan konstruksi, yang memiliki tuntutan lebih besar, selain karena terkait dengan bidang yang lebih luas, yaitu ekonomi dan sosial-budaya, juga karena menjadi bagian dari kebijakan jangka menengah dan jangka panjang Nasional. Riset inisiatif ini merupakan salah satu upaya menuju peningkatan perhatian yang sangat serius terhadap kegagalan konstruksi dan kegagalan bangunan. Meski Undang-undang No. 2/2017 tentang Jasa Konstruksi tidak lagi mengatur tentang sanksi pidana, namun kewaspadaan tetap dibutuhkan untuk keberlanjutan konstruksi.

Kata kunci: kegagalan konstruksi, kegagalan bangunan, keberlanjutan konstruksi, kontrak konstruksi.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pertumbuhan PDB Indonesia pada kuartal ketiga tahun 2018 secara umum tetap stabil pada 5,2 persen tahun-ke-tahun (Bank Dunia, 2018). Pemerintah memprioritaskan sektor infrastruktur, untuk menyatukan dan melakukan pemerataan pembangunan yang membentang dari Sumatera ke Papua. Hal ini untuk memastikan proyek infrastruktur akan bermanfaat bagi semua masyarakat diseluruh wilayah Indonesia. Price Waterhouse Coopers (2019) mempublikasikan proyeksi pertumbuhan global hingga 2050 di 32 negara ekonomi terbesar di dunia. Tiongkok diproyeksikan untuk memimpin empat ekonomi terbesar di dunia, diikuti oleh India, Amerika Serikat dan Indonesia.

Peran sektor konstruksi pada produk domestik bruto (PDB) juga meningkat meski demikian konstruksi tercatat sebagai salah satu sektor bisnis yang mencetak kinerja positif pada periode melambatnya pertumbuhan ekonomi. Berdasarkan data BPS, pertumbuhan ekonomi tahunan pada

triwulan III/2018 mencatat peningkatan menjadi 5,79% dibanding triwulan II/2018 yaitu 5,73% (Bisnis.com, 2018).

Konstruksi selalu menjadi salah satu industri berpenghasilan terbesar di dunia (Turner & Townsend, 2019). Terlepas dari ukuran dan ruang lingkup sektor ini, sektor ini terus berubah dan beradaptasi dengan iklim ekonomi dan sosial, termasuk aspek hukum. Saat ini, *booming* konstruksi meskipun melambat, tetapi industrinya tidak stagnan. Namun tidak berarti bahwa sektor konstruksi tidak menghadapi tantangan. Konsekuensi dari peningkatan kesejahteraan, yaitu terjadinya konektivitas global, keberadaan migran murah, di mana sektor konstruksi secara historis mengalaminya, dengan lonjakan beban kerja ke depan, industri global menghadapi lebih banyak pekerjaan dibandingkan dengan lebih sedikitnya tenaga kerja konstruksi, hal-hal yang juga terjadi pada skala Nasional. Hal ini tentunya mengakibatkan peningkatan tekanan pada biaya konstruksi. Meskipun siklus naik-turun, produktivitas akan menjadi masalah global yang lebih besar untuk industri konstruksi.

Tulisan ini menekankan proyek konstruksi secara spesifik ditinjau dari aspek hukum. Aspek hukum di sektor konstruksi terdiri atas hukum: perdata, tenaga kerja, administrasi negara dan pidana. Kesemuanya memiliki dampak serius pada keberlanjutan konstruksi, sebagaimana dinyatakan oleh Hardjomuljadi (2018), anggota Komite Nasional Keselamatan Konstruksi menanggapi beberapa kejadian kegagalan konstruksi dan kegagalan bangunan sepanjang tahun 2018. Dalam hal peraturan perundang-undangan, masalah hukum terkait konstruksi terkandung dalam UU No. 38/2004 tentang Jalan, UU No. 28/2002 tentang Bangunan Gedung, UU No. 18/1999 tentang Jasa Konstruksi sebagaimana telah diubah dengan UU No. 2/2017 tentang Jasa Konstruksi dan UU No. 6/2017 tentang Arsitek. Dua undang-undang terakhir tindakan kriminal rujukannya pada KUHP, Perseroan Terbatas/PT, Lingkungan Hidup, Penataan Ruang, Keuangan Negara, Perbendaharaan Negara dan/atau Pemberantasan Tindak Pidana Korupsi. Salah satu dasar pertimbangan soal keberlanjutan konstruksi itu pula, regulasi Jasa Konstruksi mengalami perubahan. Chaidir Anwar Makarim (2019), guru besar Geoteknik, juga menekankan perlunya perhatian yang serius terkait sengketa konstruksi, sebagaimana dimaksud dalam UUK.

Permasalahan

Bagaimana memetakan potensi masalah hukum yang dihadapi dalam setiap kasus konstruksi, baik masalah internal dan eksternal?

Masalah spesifik apa yang dimiliki pada suatu kasus proyek konstruksi, kegagalan desain, kegagalan konstruksi, kegagalan bangunan, sengketa konstruksi atau tindak pidana korupsi?

Dengan belajar dari meningkatnya volume pekerjaan konstruksi, potensi terjadinya masalah hukum juga akan meningkat, di mana kasus serupa akan memiliki peluang kejadian dan insiden yang bahkan lebih besar.

Batasan

Makalah ini dibatasi pada masalah hukum terkait dengan proyek konstruksi yang penulis periksa pada rentang waktu 2014-2018, dengan penekanan lebih pada pemetaan klasifikasi berdasarkan varian, jenis dan penyebab, sehingga kerangka masalah dapat diidentifikasi secara ringkas dan jelas. Tulisan ini juga lebih menekankan pada analisis deskriptif yang sederhana, alih-alih menggunakan analisis statistik yang lebih rumit.

Tujuan

Tujuan tulisan ini adalah sebagai pengingat bagi pelaku bisnis jasa konstruksi, baik Pengguna Jasa, Penyedia Jasa, entitas bisnis dan ahli (individu), bahwa peningkatan volume pekerjaan konstruksi berbanding lurus dengan meningkatnya potensi masalah hukum. Karena itu kehati-hatian, kewaspadaan dan kesadaran akan tanggung jawab profesional wajib menjadi perhatian serius di masa depan.

Juga dimaksudkan sebagai jalan masuk bagi riset sejenis dengan perluasan obyek penelitian dan kualitas riset yang lebih baik lagi.

Sasaran

Sasaran tulisan ini adalah agar masyarakat pelaku usaha jasa konstruksi mulai secara sadar mempersiapkan dan meningkatkan kompetensi mereka (*complimentary competency*) berkenaan dengan aspek hukum sektor konstruksi, yang karena karakteristik, desain dan jenis pekerjaan teknik sebenarnya adalah domain penilaiannya oleh para ahli (arsitek dan insinyur) sendiri, bukan ahli bidang lain.

STUDI YANG RELEVAN

Kesadaran masyarakat jasa konstruksi tentang aspek hukum ini, berdasarkan pengalaman penulis, masih sangat lemah. Dari sebagian besar kasus yang ditangani penulis, kurang dari 1 persen benar-benar menerapkan prinsip kehati-hatian oleh para pelakunya. Gejala ini sejalan dengan hasil riset Hohnecker (2008) dalam Quapp and Holschemacher (2014) yang menyatakan:

Dealing with legal issues concerns all persons involved in a construction project, that's why knowledge about legal pitfalls will become more and more important regarding, inter alia, the construction schedule in project management and the project costs. Berurusan dengan masalah hukum menyangkut semua orang yang terlibat dalam proyek konstruksi, itu sebabnya pengetahuan tentang jebakan hukum akan menjadi semakin penting, antara lain, jadwal konstruksi dalam manajemen proyek dan biaya proyek.

Munculnya kasus kegagalan desain, kegagalan konstruksi, kegagalan bangunan, sengketa konstruksi dan tindak pidana korupsi adalah masalah konstruksi yang sangat dekat. Bahkan pelaku yang sadar dan memahami aspek hukum sering lupa tentang hal ini.

Sebagai contoh masalah, baik internal dan eksternal terkait dengan proyek konstruksi yang berpotensi meningkat menjadi kasus hukum adalah keterlambatan/*delay*, ini biasa terjadi di negara-negara berkembang (Aibinu dan Jagboro 2002; Doloi et al. 2012; Fugar dan Agyakwah-baah 2010; Kadry et al. 2017; Sweis et al. 2008). Masalah lain berupa *variation order/VO*, perintah perubahan yang konstruktif/*constructive change order-CCO*, bahkan percepatan biaya/*cost overrun* dapat menjadi masalah serius yang berujung pada kasus hukum di negara kita.

Sebagai contoh masalah, baik internal dan eksternal terkait dengan proyek konstruksi yang berpotensi meningkat menjadi kasus hukum adalah keterlambatan/*delay*, ini biasa terjadi di negara-negara berkembang (Aibinu dan Jagboro 2002; Doloi et al. 2012; Fugar dan Agyakwah-baah 2010; Kadry et al. 2017; Sweis et al. 2008). Magdy (2016) menyatakan:

In order to effectively overcome the road construction delays in developing countries, suggestions are made for fundamental and large-scale reforms in procurement systems and stakeholders' management.

Masalah lain berupa *variation order/VO*, perintah perubahan yang konstruktif/*constructive change order-CCO*, bahkan percepatan biaya/*cost overrun* dapat menjadi masalah serius yang berujung pada kasus hukum di negara kita.

Secara alami, pekerjaan konstruksi hampir pasti terkandung masalah. Ada banyak alasan yang menyebabkan keterlambatan proyek konstruksi. Diantaranya mungkin disebabkan oleh pemogokan, pengerjaan ulang/*rework*, organisasi yang buruk, kurangnya bahan, kegagalan peralatan, perintah perubahan, *God Act*, dll. (Magdy, 2019). Penundaan dalam konstruksi sebagian besar disebabkan oleh keterlambatan pembayaran, pembiayaan kontraktor selama konstruksi, perubahan desain, tindakan pencegahan pemilik, tidak adanya profesional/manajemen kontrak, dan faktor-faktor lain ditemukan di Mesir (Abd El-Razek et al 2008; Ezeldin dan Abdel - Ghany 2013). Juga, keterlambatan proyek konstruksi sering saling berhubungan, membuat situasinya lebih kompleks (Sweis et al. 2008), sehingga berpotensi menjadi masalah hukum.

Menurut Oliver (2009), seseorang yang dikategorikan sebagai penjahat harus memiliki tingkat niat tertentu untuk kesalahan pidana. Undang-undang umumnya mengakui lima tingkat kondisi kriminal potensial:

1. Sengaja melakukan tindakan ilegal.
2. Secara sadar melakukan tindakan ilegal.
3. Melakukan tindakan ilegal secara sembarangan.
4. Kelalaian dalam melakukan tindakan ilegal.
5. Beberapa kejahatan dalam bentuk pertanggungjawaban yang ketat di mana tidak ada tingkat niat dan mental kriminal diperlukan.

Tingkat kesalahan kriminal ini bersifat hierarkis. Jika kita secara sadar mengambil tindakan, atau dengan lalai dan sembrono melakukannya. Namun, jika kita mengambil tindakan secara sembarangan, kita mungkin tidak perlu dipanggil dengan sengaja atau sengaja.

Graycar & Penzler (2013) mendefinisikan “korupsi” yaitu dicirikan melalui adanya salah satu dari tindakan penyuapan, pemerasan, penggelapan, konflik kepentingan, perlindungan, nepotisme, dan kronisme. Uraian tentang korupsi pada bukunya tersebut sangat komprehensif, dimana faktor-faktor penyebab, pemicu dan lingkungan yang mendukung merupakan pemetaan yang sangat baik bagi perilaku koruptif, dan makin menampakkan bagaimana kompleksnya situasi dan kondisi yang dapat diamati, dialami, dirasakan dan dianalisis oleh seluruh masyarakat, termasuk tokoh kunci.

Korupsi di dunia kita sebagian besar memengaruhi semua orang. Semua negara mengalami korupsi. *World Economic Forum/WEF* (2013) memperkirakan bahwa biaya korupsi sama dengan lebih dari 5% dari PDB global (sekitar US \$ 2,6 triliun). Korupsi menambah sekitar 10% dari total biaya untuk melakukan bisnis secara global. Bank Dunia (2007) memperkirakan bahwa sekitar USD 1 triliun per tahun dibayarkan dalam bentuk suap, sementara sekitar USD 40 miliar per tahun dijarah oleh para pemimpin politik yang korup. Dampak korupsi sangat parah dan secara tidak proporsional memengaruhi masyarakat termiskin dan paling rentan di masyarakat mana pun, dan ketika meluas, korupsi menghalangi investasi, melemahkan pertumbuhan ekonomi, dan melemahkan dasar hukum dan ketertiban. Di negara-negara kaya, korupsi mendorong pajak ke tingkat yang lebih tinggi daripada yang seharusnya, dan mengurangi layanan menjadi kualitas yang lebih rendah daripada seharusnya. Bahkan sedemikian kaburnya batasan tindakan yang dapat dikategorikan korupsi, Graycar menyatakan:

“It is done to facilitate a satisfactory outcome that might not have happened without the money, or might not have happened as quickly.”

Hal ini dilakukan untuk memfasilitasi hasil yang memuaskan yang mungkin tidak terjadi tanpa uang, atau mungkin tidak terjadi secepat itu.

Dengan kata lain, melakukan tindakan “tertentu” yang memfasilitasi dan melakukan intervensi atas suatu pelayanan publik agar menjadi lebih baik dari biasanya dan/atau lebih cepat, dapat terjerumus kedalam bentuk penyuapan, yang juga merupakan salah satu ciri tindakan koruptif, sesuai definisinya.

Pemetaan *Type, Activities, Sectors* dan *Places (TASP)* yang dibuat Graycar (2015) sangat membantu dalam analisis ini. Dengan pemetaan tersebut, penulis menggunakannya sebagai alat bantu dalam analisis pada penulisan ini (lihat tabel 1).

Tabel 1 Examples of type, activities, sectors and places (TASP) of corruption.

Type	Activities	Sectors	Places
<input checked="" type="checkbox"/> Bribery	<input checked="" type="checkbox"/> Appointing personnel	<input checked="" type="checkbox"/> Construction	<input checked="" type="checkbox"/> Countries
<input checked="" type="checkbox"/> Extortion	<input checked="" type="checkbox"/> Buying things (Procurement)	<input checked="" type="checkbox"/> Health	<input checked="" type="checkbox"/> Regions
<input checked="" type="checkbox"/> Misappropriation	<input checked="" type="checkbox"/> Delivering programmes or services	<input checked="" type="checkbox"/> Tax administration	<input checked="" type="checkbox"/> Localities

<input checked="" type="checkbox"/> Self-dealing	<input checked="" type="checkbox"/> Making things (construction/manufacturing)	<input checked="" type="checkbox"/> Energy	<input checked="" type="checkbox"/> Workplaces,
<input checked="" type="checkbox"/> Patronage	<input checked="" type="checkbox"/> Rebuilding things (after a disaster)	<input checked="" type="checkbox"/> Environment and water	etc.
<input checked="" type="checkbox"/> Abuse of discretion	<input checked="" type="checkbox"/> Controlling activities (licensing/regulation/issuing of permits)	<input checked="" type="checkbox"/> Forestry	
<input checked="" type="checkbox"/> Misuse of information	<input checked="" type="checkbox"/> Administering (justice for example),	<input checked="" type="checkbox"/> Customs and Immigration	
<input checked="" type="checkbox"/> Creating or exploiting conflict	etc.	<input checked="" type="checkbox"/> Legal system	
<input checked="" type="checkbox"/> Nepotism, clientelism and favouritism,		<input checked="" type="checkbox"/> Disaster relief	
etc.		etc.	

Sumber: Graycar (2015)

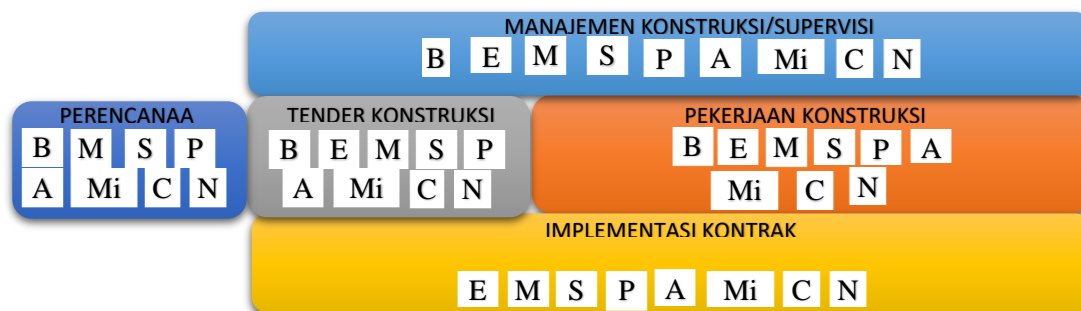
METODOLOGI

Jenis kasus yang dibahas pada tulisan ini adalah kasus yang telah penulis investigasi selama rentang waktu lima tahun terakhir (2014-2018).

Metodologi yang digunakan dalam riset ini dilakukan dengan dua model yang tidak saling terkait (bersyarat). Pada model I; seluruh kasus dipetakan berdasarkan identifikasi masalah unsur korupsi (variable x) yang diklasifikasi menurut tahap kegiatan:

- A. Perencanaan;
- B. Pengadaan/Tender Konstruksi;
- C. Pekerjaan Konstruksi;
- D. Implementasi Kontrak;
- E. Pengawasan;

Hasil pemetaan selanjutnya diinterpretasikan berdasarkan analisis kasusnya sesuai bukti-bukti empirik dari hasil investigasi menurut peluang kejadiannya. Secara skematik model I dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Skema Model I

Remarks (Unsur korupsi menurut Graycar (2015))

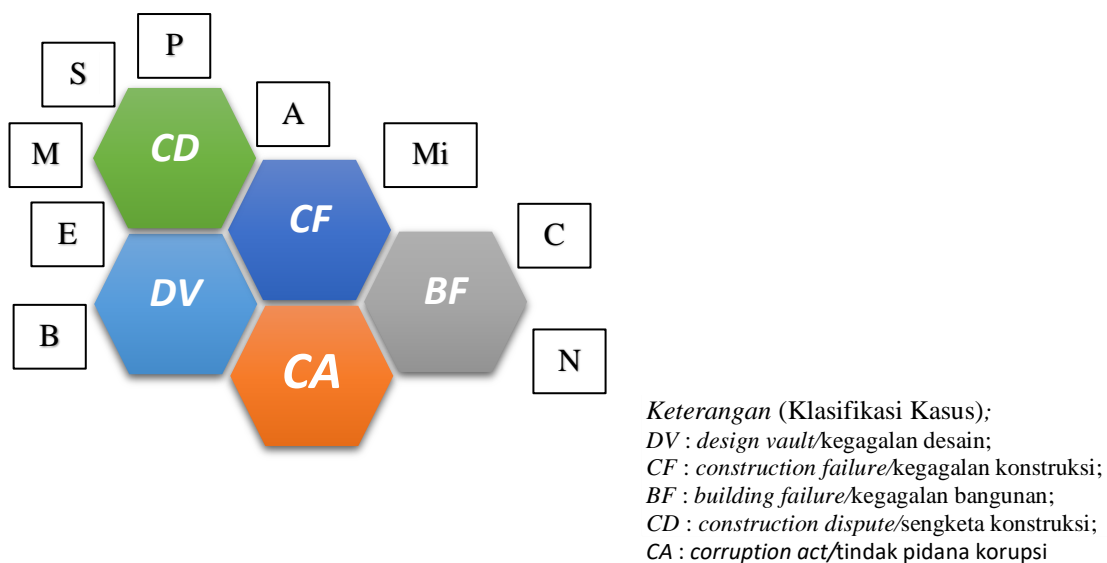
<i>B : Bribery</i>	<i>M : Misappropriation</i>	<i>P : Patronage</i>	<i>Mi: Misuse of information</i>
<i>E : Extortion</i>	<i>S : Self-dealing</i>	<i>A : Abuse of discretion</i>	<i>C : Creating or exploiting conflict</i>
			<i>N : Nepotism, clientelism and favouritism,</i>

Interpretasi ini menguraikan peluang kejadian setiap variable x (unsur korupsi) secara parsial dan bersama-sama terhadap masing-masing klasifikasi (5 klasifikasi kasus).

Selanjutnya, pemetaan dilakukan menurut klasifikasi kasus dimaksud, antara lain:

- (1) kegagalan desain/*design vault-DV*;
- (2) kegagalan konstruksi/*construction failure-CF*;
- (3) kegagalan bangunan/*building failure-BF*;
- (4) sengketa konstruksi/*construction dispute-CD*; dan
- (5) tindak pidana korupsi/*corruption act-CA*.

Pada model II: pemetaan kasus dilakukan dengan mengelompokkan variabel menurut klasifikasi kasus (kategori 1 sampai dengan 4) terhadap kasus tindak pidana korupsi (kategori 5). Secara skematik model II dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Skema Model II

Kemudian hasilnya dilakukan interpretasi peluang kejadiannya terhadap variable tetap yang digunakan untuk mengukur pemenuhan unsur klasifikasi Tindak Pidana Korupsi (kategori 5). Hasil akhir didapatkan dalam bentuk peringkat angka peluang kejadiannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pembahasan kasus-kasus dalam tulisan ini diharapkan menjadi pembelajaran yang dapat ditindaklanjuti dengan penelitian khusus sesuai dengan klasifikasi kasusnya. Dengan demikian, berbagai jenis kasus yang berkaitan dengan proyek konstruksi dapat digunakan sebagai referensi bagi pelaku usaha jasa konstruksi, termasuk Pemerintah, yang bermanfaat dalam konteks keselamatan, kesehatan kerja dan keberlanjutan pembangunan Nasional di masa depan.

Pada model I didapatkan hasil pemetaan pada table 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Prevalensi Parsial dan Serempak/Bersamaan Menurut Tahapan Program

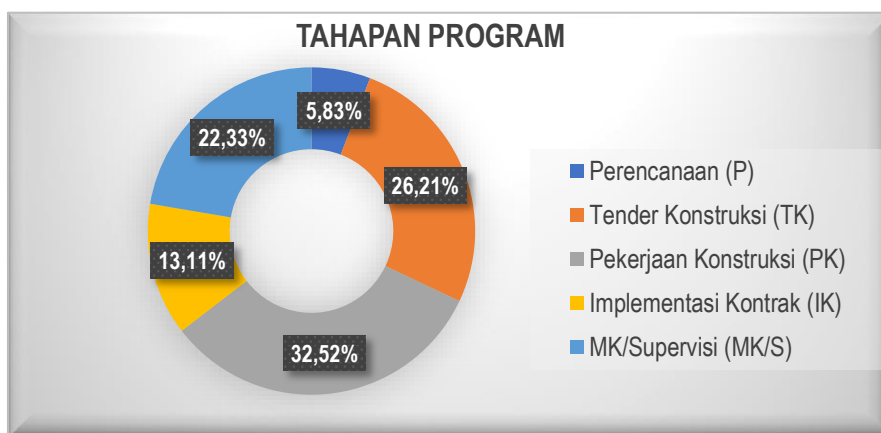
No.	Klasifikasi Kasus	Jumlah	Bobot (%)	DV	CF	BF	CD	CA	JML
1	Perencanaan (P)	12	5,83	3	3	0	1	5	12
	Parsial			25,00	25,00	-	8,33	41,67	8,33
	Bersamaan			1,46	1,46	0,00	0,49	2,43	0,03
2	Tender Konstruksi (TK)	54	26,21	0	0	5	7	42	54
	Parsial			-	-	9,26	12,96	77,78	1,85
	Bersamaan			0,00	0,00	2,43	3,40	20,39	0,13
3	Pekerjaan Konstruksi (PK)	67	32,52	0	12	4	5	46	67
	Parsial			-	17,91	5,97	7,46	68,66	1,49
	Bersamaan			0,00	5,83	1,94	2,43	22,33	0,16
4	Implementasi Kontrak (IK)	27	13,11	3	4	2	6	12	27
	Parsial			11,11	14,81	7,41	22,22	44,44	3,70
	Bersamaan			1,46	1,94	0,97	2,91	5,83	0,06
5	MK/Supervisi (MK/S)	46	22,33	4	3	5	3	31	46
	Parsial			8,70	6,52	10,87	6,52	67,39	2,17
	Bersamaan			1,94	1,46	2,43	1,46	15,05	0,11
			100				JUMLAH		206

Pada tabel 2 nampak bahwa dari 206 kasus yang diamati, porsi terbesar (32,52%) adalah pada kasus tahap Pekerjaan Konstruksi (PK), diikuti berturut-turut Tender Konstruksi (TK) 26,21%; MK/Supervisi (MK/S) 22,33%; Implementasi Kontrak (IK) 13,11% dan Perencanaan (P) 5,83%.

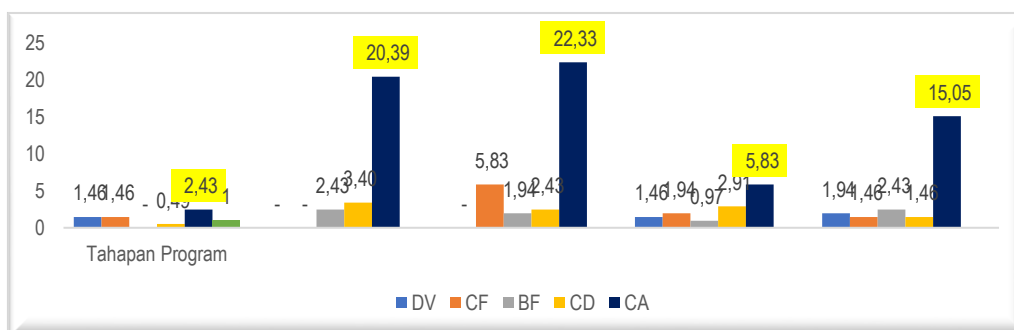
Angka kejadian secara parsial terjadinya Kegagalan Desain (DV) dan Kegagalan Bangunan (CF) pada tahap Perencanaan adalah masing-masing 25%, sementara peluang terjadinya Tindak Pidana Korupsi adalah yang paling besar 41,67%. Hal ini menunjukkan bahwa tahap meski Perencanaan memiliki bobot terkecil (5,83%) namun bukan merupakan tahapan yang paling kecil peluang terjadinya kasus hukum diantara kelima tahapan lainnya, yaitu ditunjukkan dengan nilai 8,33%. Meski demikian ia tetap merupakan factor terkecil dalam hal peluang terjadinya kasus hukum secara serempak/bersamaan (0,03%).

Prevalensi terbesar secara parsial adalah pada tahap Tender Konstruksi (77,78%) melampaui Pekerjaan Konstruksi (PK) 68,66%. Adapun secara bersamaan/serempak tahapan Pekerjaan Konstruksi (PK) memiliki prevalensi kasus hukum pada Tindak Pidana Korupsi (CA) tertinggi dengan nilai 22,33%.

Secara grafis perhitungan ini dijelaskan pada gambar-gambar berikut.



Gambar 3. Prevalensi Kasus Hukum Menurut Tahapan Program (Model I)



Gambar 4. Prevalensi Kasus Hukum Secara Serempak/Bersamaan

Pada gambar 3 dapat dilihat persandingan masing-masing klasifikasi kasus dengan proporsi prevalensinya yang dihitung secara serempak/bersamaan. Namun dari tabel secara jelas divisualisasikan prevalensi kasus hukum, khususnya Tindak Pidana Korupsi (CA) terjadi pada tahapan program Tender Konstruksi (TK) dengan nilai sebesar 77,78% dan terakhir Perencanaan (P) senilai 41,67%.

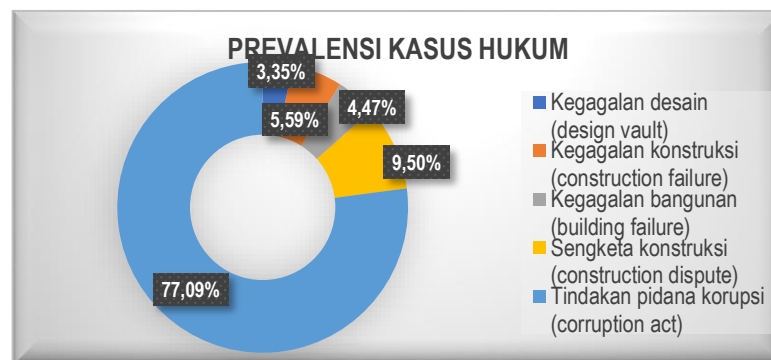
Pada model II didapatkan hasil pemetaan pada table 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Prevalensi Parsial dan Serempak/Bersamaan Menurut Klasifikasi Kasus

No.	Klasifikasi Kasus	Jml	Bobot (%)	B	E	M	S	P	A	Mi	C	N
1	Kegagalan desain (DV)	6	3,35	3	0	3	4	6	4	3	2	5
	Parsial			0,50	0,00	0,50	0,67	1,00	0,67	0,50	0,33	0,83
	Bersamaan			0,02	-	0,02	0,02	0,032	0,02	0,02	0,01	0,027
2	Kegagalan konstruksi (CF)	10	5,59	10	2	8	8	9	10	9	4	9
	Parsial			1,00	0,01	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,02	0,05
	Bersamaan			0,08	0,01	0,07	0,04	0,06	0,08	0,05	0,02	0,07
3	Kegagalan bangunan (BF)	8	4,47	5	0	5	3	5	5	3	2	7
	Parsial			0,63	0,00	0,63	0,38	0,63	0,63	0,38	0,25	0,88
	Bersamaan			0,03	0,00	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,04

4	Sengketa konstruksi (CD)	17	9,50	12	0	3	5	4	3	2	14	4
	Parsial			0,71	0,00	0,18	0,29	0,24	0,18	0,12	0,82	0,24
	Bersamaan			0,06	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,02
5	Tindakan pidana korupsi (CA)	138	77,09	138	122	122	99	111	127	130	85	134
	Parsial			1,00	0,88	0,88	0,72	0,80	0,92	0,94	0,62	0,97
	Bersamaan			0,74	0,65	0,65	0,53	0,59	0,68	0,70	0,45	0,72
JUMLAH		179	100	168	124	141	119	135	149	147	107	159

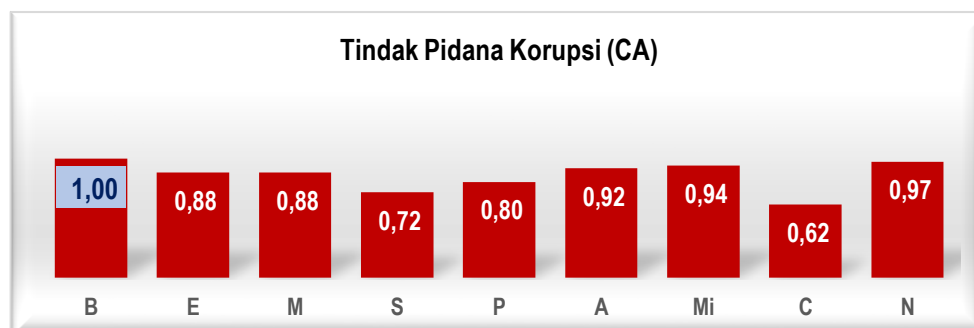
Pada tabel nampak bahwa dari 179 kasus yang diamati, porsi terbesar (77,09%) adalah pada Tindak Pidana Korupsi (CA), diikuti berturut-turut Sengketa Konstruksi/CD (9,5%); Kegagalan Konstruksi/CF (5,59%); Kegagalan Bangunan/CF (4,47%) dan Kegagalan Desain/DV (3,35%).



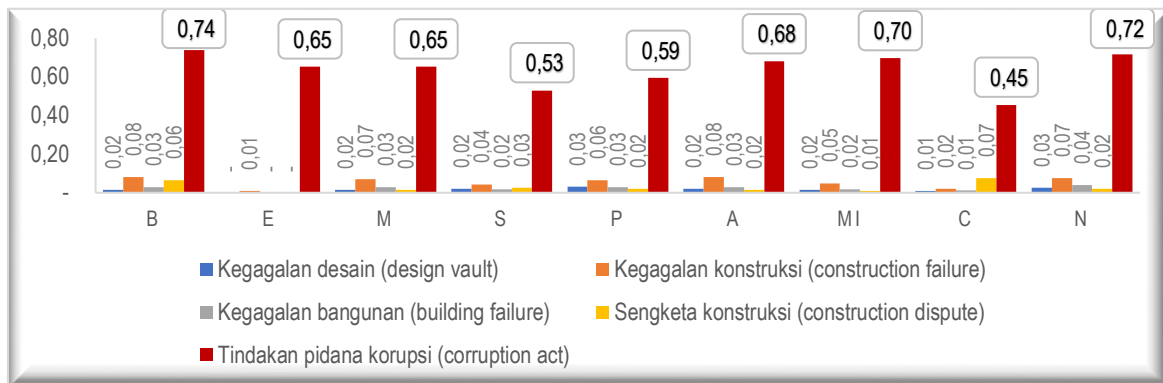
Gambar 5. Prevalensi Kasus Hukum Menurut Unsur Korupsi (Model II)

Prevalensi secara parsial terjadinya Kegagalan Desain (DV) adalah terkecil (3,35%), sementara Tindak Pidana Korupsi adalah yang tertinggi 77,09%.

Angka kejadian terbesar secara parsial adalah pada tahap Tender Konstruksi (77,78%) melampaui Pekerjaan Konstruksi (PK) 68,66%. Adapun secara bersamaan/serempak tahapan Pekerjaan Konstruksi (PK) memiliki peluang terjadinya kasus hukum pada Tindak Pidana Korupsi (CA) tertinggi dengan nilai 22,33%. Secara grafis kedua jenis perhitungan ini dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 6. Tindak Pidana Korupsi (CA) secara Parsial



Gambar 7. Prevalensi Unsur Tipikor Secara Serempak/Bersamaan

KESIMPULAN

Kesadaran akan pentingnya peningkatan pemahaman dan kewaspadaan terhadap potensi kegagalan konstruksi dan kegagalan bangunan merupakan salah satu upaya preventif terhadap kelangsungan dan keberlanjutan konstruksi.

Pada riset ini, salah satu sisi tinjauan terkait aspek hukum konstruksi, masih didominasi oleh potensi dan angka kejadian tindak pidana korupsi yang cukup signifikan. Dibutuhkan berbagai strategi dan metode pembelajaran, baik terhadap mahasiswa teknik, lulusan baru maupun professional, yang lebih intensif terhadap kepedulian dan perhatian yang sangat serius terhadap aspek hukum konstruksi.

Hal ini dibuktikan dalam riset ini dengan beberapa butir kesimpulan, antara lain:

- Pada model I, dari 206 kejadian kasus yang diamati, porsi terbesar (32,52%) adalah pada tahap Pekerjaan Konstruksi (PK) dan yang terkecil Perencanaan (P) 5,83%.
- Prevalensi terbesar secara parsial adalah pada tahap Tender Konstruksi (77,78%).
- Prevalensi kasus hukum pada Tindak Pidana Korupsi (CA) tertinggi dengan nilai 22,33% secara bersamaan/serempak pada tahapan Pekerjaan Konstruksi (PK).
- Pada model II, dari 179 kejadian kasus yang diamati, porsi terbesar (77,09%) adalah berupa Tindak Pidana Korupsi (CA).
- Secara parsial angka kejadian Kegagalan Konstruksi (CF) dan Tindak Pidana Korupsi (CA) masing-masing 1% untuk unsur Penyusunan (B) menempati urutan tertinggi.
- Kasus Tindak Pidana Korupsi (CA) merupakan yang terbesar prevalensinya secara serempak/bersamaan untuk unsur Penyusunan (B) dengan nilai 0,7%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada jajaran Aparat Penegak Hukum/APH (Kepolisian dan Kejaksaan), khususnya Direktorat Tindak Pidana Korupsi, Badan Reserse Kriminal, Kepolisian Negara RI; Direktorat Reserse Kriminal Khusus, Kepolisian Daerah Metro Jaya beserta jajarannya di Kepolisian Resor yang dibina, Keplosoan Daerah Jawa Timur, Kepolisian Resor Tuban dan Kejaksaan Negeri di Wilayah DKI Jakarta, Kabupaten Bekasi, Kabupaten Tangerang dan Kota Tarakan, serta beberapa Konsultan Hukum dan kantor pengacara yang telah memberikan kontribusi dan masukan pada isi tulisan ini, khususnya terkait dengan data, informasi dan pengetahuan yang dibutuhkan pada penanganan kasus-kasus jasa konstruksi sehingga tulisan ini dapat tersusun.

DAFTAR PUSTAKA

Abd El-Razek et al. 2008. Causes of Delay in Building Construction Projects in Egypt, [Journal of Construction Engineering and Management](#) 134(11) · November 2008.

- Aibinu dan Jagboro 2002; The effects of construction delays on project delivery in Nigerian construction industry [International Journal of Project Management](#) 20(8):593-599 · November 2002
- A.M. Magdy, M. Georgy, H. Osman, 2016. Ontology-based investigation of construction delay analysis methodologies in Egypt, [Alexandria Engineering Journal](#), [Volume 55, Issue 2](#), Pages 1515-1539
- Bank Dunia, 2018. Pertumbuhan Indonesia Terus Berlanjut Berdasarkan Ekonomi yang Kokoh, Siaran Pers, 27 Maret 2018. <https://www.worldbank.org/in/news/press-release/2018/03/27/indonesia-continues-to-build-on-solid-economic-growth>
- Bisnis.com, 2018. Sektor Konstruksi Makin Menggeliat, 5 November 2018. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20181105/45/856681/sektor-konstruksi-makin-menggeliat>
- Doloi et al. 2012. Analysing Factors Affecting Delays In Indian Construction Projects, [International Journal of Project Management](#) 30(4) · May 2012
- Fugar, F. D., & Agyakwah-Baah, A. B., 2010. Delays in building construction projects in Ghana. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, *The*, 10(1/2), 128.
- Graycar, Adam, 2014. Awareness Of Corruption In The Community And Public Service: A Victorian Study. *Australian Journal of Public Administration*, 73(2), 271–281.
- Hardjomuljadi, Sarwono, 2018. Komite Nasional Keselamatan Konstruksi, Kementerian PUPR.
- Oliver, Douglas L., PE., 2009. Engineers and White-Collar Crime, *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, [Volume 1 Issue 1 - February 2009](#).
- Makarim, Chaidir Anwar, 2019. Presentasi Tentang Peran Arbitrase dan APS dalam Sektor Konstruksi pada Pekan Ilmiah Tahunan 2019, Intakindo, Tangerang Selatan.
- Price Waterhouse Coopers, 2019. The World in 2050 The long view: how will the global economic order change by 2050? <https://www.pwc.com/gx/en/issues/economy/the-world-in-2050.html#downloads>
- Quapp, Ulrike and Holschemacher, Klaus, 2014. The Importance Of Construction Law Teaching In Civil And Structural Engineering Education, ResearchGate.
- Sweis et al., 2008. Cost Overruns in Public Construction Projects: The Case of Jordan, [Journal of American Science](#). Reasearchgate.
- Turner & Townsend, 2019. <http://www.turnerandtowntsend.com/en/search/?q=At+present%2C+the+construction+boom+is+slowing+down%2C+but+the+industry+is+not+stagnant>

Disponsori oleh:



PT WIJAYA KARYA (Persero) Tbk.



<https://knpts.ftsl.itb.ac.id>

ISSN 2477-00-86

