




Penelitian

TOHAR MEDIA

IRIANTO

CAMPURAN ASPAL PLASTIK

Kekuatan dan Ketahanan Campuran AC-Wc



**CAMPURAN
ASPAL PLASTIK**
(Kekuatan Dan Ketahanan Campuran Ac-Wc)

PENULIS
Irianto

Penerbit
TOHAR MEDIA

Campuran Aspal Plastik

“Kekuatan dan Ketahanan Campuran AC-Wc”

Penulis : Irianto

ISBN : 978-623-5603-38-4

Desain Sampul dan Tata Letak

Ai Siti Khairunisa

Penerbit

CV. Tohar Media

Anggota IKAPI No. 022/SSL/2019

Redaksi :

JL. Rappocini Raya Lr 11 No 13 Makassar

JL. Hamzah dg. Tompo. Perumahan Nayla Regency Blok D No.25 Gowa

Telp. 0852-9999-3635/ 0411 8987659

Email : toharmedia@yahoo.com

Website : <https://toharmedia.co.id>

Cetakan Pertama September 2021

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik termasuk memfotocopy, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (Tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak **Rp. 5.000.000.000,00 (Lima Miliar Rupiah)**
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat 1, dipidana paling lama **5 (lima tahun)** dan/atau denda paling banyak **Rp. 500.000.000,00 (Lima Ratus Juta Rupiah)**

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas karunia-Nya sehingga penulisan buku ini dapat terselesaikan ditengah tengah aktivitas yang sangat padat dengan skala prioritas yang tak kalah mendesak. Buku “ Campuran Aspal Plastik (Kekuatan dan Ketahanan Campuran AC-WC) “ ini merupakan hasil penelitian yang dilakukan dalam jangka waktu yang cukup Panjang.

Plastik merupakan limbah yang memberikan dampak negative terhadap lingkungan karena membutuhkan waktu yang lama untuk terurai, dan merupakan limbah yang paling banyak di buang di tengah masyarakat. Hal ini yang menjadi inspirasi bagi penulis dalam membuat tulisan tentang pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal pada lapisan AC-WC.

Buku ini hadir sebagai bentuk kontribusi kepada masyarakat yang memberikan kepuasan sendiri dan diharapkan dapat membawa perubahan kemajuan peradaban kepada umat manusia. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan Buku ini dan semoga memberikan manfaat untuk semua kalangan, baik akademisi maupun praktisi khususnya bidang konstruksi sarana dan prasarana jalan.

penulis

DAFTAR ISI

Halaman Depan _i

Halaman Penerbit _ii

Kata Pengantar _iii

Daftar Isi _iv

Bab 1. Pendahuluan _1

**Bab 2. Isu Penggunaan Limbah Plastik Pada Campuran
Beraspal _9**

Bab 3. Aspal Minyak _13

3.1 Aspal (Bitmen) Hasil Destilasi _13

3.2. Aspal (Bitumen) Alam _14

3.3. Aspal (bitumen) modifikasi _14

Bab 4. Asbuton Modifikasi _15

4.1. Asbuton _15

4.2. Retona Blend 55 _16

4.3. BNA Blend _19

Bab 5. Bahan Tambahan Dalam Campuran Aspal _21

5.1. *Thermoplast*, _21

5.2. *Thermosetting*, _22

5.3. Plastik Jenis LDPE _22

5.4. Plastik dan campuran aspal _23

Bab 6. Respon Perkerasan Akibat Pembebanan _27

Bab 7. Pengujian Kuat Tekan _33

7.1. Tegangan _36

7.2. Regangan _37

7.3. *Poisson Ratio* _39

7.4. *Toughness* _41

7.5. *Toughness Index* _43

**Bab 8. Karakteristik Gabungan Plastik PET (Polyethylene
Therephthalate) dan PP dengan Metode XRD _45**

8.1. Skema Penelitian Gabungan Plastik PET dan PP _45

8.2. Hasil Pengujian XRF Limbah Plastik PET dan PP _46

8.3. Hasil Pengujian XRD Limbah Plastik PET dan PP

Transformasi Pemanasan _48

8.4. Karakteristik Fisik dan Kimia Agregat Kasar
dan Halus _51

8.5 Karakteristik Fisik dan Kimia Asbuton Modifikasi
(Retona Blend 55) _55

8.6. Penentuan Gradasi Campuran _58

8.7. Rancangan dan Komposisi Campuran
AC-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan _59

8.8. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)
Campuran AC-WC Berdasarkan
Metode Marshall _60

Bab 9. Rancangan dan Komposisi Campuran AC-WC

Transformasi Limbah Plastik PET dan PP

9.1. Volumetrik Campuran AC-WC Transformasi

Limbah Plastik PET dan PP _71

Daftar Pustaka _87

Bab 1

Pendahuluan

Pada pembangunan prasarana 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.

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 layan 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, 2018). 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 pemasalahan 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 persen 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.

Menurut *Indonesia Solid Waste Association* (2013), jenis limbah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5,4 juta ton per tahun dan Indonesia 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*), di mana plastik yang tergolong jenis ini bersifat *thermoplast*, dapat dicetak berulang-ulang (mudah didaur ulang), dan memiliki densitas antara 0,910 – 0,940 gr/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 bahasan baik di dalam maupun luar negeri yang meneliti pemanfaatan limbah plastik dalam campuran aspal telah dilakukan.

Sojobi *et al.*, 2016 melakukan bahasan tentang efek dari daur ulang botol plastik (PET) yang digunakan pada aspal beton dalam perkerasan lentur. Hasil bahasan menunjukkan bahwa dari penambahan 0, 5, 10, dan 20% kadar plastik terhadap kadar aspal optimum, maka diperoleh sebesar 16,7% kadar plastik optimum. Karakteristik Marshall juga memperlihatkan peningkatan yang baik sehingga sampah botol plastik (PET) dianjurkan digunakan dalam campuran aspal beton yang juga menimbang dari keuntungan ekonomi serta lingkungan.

Soltani *et al.*, 2015 mengevaluasi efek dari diterapkannya tegangan dan temperatur pada umur kelelahan dari suatu campuran aspal modifikasi *Polyethylene Terephthalate* (PET) menggunakan *response surface methodology* (RSM). Hasil bahasan menunjukkan bahwa umur kelelahan dipengaruhi dari parameter yang dipilih. Variasi temperatur sangat berpengaruh pada umur kelelahan dibandingkan variasi tegangan dan kadar plastik (0 – 1% dari berat agregat).

Moghaddam *et al.*, 2015 mengkarakterisasi sifat dari campuran *stone mastic asphalt* (SMA) yang mengandung limbah PET yang termasuk tipe dari polimer. Diperoleh Kadar aspal optimum diperoleh pada angka 5,88% dengan penambahan 0,18% PET.

Prasad *et al.*, 2015 meringkas beberapa hasil bahasan penambahan limbah plastik PET ke dalam campuran beton aspal

dari pengujian data primer dengan berbagai teknik pencampuran. Penggunaan limbah plastik pada konstruksi jalan dapat menyelesaikan permasalahan lingkungan, meningkatkan umur layanan jalan. Salah satu teknik yang baik dalam pencampuran plastik ke dalam campuran beton aspal, yaitu dengan cara mencampur plastik hingga bisa menyelimuti agregat. Ketika menggunakan metode pencampuran kering maka dapat menghemat penggunaan aspal sebesar 10%. Ketika menggunakan metode pencampuran basah maka plastik dihancurkan hingga menjadi bubuk dan plastik dicampur ke dalam aspal. Penggunaan parutan plastik lebih direkomendasikan karena membuat campuran aspal lebih tahan lama. Dengan menambahkan plastik ke bitumen aspal maka akan menahan campuran beton aspal ketika suhu meningkat.

Soyal, 2015 mengembangkan teknik penggunaan limbah plastik pada konstruksi jalan (perkerasan lentur). Hasil bahasan menunjukkan bahwa dengan penambahan limbah plastik ke dalam campuran maka akan meningkatkan sifat pengikatan dari aspal, stabilitas, kepadatan, dan lebih tahan dari air. Stabilitas menurun ketika ditambahkan lebih kadar plastik lebih 4%. Penambahan plastik juga akan menyebabkan campuran lebih tahan kepada keretakan dan pembebanan berulang di jalan.

Ahmadinia *et al.*, 2012 menyelidiki evaluasi kinerja terhadap botol plastik PET sebagai bahan tambah pada campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA). Kadar plastik optimum berada pada rentang 4-6 % terhadap berat aspal. Hasil bahasan menunjukkan bahwa penambahan limbah PET ke dalam campuran mempunyai efek positif yang signifikan pada karakteristik SMA dengan

meningkatnya ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (alur), meningkatnya kekakuan dalam campuran.

Moghaddam *et al.*, 2012 menyelidiki efek dari penambahan limbah PET pada karakteristik kekakuan dan kelelahan campuran SMA. Hasil bahasanya menunjukkan bahwa dengan penambahan limbah botol plastik dalam jumlah sedikit akan meningkatkan modulus kekakuan serta dapat meningkatkan umur kelelahan campuran beton aspal.

Ahmadinia *et al.*, 2012 menentukan efek dari penggabungan limbah botol plastik PET pada campuran SMA. Hasil bahasan menunjukkan bahwa dengan penambahan limbah PET ke dalam campuran memberikan efek positif yang signifikan dari karakteristik SMA. Dilihat dari peningkatan nilai MQ maka dengan penambahan PET ke dalam campuran akan meningkatkan kekakuan campuran. Dengan penambahan VIM, maka akan meningkatkan kepadatan campuran. Kadar limbah PET yang optimum diperoleh 6% dari berat aspal. Selain itu hasil pengkajian juga telah dilakukan dengan penambahan limbah plastik menjadikan campuran beraspal lebih kuat dan mempunyai durabilitas yang tinggi (A. Maal, dkk., 2017).

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 &

Siegfried, 2006).

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).

Bab 2

Isu Penggunaan Limbah Plastik Pada Campuran Beraspal

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 bahasan 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.

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 bahasan 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, *et al.* (2015) memperoleh hasil bahasan 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, *et al.* (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 sintetis 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 dan berkontribusi pada isu lingkungan, 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.

Aspal Minyak

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis (setelah fase elastis) sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan sesuai dengan suhu pemanasan aspal dan sebaliknya akan mengeras kembali bila tidak mendapat cukup pemanasan (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Buku 1, Petunjuk Umum).

3.1. Aspal (bitumen) hasil destilasi

Minyak mentah disuling dengan cara destilasi, yakni suatu proses dimana bitumen dipisahkan dari minyak mentah tersebut. Proses destilasi ini disertai oleh kenaikan atau meningkatnya temperatur pemanasan minyak mentah tersebut. Aspal (bitumen) hasil destilasi (penyulingan) ini yang kemudian dalam penggunaannya yang berbeda-beda sehingga aspal (bitumen) ini diklasifikasikan lagi menjadi : (1) aspal keras yang biasa digunakan untuk campuran *hot-mix*, (2) aspal (bitumen) cair digunakan untuk peruntukan sebagai lapis perekat dan sebagai lapis peresap dalam dunia perkerasan jalan dan (3) aspal emulsi yang diperuntukkan

dan digunakan sebagai lapis perekat dan sebagai lapis peresap serta sebagai perekat dalam campuran aspal dingin (*cold mix*) dengan memanfaatkan aspal emulsi sebagai bahan pengikat.

3.2. Aspal (bitumen) alam

Aspal (bitumen) alam adalah aspal yang secara alamiah terjadi di alam. Berdasarkan depositnya aspal (bitumen) alam dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok, yakni aspal (bitumen) danau dan aspal (bitumen) yang berbentuk batu. Aspal (bitumen) danau secara alamiah terdapat di danau Trinidad, Venezuela dan aspal (bitumen) yang berbentuk batu secara alamiah terdapat di daerah Kentucky dan di daerah Pulau Buton Provinsi Sulawesi Tenggara-Indonesia. Aspal (bitumen) dari deposit ini terbentuk dalam celah-celah batuan yang berbentuk kapur dan batuan pasir yang ada di daerah tersebut.

3.3 Aspal (bitumen) modifikasi

Aspal (bitumen) yang berbentuk modifikasi ini dibuat dengan cara mencampur dan memodifikasi aspal keras penetrasi 60/70 dengan suatu bahan tambah atau biasa disebut sebagai *additive* yang dimanfaatkan sebagai bahan substitusi. Bahan tambah yang biasanya dipakai adalah polymer yang saat ini banyak digunakan dalam dunia perkerasan jalan. Oleh karena itu, aspal (bitumen) modifikasi sering juga disebut sebagai aspal (bitumen) *polymer modified*.

Asbuton Modifikasi

4.1. Asbuton

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). Aspal yang dimodifikasi sebagai campuran aspal panas haruslah jenis Asbuton, dan elastomeric latex atau sintetis dan memenuhi ketentuan spesifikasi 2010 Bina Marga revisi 3. Aspal modifikasi memiliki kelebihan dalam mengatasi deformasi plastis pada suhu/temperatur rendah. Beberapa contoh Asbuton modifikasi yang ada digunakan adalah Retona dan BNA blend. Tabel 1 memperlihatkan persyaratan aspal yang dimodifikasi dengan aspal alam.

Tabel 4.1. Persyaratan aspal dimodifikasi dengan aspal alam (Buku 1, Dirjen Bina Marga, 2006: Pemanfaatan Asbuton)

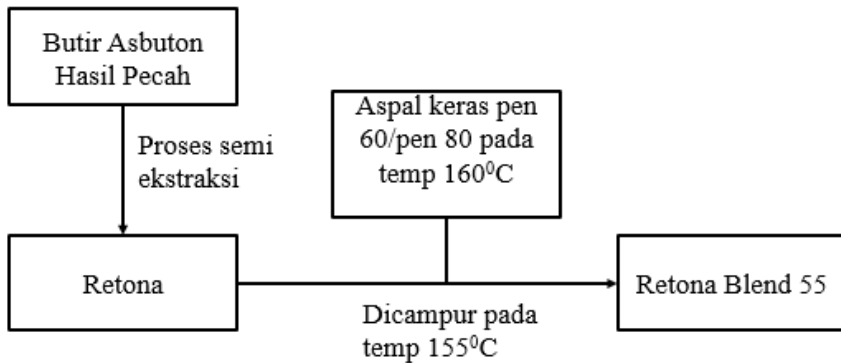
Jenis pemeriksaan	Persyaratan
Penetrasi (25°C, 5 detik, 0.1mm)	40-55
Titik Lembek	Min. 55
Titik Nyala	Min. 225
Daktilitas (25°C)	Min. 50
Berat Jenis (25°C)	Min. 1.0
Kelarutan Dalam <i>Tricholor Etyhylen</i> ; %Berat	Min. 90
Penurunan Berat (dengan TFOT); % Berat	Maks. 2
Penetrasi Setelah Kehilangan Berat; % Asli	Min. 55
Daktilitas Setelah TFOT; % Asli	Min. 50
Mineral Lolos Saringan No. 100; %	Min. 90

4.2. Retona Blend 55

Refinery Buton asphalt (retona) adalah Asbuton Kabungka atau Lawele yang telah dikurangi jumlah mineral di dalamnya (dengan cara semi ekstraksi 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 *pugmill* yang berisi agregat (Soehartono, 2015).

Asbuton 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 bahasan ini 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 Gambar 1. Retona blend 55 merupakan suatu produk Asbuton yang telah mengalami proses semi ekstraksi dan dicampur dengan aspal keras pen 60 atau 80 dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal panas (*hot mix*).



Gambar 4.1. Alur proses pembuatan Asbuton modifikasi *Blend 55* secara pabrikasi

Penggunaan Retona diharapkan dapat mengatasi kelemahan aspal penetrasi 60/70 tersebut. Asbuton Modifikasi dikembangkan melalui proses penyulingan dan ekstraksi Asbuton. Proses tidak mengeluarkan semua mineral dari Asbuton, tetapi hanya mempertahankan *Refinery Buton Asphalt* (Retona). Asbuton Modifikasi tersebut dieksplorasi oleh PT. Olah Bumi Mandiri yang

diproduksi di Jakarta. Asbuton Modifikasi ini merupakan bahan *additif* (tambahan) campuran aspal minyak, guna mempertinggi kualitas titik leleh. Dalam bahasan ini jenis Retona yang digunakan adalah Retona Blend 55 yang dapat langsung dipakai seperti aspal biasa. Retona Blend 55 adalah campuran antara aspal minyak penetrasi 60 atau penetrasi 80 dengan Asbuton hasil olahan semi ekstraksi (*refinery Buton asphalt*). Asbuton hasil olahan semi ekstraksi yaitu telah dipisahkan antara bitumen dan mineral dari aspal Buton secara pabrikasi. Keunggulan yang dimiliki aspal buton tipe Retona Blend 55 yaitu :

1. Meningkatkan kestabilan, ketahanan *fatigue* dan keretakan akibat temperatur.
2. Kekuatan adhesi dan kohesi yang tinggi karena, nitrogen base 5.6 ($\pm 400\%$).
3. Usia pelayanan lebih lama (minimal 2 kali).
4. Material asing telah dihilangkan dalam proses.
5. Langsung dipakai seperti aspal biasa.
6. Mutu sangat tinggi.
7. Stabilitas Marshall > 1300 .
8. Stabilitas dinamis > 3000 .
9. Tahan terhadap air.
10. Stabilitas dinamis naik hingga 400% (rata-rata di atas 3000 lintasan/menit).

4.3. BNA Blend

BNA blend (*Buton Natural Asphalt*) adalah produk aspal modifikasi yang berasal dari pencampuran aspal Buton yang diproses dengan metode semi ekstraksi dan aspal minyak dengan komposisi tertentu.. BNA Blend memiliki beberapa keunggulan yaitu :

1. Adhesifitas Tinggi/Ketahanan Terhadap Air

Kehadiran air selalu berpengaruh buruk terhadap kinerja dari perkerasan jalan aspal. Water stripping akan memperlemah ikatan aspal-agregat, yang berakibat pada timbulnya raveling, pot hole dan pelemahan struktur maupun kerusakan yang secara vital dapat terjadi. Uji Boiling test (ASTM 3625) menunjukkan bahwa Aspal dengan jenis BNA Blend mempunyai ketahanan terhadap water stripping (ketahanan terhadap air) yang sangat tinggi sehingga berpotensi besar untuk meningkatkan kualitas jaringan jalan.

2. Stiffness Modulus Tinggi

Uji DSR (*Dynamic Shear Rheometer*) menunjukkan bahwa modulus Aspal 1 kPa dicapai pada suhu 72°C. Hal ini menunjukkan bahwa dalam klasifikasi PG Grading BNA BLEND masuk pada kategori Aspal PG-70, dua grade di atas Aspal Minyak Pen 60/70 pada umumnya. Konfirmasi tingginya modulus Aspal BNA Blend juga ditunjukkan oleh hasil uji wheel tracking yang jauh lebih tinggi dibandingkan aspal minyak. Dengan stabilitas dinamis yang tinggi tersebut BNA Blend cocok diaplikasikan pada jalan-jalan berlalu lintas padat dan berat.

3. Softening Point Tinggi

Softening Point BNA Blend adalah 55°C, lebih tinggi dari aspal standar sehingga dapat diaplikasi problema-problema yang berhubungan dengan temperatur tinggi seperti *Bleeding, Rutting & Showring*.

4. Tahan retak

Percobaan penghampanan *Hot Mix* BNA Blend pada jalan yang retak menunjukkan bahwa setelah 3,5 tahun tidak terjadi *Reflective Cracking* dan atau *Pot Hole*.

5. *Workable*

Proses aplikasi BNA Blend sejak pencampuran dan pematatannya semudah aplikasi Aspal Minyak.

6. Ekonomis & Long Life

Dengan memiliki beberapa keunggulan di atas menjadikan BNA BLEND sebagai produk yang ekonomis karena memiliki ketahanan terhadap kerusakan yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal minyak dan Asbuton lain. Oleh karena itu, BNA Blend dimungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal.

Bahan Tambah Dalam Campuran Beraspal

5.1. *Thermoplast,*

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 :

- ***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*).
- ***Polyvinilklorida (PVC)*** dengan berat jenis 1,37 –1,39.
- ***Polipropena (PP)***.
- ***Polistirena (PS)*** dengan berat jenis 1,04 -1,09.

- **Polycarbonate (Other) dengan berat jenis 1,2.**

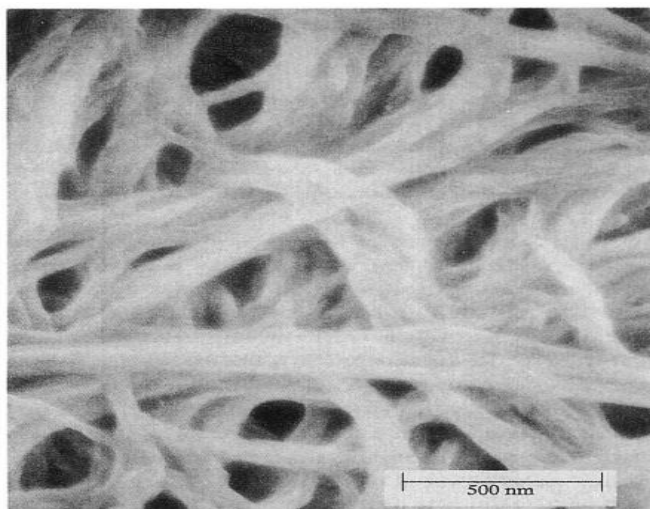
5.2. Thermosetting,

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.

5.3. Plastik Jenis LDPE

Plastik jenis LDPE merupakan plastik tipe cokelat yang dibuat dari minyak bumi. Sifat mekanis jenis plastik LDPE adalah kuat, agak tembus cahaya, mempunyai sifat fleksibilitas yang tinggi, dan permukaan agak berlemak. Pada suhu 60°C sangat resisten terhadap senyawa kimia. Selain itu, plastik jenis ini mudah diproses, mudah larut dalam campuran, daya proteksi terhadap uap air tergolong baik, serta memiliki berat jenis 0,91–0,94 gr/cm³. LDPE termasuk jenis polietilen dengan kerapatan rendah yang diproduksi melalui polimerisasi radikal bebas pada suhu tinggi (200°C) dan tekanan yang tinggi, serta mempunyai titik leleh 115°C (Sunarya, 2011). Adapun yang termasuk plastik jenis LDPE, yaitu

botol plastik, mainan, bahan cetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik, dll.



Gambar 5.1 Permukaan tipis *polyethylene* (Israil, 2012)

5.4. Plastik dan campuran aspal

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 bahasan 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 2 memperlihatkan perbedaan plastik jenis PP dan PET. Tabel 3 memperlihatkan jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik.

Tabel 5.1 Perbedaan plastik jenis PP dan PET (Wikipedia, 2018)

Perbedaan	Plastik PP	Plastik PET
Kimia	$(C_3H_6)_x$	$C_{10}H_8O_4$
Karakteristik	Lembut dan terasa berilin, lebih ringan dalam kualitas dan memiliki transparansi tertentu	Stabilitas kimia yang tinggi, property higienis yang baik dan ketahanan panas yang tinggi
Bahan Dasar	Polymer	Polyester
Titik lebur	160°C	260°C
Densitas	0,855 g/cm ³	1,4 g/cm ³

Tabel 5.2 Jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik (Syarif, *et.al.* dalam Nurminah (2002))

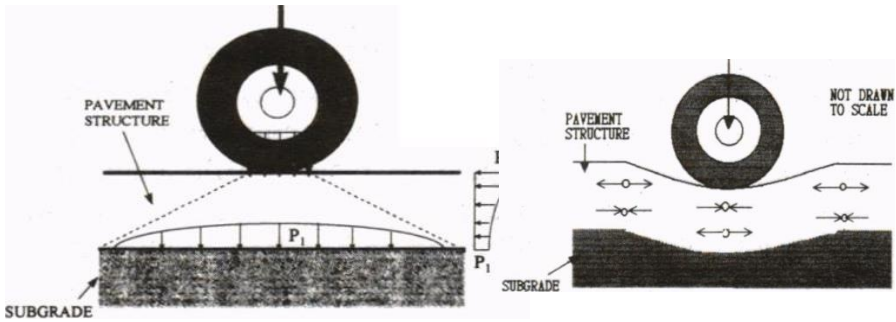
Simbol Daur Ulang	Jenis Plastik	Sifat-sifat	Aplikasi kemasan
	Polietilen Tereftalat (PET, PETE)	Bening, kuat, tangguh non permeabel (gas dan uap air)	Soft drink, botol air-salad keju kacang
	High Density Polietilen	Kaku, kuat, tangguh, tahan lembab,	Susu, jus buah, kantong belanja
	Polivinil Klorida (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

 <p>05 PP</p>	<p>Polipropilen (PP)</p>	<p>Kuat, tangguh, tahan panas, minyak bahan kimia, tahan lembab</p>	<p>Peralatan dapur, peralatan microwave, wadah yoghurt, piring dan mangkok sekali pakai</p>
 <p>06 PS</p>	<p>Polistiren (PS)</p>	<p>Mudah dibentuk dan diproses</p>	<p>Karton telur, styrofoam, mangkuk sekali pakai</p>
 <p>07 O</p>	<p>Plastik lain (Polikarbonat atau ABS)</p>	<p>Tergantung dari jenis polimernya</p>	<p>Botol minuman, botol susu bayi, barang-barang elektronik</p>

Respon Perkerasan Akibat Pembebanan

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.

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*.



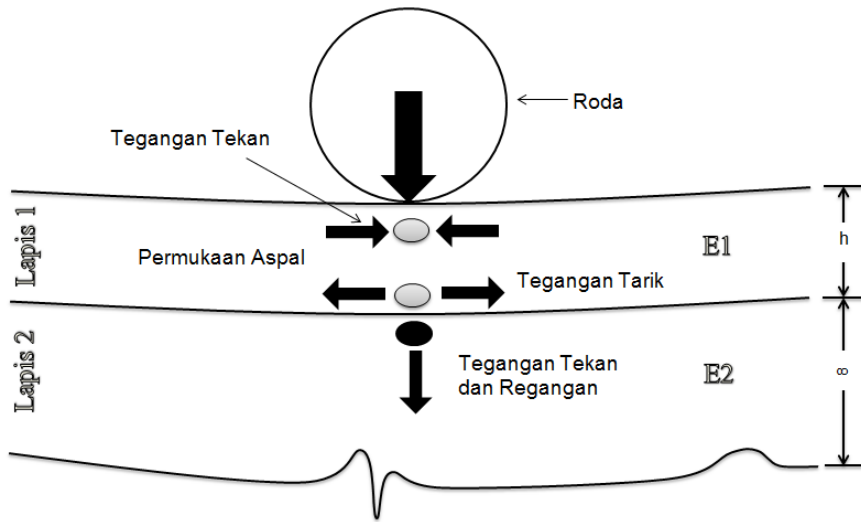
Gambar 6.1 Kinerja perkerasan lentur

Analisis didasarkan pada pendekatan desain mekanistik (Croney *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 :

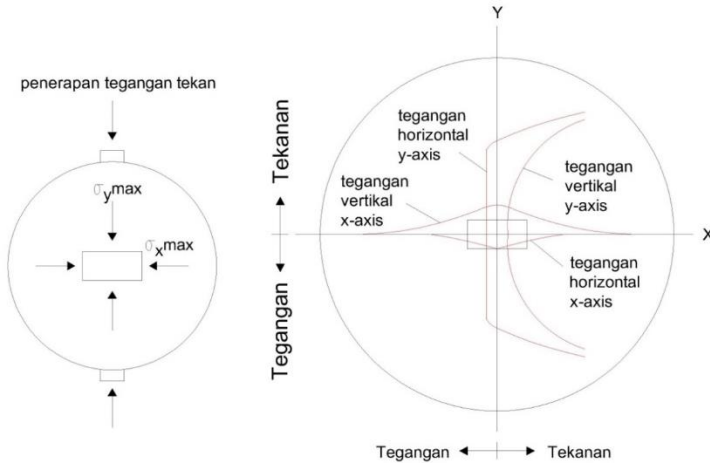
- a. Distribusi tegangan-regangan tiga dimensi lebih tinggi dari lapisan aspal-permukaan.
- b. Tegangan tarik horizontal dan reganganyang terjadi di zona bawah ($[h-1]$ mm) dari lapisan aspal permukaan yang merupakan parameter kerusakan pada perkerasan akibat kelelahan dan mengakibatkan terjadinya retak.

Gambar 6.2 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 4, 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 6 memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada lapis perkerasan jalan.

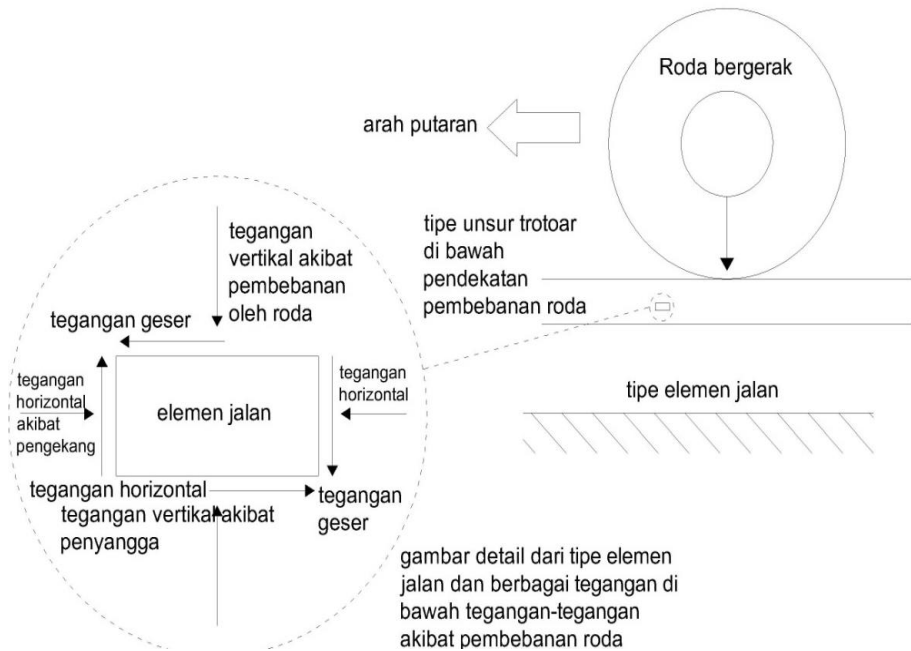


Gambar 6.2. Sistem perkerasan dua lapis (Walubita, 2000)



Gambar 6.3 Distribusi tegangan dan tekanan (*The Shell Bitumen Handbook: Stephen B., 2015*)

Berdasarkan Gambar 6.3 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 6.4 Penjabaran tegangan-tegangan (*The Shell Bitumen Handbook: Stephen B., 2015*)

Gambar 6.4 memperlihatkan penjabaran tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan. Berdasarkan Gambar 6 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.

Pengujian Kuat Tekan (*Unconfined Compression Test*)

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

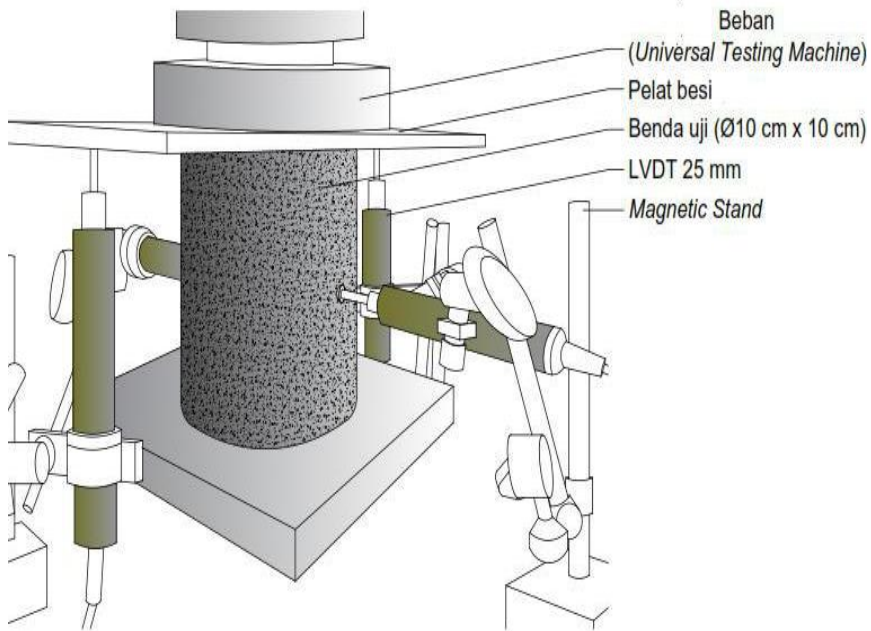
keluaran dari pengujian kuat tekan yaitu hubungan antara nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada lapis perkerasan.

Starodubsky dkk, (1994) melakukan bahasan 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. Bahasan 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, 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 7.1 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 7. 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*.

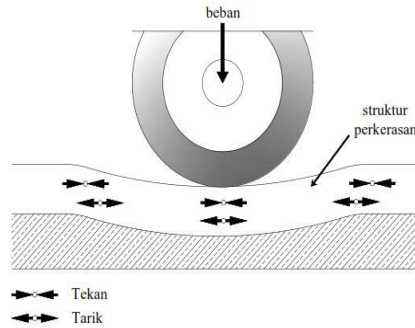
ASTM mengeluarkan pedoman dalam pengujian *compressive strength* dengan kode D1074-09 (*Standart test method for compressive strength of bituminous mixtures*).

7.1. Tegangan

Proses pembebanan yang dilakukan secara terus menerus pada suatu material akan menghasilkan tegangan dan implikasinya menghasilkan regangan. Tegangan merupakan intensitas beban reaksi pada setiap titik dalam material yang dikenakan oleh beban layanan atau beban rencana, umur layan dari perkerasan jalan, kondisi perakitan, fabrikasi, dan perubahan termal atau perubahan suhu yang terjadi pada material (Jastrzabski, 1987).

Tegangan (*stress*) menyatakan besarnya beban maksimum yang dapat diterima terhadap luas penampang suatu benda, atau dapat dikatakan gaya yang bekerja sebanding dengan panjang benda dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya.

Pada lapisan perkerasan, beban lalu lintas yang ada melewati lapisan perkerasan dapat menyebabkan tegangan tekan, yaitu pada lapisan bagian atas, serta tegangan tarik pada lapisan bagian bawah seperti yang ditampilkan pada Gambar 7.2



Gambar 7.2 Tegangan yang terjadi pada lapisan perkerasan
(Highway Materials, Soils and Concretes (Atkins, 2003))

Tegangan dinyatakan dalam persamaan 1.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

σ = Tegangan (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas penampang (mm²)

7.2. Regangan

Regangan menyatakan deformasi relatif akibat adanya tegangan (tarik atau tekan) (Walubita, 2000). Nilai regangan diperoleh dari hasil perbandingan antara besarnya perubahan dimensi (ΔL) yang terjadi akibat pembebanan terhadap dimensi mula-mula (L_0), atau dituliskan dengan persamaan 2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

ε = Regangan (mm)

ΔL = Perubahan panjang (mm)

L_0 = Panjang mula-mula (mm)

1. Elastisitas

Berdasarkan hokum *Hooke*, rasio nilai tegangan terhadap nilai regangan merupakan karakteristik tetap dari sebuah material, dan nilai keseimbangan ini disebut moulus elastisitas (Jastrzabski, 1987). Modulus Elastisitas atau Modulus Young merupakan perbandingan konstan antara tegangan dan regangan aksial yang terjadi pada suatu material dalam deformasi yang elastis, atau nilai modulus elastisitas dapat dinyatakan dalam persamaan 3.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

E = Elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan

Pengujian kuat tekan merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengetahui tegangan-regangan dalam

campuran aspal. Parameter kurva tegangan-regangan merupakan karakteristik utama dalam campuran aspal.

Modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material, sehingga semakin tinggi nilai modulus elastisitas bahan, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi gaya. Jadi, semakin besar nilai modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi atau semakin kaku. Modulus elastisitas menggambarkan ukuran kemampuan suatu bahan untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami deformasi atau perubahan bentuk.

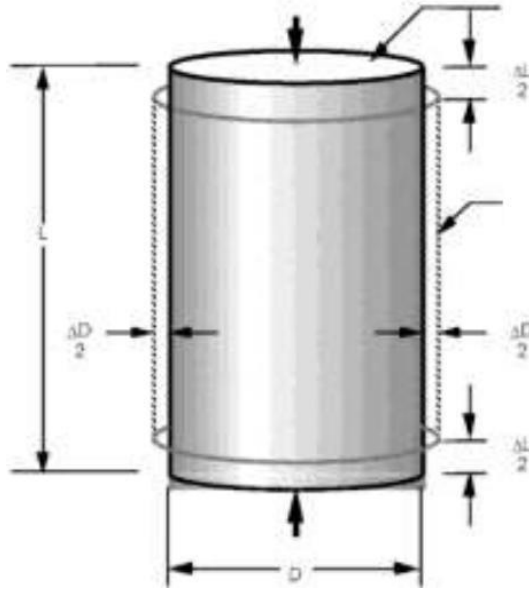
7.3. Poisson Ratio

Salah satu parameter penting yang digunakan dalam analisis respon beban pada sistem perkerasan jalan adalah *poisson ratio*. *Poisson ratio* dapat digambarkan sebagai perbandingan antara regangan horizontal terhadap regangan vertikal dari suatu bahan yang dibebani dengan beban monotonik secara terus menerus hingga mencapai beban ultimate. *Poisson ratio* bervariasi yaitu berada diantara 0 - 0,5. Angka poisson material perkerasan jalan yang berbeda-beda (Huang,1993) dapat ditunjukkan pada Tabel 4. Nilai poisson rasio dapat terjadi pada daerah elastis dan daerah viscoelastis dari suatu material dimana daerah elastis merupakan daerah yang menunjukkan garis lurus pada hubungan tegangan dan regangan.

Tabel 7.1 Angka poisson material perkerasan jalan (Huang, 1993)

Material	Kisaran	Tipikal
Hot mix asphalt (HMA)	0,30 – 0,40	0,35
Portland cement concrete (PCC)	0,15 – 0,20	0,15
Untreated granular materials	0,30 – 0,40	0,35
Cement-treated granular materials	0,10 – 0,20	0,15
Cement-treated fine-grained soils	0,15 – 0,35	0,25
Lime-stablized materials	0,10 – 0,35	0,20
Lime-flyash mixtures	0,10 – 0,15	0,15
Loose sand or silty sand	0,20 – 0,40	0,30
Dense sand	0,30 – 0,45	0,35
Fine-grained soils	0,30 – 0,50	0,40
Saturated soft clays	0,40 – 0,50	0,45

Menurut Taherkhani dkk, (2008) *Poisson ratio* adalah merupakan parameter utama dalam analisis elastik campuran aspal dan juga digunakan dalam analisis *viscoelastic* dan *elasto-viscoplastic*. Dalam analisis viscoelastis merupakan daerah yang dapat terjadi setelah material mengalami fase elastis. Sketsa pengujian poisson ratio dapat ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 7.3 Sketsa pengujian *poisson ratio* (Huang, 1993)

7.4. Toughness

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 10 memperlihatkan diagram hubungan tegangan dan regangan menurut Jastrzabski, 1987.

$$T = \frac{\sigma_y \times \sigma_u}{2} \times \epsilon_f \dots\dots\dots$$

...(4)

$$T = \frac{2}{3} \sigma_u \times \epsilon_f \dots\dots\dots$$

.....(5)

Dimana :

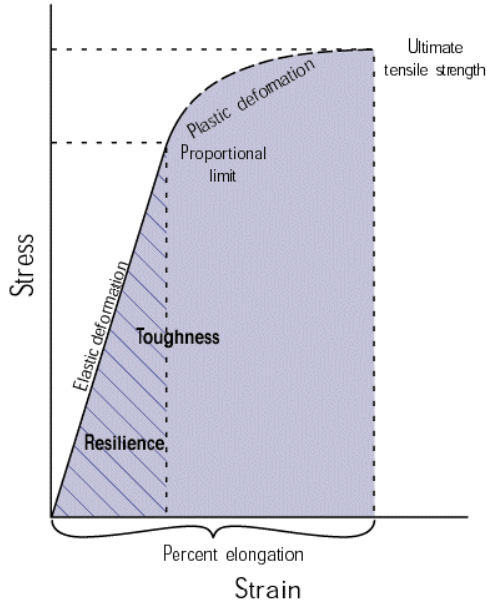
T = Toughness (MPa/mm)

σ_y = Tegangan yield (MPa)

σ_u = Tegangan ultimate (MPa)

ϵ_f = Regangan putus (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).



Gambar 7.4 Diagram tegangan-regangan (Jastrzabski, 1987)

7.5. *Toughness Index*

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 11 memperlihatkan hubungan antara nilai ITS dengan strain. Nilai toughness indeks dapat dihitung dengan persamaan 6.

$$TI = \frac{A\varepsilon - A_p}{\varepsilon - \varepsilon_p} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

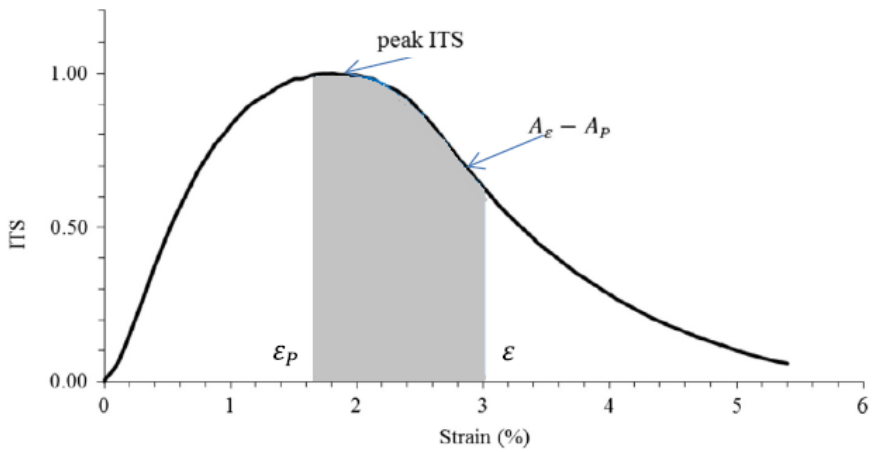
TI = Toughness Indeks

$A\varepsilon$ = Luasan kurva sampai regangan putus

A_p = Luasan kurva sampai regangan ultimate

ϵ = Regangan putus (mm/mm)

ϵ_p = Regangan ultimate (mm/mm)



Gambar 7.5. Hubungan nilai CS dan strain (Modarres, 2013)

Karakteristik Gabungan Plastik PET (Polyethylene Therephthalate) dan PP (Polypropylene) Dengan Metode XRD (X-Ray Diffraction)

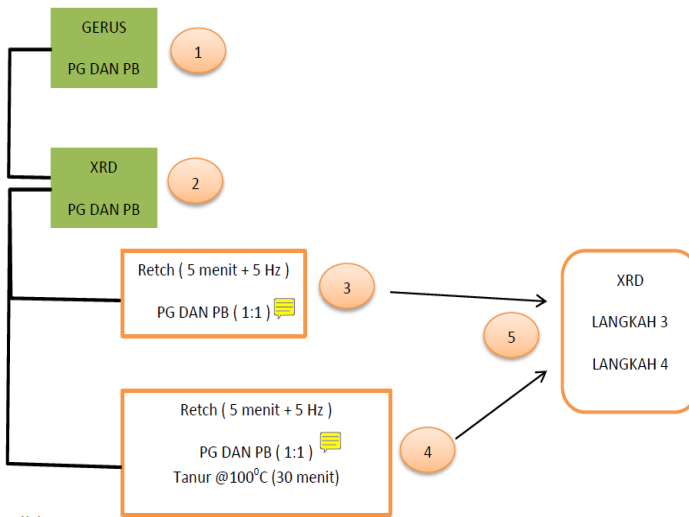
Karakteristik gabungan limbah plastik PET dan PP dilakukan untuk mengetahui limbah plastik PET dan PP dapat menyatu pada suhu dan waktu yang dibutuhkan dengan metode tanpa pemanasan atau dengan pemanasan.

8.1. Skema Penelitian Gabungan Plastik PET dan PP

Gambar 17 memperlihatkan skema penelitian penggabungan plastik PET dan PP dengan menggunakan metode XRD. Adapun langkah-langkah yang dilakukan yaitu :

1. Penggerusan dilakukan untuk memudahkan penyatuan biji plastik.
2. Analisis data difraksi ingin menunjukkan perbedaan spektrum antara PG dan PB.
3. Proses mencampur sampel biji PG dan PB menggunakan frekuensi rendah (tanpa pemanasan).

4. Proses mencampur sampel biji PG dan PB menggunakan frekuensi rendah (pemanasan).
5. Uji XRD langkah 3 dan 4 untuk mengecek metode yang mana memberikan dampak penggabungan terbaik.
6. Jika gagal kembali ke langkah 3 dan 4 dengan pilihan frekuensi yang lebih tinggi.

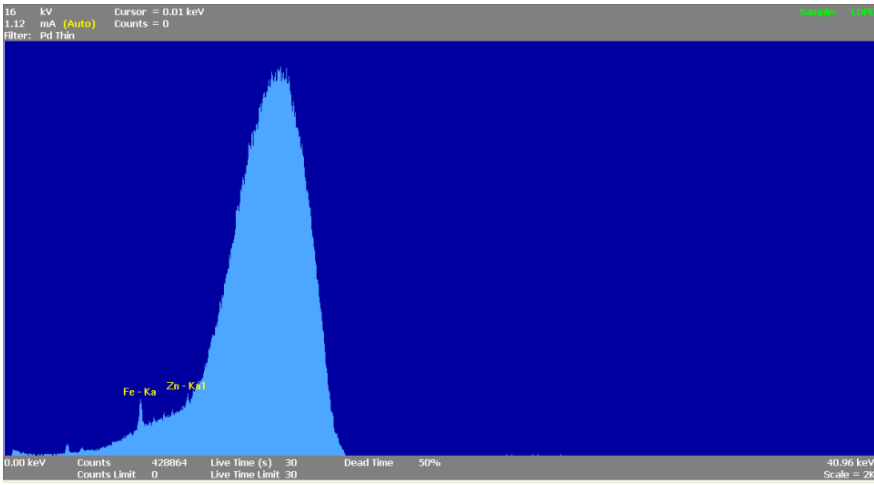


Gambar 8.1 Skema penelitian penggabungan plastik PET dan PP

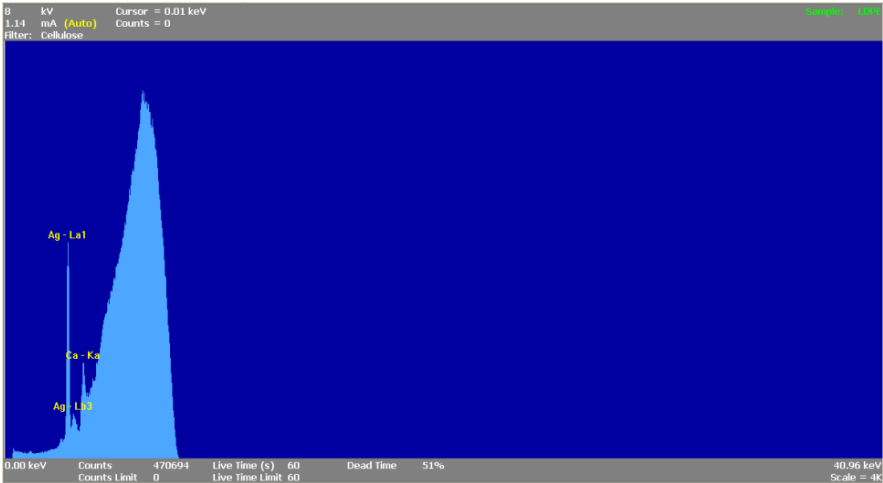
8.2. Hasil Pengujian XRF Limbah Plastik PET dan PP

Gambar 18 dan Gambar 19 memperlihatkan hubungan sudut phase dan intensitas hasil pengujian XRF limbah plastik PET dan limbah plastik PP. Berdasarkan Gambar 18 hasil uji XRF menyatakan keberadaan unsur Fe dan Zn pada masukan arus 1,12 mA sedangkan pada Gambar 19 menyatakan keberadaan Ag dan Ca pada masukan arus 1,14 mA, dimana persentase dari unsur-unsur ini tidak dapat dihitung akibat energi yang dihasilkan terlalu rendah, energi yang terlalu rendah ini dapat disebabkan oleh

limbah plastik jenis PET kemungkinan sudah terlalu termodifikasi dari senyawa asal, jumlah dari unsur-unsur tersebut terlalu sedikit dan limbah plastik jenis PET ini telah didominasi oleh ikatan karbon. Oleh karena itu, dibutuhkan analisis yang lebih kompleks yaitu menggunakan metode XRD (*X-Ray Diffraction*).



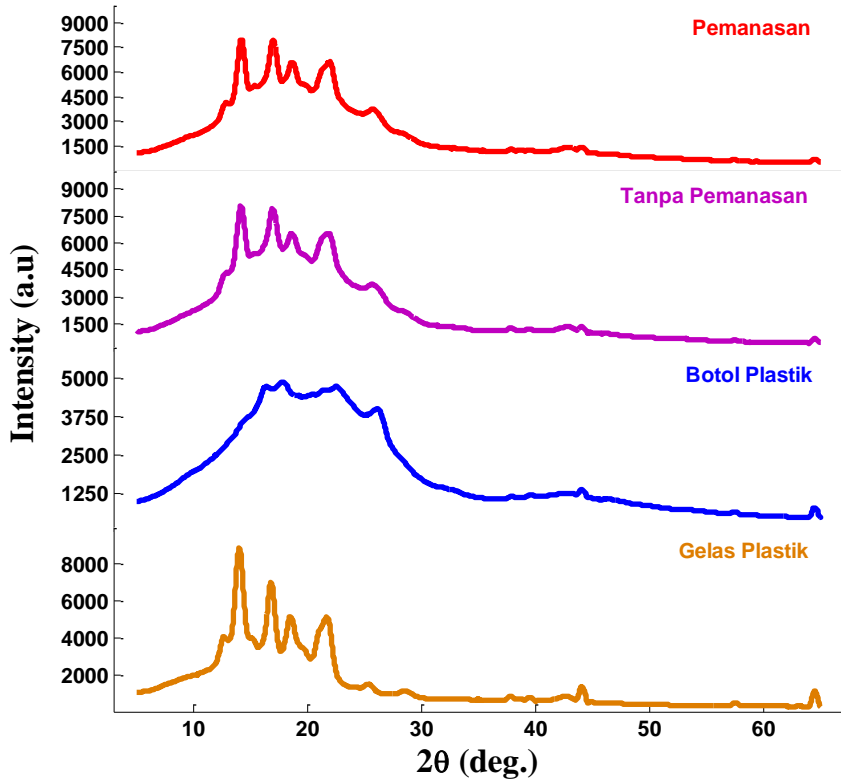
Gambar 8.2. Hasil pengujian XRF plastik PET (Polyethylene Therephthalate)



Gambar 8.3. Hasil pengujian XRF limbah plastik PP
(Polypropylene)

8.3. Hasil Pengujian XRD Limbah Plastik PET dan PP Transformasi Pemanasan

Hasil pengujian XRD limbah plastik PET dan PP yang telah digerus berdasarkan skema penelitian yang ditunjukkan oleh Gambar 17 diperlihatkan pada Gambar 20. Terlihat bahwa pola difraksi yang dihasilkan antara limbah plastik PET, PP maupun gabungan antara kedua jenis plastik ini baik yang diberikan perlakuan pemanasan maupun tanpa pemanasan menunjukkan pola yang sama. Terlihat pula tingkat intensitas yang dihasilkan oleh plastik PET (botol plastik) adalah sebesar 5000 a.u sedangkan limbah plastik PP (gelas plastik) adalah sebesar 8000 a.u. Pada sampel gabungan limbah plastik PET dan PP yang mengalami pemanasan pada suhu 100°C dan tanpa pemanasan adalah sebesar 8000 a.u.



Gambar 8.4. Hasil pengujian XRD limbah plastik PET dan PP

Tabel 10 dan 11 memperlihatkan sudut 2θ limbah plastik PET, PP, gabungan limbah plastik PET dan PP dengan dan tanpa pemanasan. Berdasarkan Tabel 11 dan 12 terlihat bahwa rata-rata scherrer yang dihasilkan pada sampel limbah plastik PET, PP, gabungan limbah plastik PET dan PP dengan dan tanpa pemanasan adalah masing-masing sebesar 9,23 nm, 9,72 nm, 8,74 nm dan 8,58 nm.

Tabel 8.1. Hasil pengujian XRD limbah plastik PET dan PP

Limbah plastik PET				Limbah Plastik PP			
No	2 Theta	FWHM	Scherrer (nm)	No	2 Theta	FWHM	Scherrer (nm)
1	9,87	1,14	7,62	1	10,68	4	2,17
2	11,14	0,9	9,66	2	12,74	1,1014	7,90
3	12,2	1,3066	6,66	3	14,0198	0,939	9,28
4	13,2	1,672	5,21	5	16,791	0,9247	9,46
6	16,42	3,896	2,24	6	18,7777	1,6732	5,24
12	26,16	1,748	5,08	8	21,4412	1,5094	5,83
13	28,62	0,99	9,02	9	25,3856	0,7458	11,89
14	37,88	0,656	13,94	10	28,6565	1,297	6,88
16	39,72	1,24	7,42	11	37,8248	0,6969	13,12
20	44	0,8166	11,43	12	39,4804	0,6436	14,28
23	47,6	1,6	5,91	13	42,6133	1,5733	5,90
24	57,464	0,583	16,92	14	44,0189	0,5947	15,69
25	64,388	0,5409	18,90	15	64,3982	0,5462	18,72
Rata-rata			9,23	Rata-rata			9,72

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola difraksi kedua jenis plastik ini (PET dan PP) baik yang dilakukan dengan pemanasan dan tanpa pemanasan memperlihatkan pola difraksi yang sama namun tingkat intensitas dalam satuan a.u. (absorb unit) yang berbeda. Oleh karena itu, plastik jenis PET dan plastik jenis PP dapat menyatu dengan pemanasan pada suhu 100°C selama 30 menit.

Tabel 8.2. Hasil pengujian XRD gabungan limbah plastik PET dan PP dengan dan tanpa pemanasan

Pemanasan				Tanpa Pemanasan			
No	2 Theta	FWHM	Scherrer (nm)	No	2 Theta	FWHM	Scherrer (nm)
1	12,86	0,9888	8,80	1	12,88	1,203	7,24
2	14,189	0,9416	9,26	2	14,1723	1,0561	8,25
4	16,909	1,305	6,70	4	16,8433	1,7373	5,03
7	21,618	1,8668	4,72	7	21,5502	2,0634	4,27
8	25,76	1,748	5,08	8	25,84	1,8312	4,85
9	28,44	1,384	6,45	9	28,62	1,18	7,57
10	37,854	0,6875	13,30	10	37,8525	0,655	13,96
11	41,74	1,5	6,17	11	39,1866	1,4533	6,32
12	42,96	2,18	4,26	12	42,6832	1,8236	5,09
13	44,02	0,7942	11,75	13	44,0293	0,7147	13,06
14	64,436	0,5196	19,68	14	64,4358	0,545	18,76
Rata-rata			8,74	Rata-rata			8,58

8.4. Karakteristik Fisik dan Kimia Agregat Kasar dan Halus

Pengujian yang dilaksanakan meliputi pengujian karakteristik fisik agregat kasar, agregat halus (abu batu dan filler abu batu), pengujian karakteristik kimia dilaksanakan untuk menganalisa komposisi kimia dari abu batu yang digunakan dalam penelitian ini.

Pemeriksaan karakteristik agregat dilakukan untuk menentukan kelayakan agregat yang digunakan dalam penelitian ini. Tabel 13 hingga Tabel 15 menunjukkan hasil pengujian karakteristik agregat kasar, abu batu dan *filler* dari abu batu.

Tabel 8.4 Karakteristik fisik agregat kasar

No.	Pemeriksaan	Hasil uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
Penyerapan air					
1	Batu pecah 5 – 10 mm	2,07	-	3,0	%
	Batu pecah 1 - 2 cm	2,08	-	3,0	%
Berat Jenis					
Batu pecah 0,5 - 1 cm					
	Berat Jenis Bulk	2,62	2,5	-	-
	Berat Jenis SSD	2,67	2,5	-	-
2	Berat Jenis Semu	2,77	2,5	-	-
Batu Pecah 1 - 2 cm					
	Berat Jenis Bulk	2,62	2,5	-	-
	Berat Jenis SSD	2,68	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,77	2,5	-	-
Indeks Kepipihan					
3	Batu Pecah 0,5 - 1 cm	20,10	-	25	%
	Batu pecah 1 - 2 cm	9,38	-	25	%
4	Keausan Agregat				

Batu Pecah 0,5 - 1 cm	25,72	-	40	%
Batu Pecah 1 - 2 cm	24,36	-	40	%

Tabel 8.5 Hasil pemeriksaan karakteristik abu batu

No.	Pemeriksaan	Hasil Uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan Air	2,79	-	3,0	%
	Berat Jenis Bulk	2,45	2,5	-	-
2	Berat Jenis SSD	2,52	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,63	2,5	-	-
3	Sand Equivalent	89,66	50	-	%

Tabel 8.6 Hasil pemeriksaan karakteristik *filler* (abu batu)

No.	Pemeriksaan	Hasil Uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan Air	2,28	-	3,0	%
	Berat Jenis Bulk	2,60	2,5	-	-
2	Berat Jenis SSD	2,65	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,76	2,5	-	-
3	Sand Equivalent	69,57	50	-	%

Berdasarkan dari hasil pengujian karakteristik agregat kasar (batu pecah), abu batu, serta *filler* abu batu yang ditampilkan terlihat bahwa agregat yang digunakan memenuhi spesifikasi umum tahun 2010 Bina Marga untuk bahan jalan yang disyaratkan. Hasil pengujian karakteristik kimia material yang dilakukan

dengan pengujian XRF berupa karakteristik kimia *filler* abu batu diperlihatkan pada Tabel 16. *Filler* dalam campuran beraspal berfungsi sebagai mineral pengisi.

Tabel 8.7. Karakteristik kimia *filler* abu batu (hasil uji XRF)

Senyawa	Kandungan (%)
SiO ₂	49,36
Al ₂ O ₃	34,19
Fe ₂ O ₃	5,85
CaO	5,96
TiO ₂	0,77
K ₂ O	2,99
P ₂ O ₅	0,27
BaO	0,22
SO ₃	0,18
MnO	0,11
Cr ₂ O ₃	0,02
ZnO	0,00
CuO	0,00

Sumber : Hasil pengujian Lab, Terapan dan Pengembangan Sains FMIPA

Komposisi kimia yang dikandung oleh filler dari abu batu sangat bervariasi dengan unsur mayor yang terdiri dari SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O dan TiO_2 adalah masing-masing sebesar 49,365%, 34,195%, 5,859%, 5,965%, 2,997% dan 0,777%, Selain itu, terdapat juga unsur minor diantaranya P_2O_5 , BaO , SO_3 , MnO , Cr_2O_3 , ZnO dan CuO . Diharapkan unsur-unsur yang terkandung dalam material-material dapat berkontribusi dalam peningkatan karakteristik mekanik campuran beraspal yang menggunakan limbah plastik PET dan PP terutama nilai kuat tekan.

8.5 Karakteristik Fisik dan Kimia Asbuton Modifikasi (Retona Blend 55)

Asbuton modifikasi merupakan bahan pengikat yang digunakan pada penelitian ini, Pemeriksaan karakteristik aspal dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik aspal yang berkaitan dengan kinerja dari aspal itu sendiri. Tabel 17 memperlihatkan hasil pengujian Asbuton modifikasi yang telah dilakukan.

Tabel 8.8. Hasil pemeriksaan karakteristik Asbuton modifikasi

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	
			Min	Max
1	Penetrasi sebelum kehilangan berat (mm)	78,6	60	79
2	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	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	-

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan Lab, Perkerasan Jalan UNHAS

Hasil pemeriksaan karakteristik Asbuton modifikasi yang ditampilkan pada Tabel 17 menunjukkan bahwa aspal yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3, seksi 6 tentang perkerasan beraspal. Tabel 18 memperlihatkan karakteristik kimia Asbuton modifikasi.

Tabel 8.9 Karakteristik kimia Asbuton modifikasi (hasil uji XRF)

Senyawa	Kandungan (%)
SO ₃	69,137
CaO	22,174
SiO ₂	4,281

Cl	1,778
Fe ₂ O ₃	1,196
V ₂ O ₅	1,049
K ₂ O	0,258
NiO	0,097
Cr ₂ O ₃	0,030

Sumber : Hasil pengujian Lab, Terapan dan Pengembangan Sains FMIPA

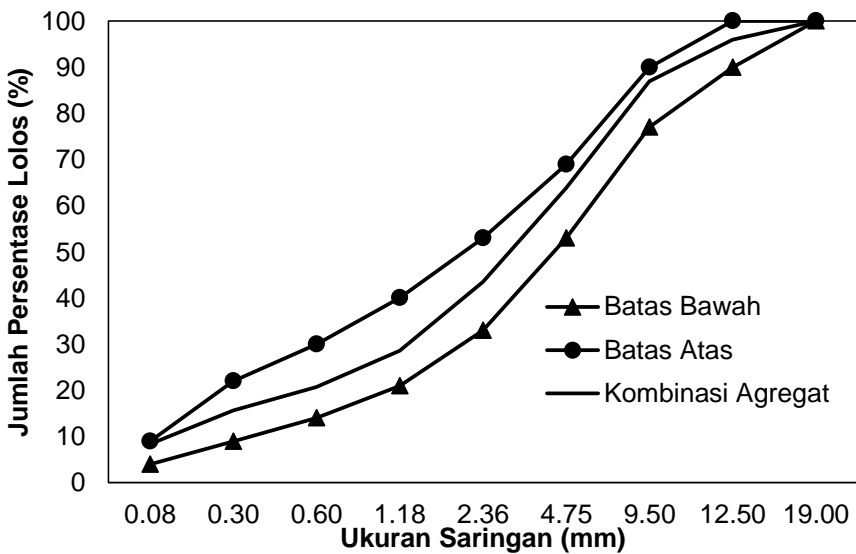
Aspal merupakan senyawa-senyawa kimia yang terdiri dari senyawa hidrokarbon, senyawa nitrogen dan sejumlah senyawa-senyawa kimia lainnya (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015). Hasil uji menunjukkan bahwa kandungan unsur SO₃ yang merupakan unsur penyusun dari aspal mendominasi pada Asbuton modifikasi yaitu sebesar 69,137%, CaO sebesar 22,174% dan SiO₂ sebesar 4,281%, Selain itu, sejumlah unsur-unsur yang lainnya seperti Cl, Fe₂O₃, V₂O₅, K₂O, NiO, Cr₂O₃ yaitu masing-masing sebesar 1,778%, 1,196%, 1,049%, 0,258%, 0,097% dan 0,030%.

Hasil pengujian XRD dari Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55 menunjukkan jumlah bitumen atau total dari material-material yang ditunjukkan pada nomor 1 (C₂₀N₂O₂S), nomor 2 (C₄H₇NO₃) dan nomor 7 (C) masing-masing sebesar 31%, 12,2% dan 26% dengan total persentase adalah sebesar 82,3%, Sedangkan mineral yang terkandung ditunjukkan pada nomor 4 (BaO₃Ti), 5

(SiO₂), 6 (Fe₂O₃), 8 (CaO₄S), 9 (CaO) dan 10 (SO₃) masing-masing sebesar 1%, 3,6%, 3,1%, 7%, 2,1% dan 0,9% dengan total persentase adalah sebesar 17,7%. Hal ini membuktikan bahwa Asbuton hasil semi ekstraksi berupa Retona Blend 55 secara umum terdiri dari 70% bitumen dan 30% mineral.

8.6. 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 persentase gabungan yang diharapkan.



Gambar 8.4 Gradasi agregat gabungan campuran AC-WC

Perbandingan komposisi agregat antara agregat kasar batu pecah 1 - 2 cm, agregat kasar batu pecah 0,5 - 1 cm dan abu batu

adalah 19% : 36% : 45% 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.

8.7. Rancangan dan Komposisi Campuran AC-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan

Dengan menggunakan persamaan perhitungan kadar aspal perkiraan maka dapat dianalisa kadar Asbuton modifikasi sebuah benda uji yaitu :

$$P_b = 0,035 (\% AK) + 0,045 (\%AH) + 0,18 (\%F) + k$$

Dimana :

$$\text{Agregat kasar} = 43,57\%$$

$$\text{Agregat halus} = 48,01\%$$

$$\text{Filler} = 8,42\%$$

$$\text{Konstanta} = 0,6$$

$$\begin{aligned} P_b &= (0,035 \times 43,57) + (0,045 \times 48,01) + (0,18 \times 8,42) + 0,6 \\ &= 6\% \end{aligned}$$

Perhitungan kadar Asbuton modifikasi 6% ini mengacu pada Buku III yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum tahun 2006. Sehingga dari perkiraan kadar aspal tersebut maka digunakan variasi kadar aspal untuk menentukan kadar aspal optimum campuran aspal porus dalam penelitian ini yaitu 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% 7,0%, dan 7,5%.

Pada penelitian ini komposisi campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* mengacu pada Pedoman Konstruksi dan Bangunan No: 001-03-/BM/2006 Pemanfaatan Asbuton Buku 3 Campuran Beraspal Panas dengan Asbuton Olahan. Komposisi agregat dan kadar kandungan Asbuton Modifikasi tersebut merupakan variabel perubah.

8.8. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran AC-WC Berdasarkan Metode Marshall

Pengujian dengan masing-masing variasi kandungan kadar Asbuton modifikasi menggunakan pemadat *Marshall* dengan jumlah tumbukan 75 kali untuk masing-masing bidang, Benda uji yang dibuat untuk penentuan KAO dilakukan berdasarkan variasi kadar aspal yaitu 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% 7,0%, dan 7,5% dimana benda uji yang dibuat berjumlah 5 buah untuk masing-masing variasi kadar Asbuton modifikasi.

Berdasarkan spesifikasi umum Revisi 3 tahun 2010 dan SNI 06-2489-1991, untuk penentuan KAO campuran AC-WC dilakukan berdasarkan pengujian karakteristik Marshall yang terdiri dari 6 (enam) aspek pengujian yaitu pengujian stabiitas, flow dan Marshall quotient. Tabel 20 memperlihatkan hasil pengujian karakteristik campuran AC-WC untuk seluruh parameter, dimana campuran dengan gradasi padat biasanya akan menunjukkan puncak stabilitas dalam rentang kandungan aspal yang diuji.

Hasil uji karakteristik Marshall berlaku untuk campuran aspal bergradasi padat dengan ukuran maksimum sampai dengan 1 inci (2,5 cm). Untuk tujuan perancangan campuran, stabilitas Marshall dan hasil uji karakteristik Marshall harus terdiri dari rata-rata

minimum tiga spesimen pada setiap kenaikan kandungan aspal dimana kandungan pengikatnya bervariasi dalam setengah persen kenaikan pada rentang kandungan aspal.

Tabel 8.10 Hasil pengujian karakteristik campuran AC-WC untuk seluruh parameter

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
5,0	1260,71	3,40	371,27	9,03	26,71	66,44
5,5	1647,00	3,17	523,00	6,86	25,76	73,40
6,0	1794,49	3,00	599,24	3,95	24,27	83,72
6,5	1661,04	3,20	521,07	3,27	24,54	86,75
7,0	1344,99	3,40	397,25	1,54	24,02	93,59
7,5	993,82	3,65	273,50	0,92	24,35	96,29

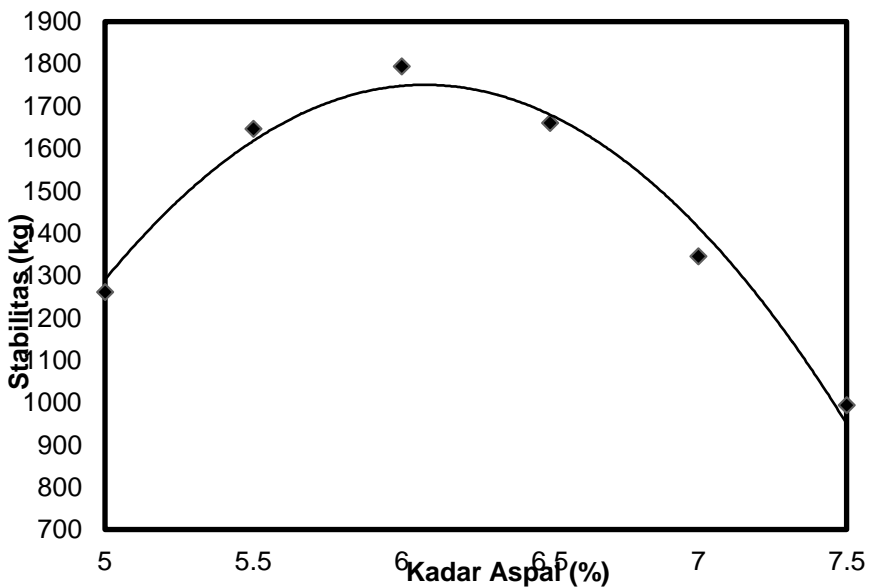
Stabilitas, kelelahan, rongga udara, rongga dalam agregat, dan rongga terisi aspal, dapat diplotkan terhadap kandungan aspal agar memungkinkan untuk mengetahui nilai dari KAO campuran. Sifat uji karakteristik Marshall ditunjukkan pada Gambar 23 sampai dengan Gambar 28.

8.8.1. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan Stabilitas

Stabilitas Marshall adalah beban maksimum yang diperlukan untuk menghasilkan kegagalan saat benda uji dipanaskan terlebih dahulu ke suhu yang ditentukan yang ditempatkan pada kepala uji khusus dan bebannya diterapkan pada regangan konstan (5 cm per menit). Sementara uji stabilitas sedang berlangsung, dial gauge digunakan untuk mengukur deformasi vertikal spesimen. Seperti

pada Gambar 23 menunjukkan hubungan antara nilai stabilitas dan kadar Asbuton Modifikasi dimana nilai stabilitas naik dari kadar 4,5% sampai 6% dan kemudian turun sampai pada kadar 7,5%. Sesuai dengan spesifikasi sifat-sifat campuran aspal modifikasi nilai yang diizinkan untuk stabilitas adalah minimal 800 kg dan kadar 4,5% sampai dengan kadar 7,5% memenuhi standar spesifikasi.

Nilai stabilitas yang diperoleh memenuhi semua spesifikasi yang ditetapkan oleh Spesifikasi 2010 Revisi 3, Bina Marga divisi 6 campuran beraspal, yaitu sebesar ≥ 800 kg. Nilai stabilitas terendah yaitu pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 7,5%, dengan nilai stabilitas 993,82 kg dan nilai stabilitas tertinggi pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 6,5% dengan nilai stabilitas 1847,16 kg.



Gambar 8.5. Hubungan antara nilai stabilitas dan kadar Asbuton modifikasi

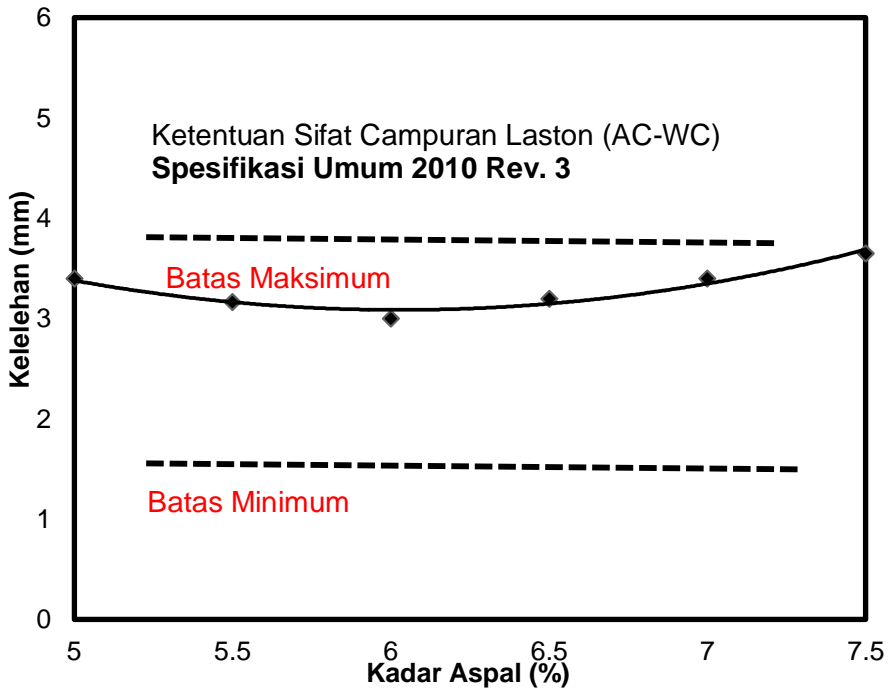
Campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 5,5% memiliki nilai stabilitas 1647 kg yang hampir sama dengan kandungan Asbuton modifikasi 6,0% dengan nilai stabilitas 1741,81 kg dan campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 5,0% dengan nilai stabilitas 1278,27 kg dan campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 7,0% memiliki nilai stabilitas terbesar yaitu sebesar 1344,99 kg. Dengan demikian, dapat kita diketahui bahwa kandungan kadar Asbuton modifikasi optimum berada diantara kandungan kadar Asbuton modifikasi 6,0% dan 6,5%. 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.

8.8.2. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan Kelelehan (Flow)

Kelelehan (*flow*) merupakan besarnya deformasi vertikal dinyatakan dalam millimeter (mm) yang terjadi pada benda uji padat dari campuran aspal hingga mencapai titik beban maksimum pada saat pengujian stabilitas Marshall. Hal ini menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan aspal akibat menahan beban yang berada di atasnya. Pada Gambar 24 menunjukkan hubungan antara nilai kelelehan (*flow*) dan kadar Asbuton Modifikasi. Dimana Gambar tersebut menunjukkan nilai kelelehan (*flow*) dari kadar 4,5% menurun sampai kadar 6% setelah itu naik kembali sampai kadar 7,5%. Spesifikasi sifat-sifat campuran Aspal Modifikasi yang diizinkan untuk kelelehan (*flow*)

adalah minimal 2 mm dan maksimal 4 mm, dimana kadar 4,5% sampai dengan kadar 7,5% memenuhi standar spesifikasi. Hubungan kandungan kadar Asbuton modifikasi dengan *flow* didapatkan hubungan yang kuat.

Nilai *flow* yang diperoleh belum memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga, yaitu 2 mm sampai 4 mm. Nilai *flow* terendah yaitu pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 5,0%, dengan *flow* 2,37 mm dan nilai *flow* tertinggi pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 5,5% dan 6,0% dengan nilai *flow* masing-masing sebesar 2,48 mm dan 3,00 mm.



Gambar 8.6. Hubungan antara nilai flow dan kadar Asbuton modifikasi

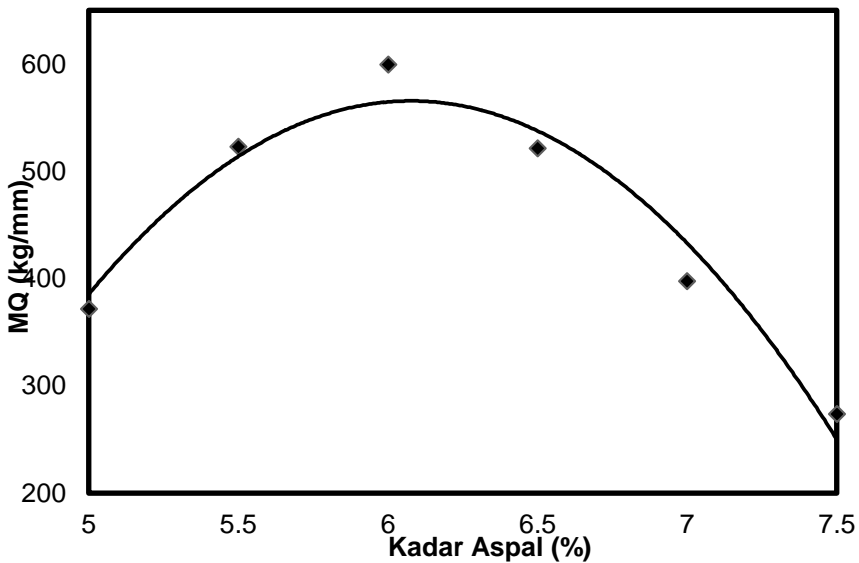
Campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 6,5 % memiliki nilai *flow* 3,72 mm yang relatif lebih besar dibanding campuran dengan kandungan Asbuton modifikasi 7,0% dengan nilai *flow* 3,05 mm dan campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 7,5% dengan nilai *flow* 3,48 mm. Bertambahnya rongga antar campuran dan penggunaan kandungan kadar Asbuton modifikasi yang tinggi dapat menyebabkan nilai kelelahan plastis (*flow*) meningkat. Flow menunjukkan ukuran benda uji Marshall berupa nilai kelelahan yang dipengaruhi oleh besarnya rongga yang terjadi pada campuran beraspal.

8.8.3. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan Marshall Quetiont (MQ)

Marshall Quotient (MQ) yang didefinisikan sebagai rasio stabilitas, digunakan sebagai indikator kekakuan spesimen. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal bersifat kaku, berarti campuran cukup padat dengan stabilitas yang tinggi. MQ yang rendah menunjukkan campuran aspal yang lembek dan kurang cukup stabilitasnya dengan suatu resiko yang memungkinkan terjadinya retak permukaan campuran aspal dan pergerakan horizontal pada arah perjalanan. Gambar 25 menunjukkan hubungan antara nilai Marshall Quotient (MQ) dan kadar asbuton modifikasi. Pada Gambar menunjukkan nilai kadar Asbuton 4,5% mengalami kenaikan yang berpuncak pada kadar 6%, setelah itu turun sampai dengan kadar 7,5%.

Nilai *Marshall quetiont* yang diperoleh sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga, yaitu minimal 250 kg/mm. Nilai *Marshall quetiont* terendah yaitu pada campuran dengan kadar kandungan Asbuton modifikasi 7,5% sebesar 362,33

kg/mm, dan nilai *Marshall quotient* tertinggi pada campuran dengan kadar kandungan Asbuton modifikasi 5,5% sebesar 674,01 kg/mm. Campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 6,5% memiliki nilai *Marshall quotient* 516,85 kg/mm sedangkan kandungan Asbuton modifikasi 6,0% dengan nilai *Marshall quotient* 585,38 kg/mm dan campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 5,0% dan 7,0% dengan nilai *Marshall quotient* 544,86 kg/mm dan 523,77 kg/mm.



Gambar 8.7 Hubungan antara nilai *Marshall Quotient* (MQ) dan kadar Asbuton modifikasi

Rendahnya nilai *Marshall Quotient* 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. Karakteristik Marshall terdiri atas 2 parameter yaitu parameter stabilitas (stabilitas, flow dan MQ) dan parameter volumetrik (VIM, VMA dan VFB).

1. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan VIM (*Void in Mix*)

VIM adalah ruang intergranular yang ditempati aspal dan udara dalam campuran aspal yang dipadatkan. Nilai VIM yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal lebih porous sehingga aspal kurang awet dan stabilitas rendah. Gambar 26 menunjukkan hubungan antara nilai rongga udara (VIM) dan kadar Asbuton modifikasi dimana terlihat bahwa nilai VIM menurun dari kadar 4,5% sampai 7,5%. Seperti pada Gambar semakin besar nilai kasar Asbuton Modifikasi maka nilai VIM semakin kecil. Nilai spesifikasi sifat-sifat campuran Asbuton Modifikasi yang di izinkan untuk rongga dalam campuran (VIM) adalah minimal 3% dan maksimal 5%. Tampak pada Gambar 20 dimana ada beberapa kadar yang tidak memenuhi spesifikasi tersebut yaitu kadar 4,5%, 5%, 7% dan 7,5%, sedangkan kadar yang memenuhi spesifikasi adalah kadar 6% dan 6.5%.

Nilai VIM yang dipersyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2010, revisi 3 adalah sebesar 3% sampai dengan 5%. Terlihat pada kadar Asbuton modifikasi 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0% dan 7,5% nilai VIM (*Void in Mix*) masing-masing adalah sebesar 9,03%, 6,86%, 3,95%, 3,27%, 1,54% dan 0,92%. Berdasarkan nilai VIM yang diperoleh terlihat bahwa nilai VIM yang memenuhi spesifikasi 2010, Revisi 3 adalah pada kadar Asbuton modifikasi yaitu sebesar

6,0% dan 6,50% sedangkan kadar Asbuton modifikasi 5,0%, 5,5%, 7,0% dan 7,5% tidak memenuhi spesifikasi 2010, Revisi 3.

Rongga antar agregat (VMA) adalah ruang hampa udara yang ada di antara partikel agregat dalam campuran paving yang dipadatkan, termasuk ruang yang diisi dengan aspal. VMA mewakili ruang yang tersedia untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran. Semakin banyak rongga dalam agregat kering, semakin banyak ruang yang tersedia untuk film aspal. Nilai minimum VMA harus dipatuhi sehingga ketebalan film aspal yang tahan lama dapat dicapai. Gambar 27 menunjukkan hubungan antara nilai rongga antar agregat (VMA) dan kadar Asbuton modifikasi. Pada gambar dapat dilihat bahwa nilai VMA dari kadar 4,5% sampai kadar 6% mengalami penurunan tapi kemudian naik sampai kadar 7,5%. Nilai spesifikasi sifat-sifat campuran Asbuton modifikasi yang diizinkan untuk rongga dalam campuran (VMA) adalah minimal 15%, dimana kadar 4,5% sampai dengan kadar 7,5% memenuhi standar spesifikasi.

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 26,71% yang relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai VMA pada kadar Asbuton modifikasi 5,5% sebesar 25,76%. Sedangkan pada kadar Asbuton modifikasi 6,0%, 6,5%, 7,0% dan 7,5% masing-masing nilai VMA adalah sebesar 24,27%, 24,54%, 24,02% dan 24,35%. 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.

2. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan VFB (*Void Filled Bitument*)

VFB adalah persentase rongga pada massa agregat padat yang diisi dengan aspal. Rongga terisi aspal penting tidak hanya sebagai ukuran daya tahan relatif, tetapi juga karena ada hubungan yang sangat baik antara daya tahan relatif dan kepadatan. Jika VFB terlalu rendah, aspal tidak cukup untuk memberi daya tahan dan terlalu padat di bawah lalu lintas. Gambar 28 menunjukkan hubungan antara nilai rongga terisi aspal (VFB) dan kadar Asbuton modifikasi. Sesuai dengan Gambar, nilai VFB semakin besar seiring dengan meningkatnya kadar Asbuton modifikasi. Nilai spesifikasi sifat-sifat campuran Asbuton modifikasi yang di izinkan untuk rongga terisi aspal (VFB) adalah minimal 65%, dimana kadar 4,5% sampai dengan kadar 7,5% memenuhi standar spesifikasi. Berdasarkan Spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal, persyaratan VFB dalam campuran beraspal adalah minimal 65%.

Rancangan dan Komposisi Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET dan PP

Setelah didapatkan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6,25% selanjutnya dilakukan variasi penambahan limbah plastik yaitu sebesar 0,0%, 1,0%, 2,0% dan 3,0%. Variasi penambahan limbah plastik ini didasarkan pada berat total agregat dengan maksud adalah limbah plastik digunakan sebagai bahan pengganti secara parsial yang beratnya berdasarkan dari berat total agregat. Kemudian limbah plastik yang digunakan terdiri dari 2 jenis yaitu limbah plastik PET dan limbah plastik PP, dimana gabungan kedua jenis limbah plastik PET : PP adalah 100% : 0%; 0% : 100% dan 50% : 50%. Pengujian kuat tekan diaplikasikan untuk mengevaluasi kemampuan benda uji dalam menerima beban tekan secara monoton jangka pendek.

Tabel 9.1 Komposisi material dalam berat untuk 1600 gram benda uji dengan penambahan limbah plastik (KAO 6,25%)
PET : PP (100 : 0%)

No	Uraian			Satuan	Kadar limbah plastik (%)			
					0,0	1,0	2,0	3,0
A	Berat limbah plastik (PET + PP)			gr	0,00	15,00	30,00	5,62
B	Berat Asbuton modifikasi (6,25%)			gr	75,00			
C	Gradasi Gabungan Agregat			Berat Agregat menurut ukuran saringan				
	Saringan	% Lolos	% Tertahan					
1	3/4"	100,00	0,00	gr	-	-	-	-
2	1/2"	96,00	4,00	gr	60,04	58,54	57,04	55,54
3	3/8"	86,93	9,07	gr	136,05	134,55	133,05	131,55
4	No. 4	63,90	23,03	gr	345,38	343,88	342,38	340,88
5	No. 8	43,56	20,34	gr	305,06	303,56	302,06	300,56
6	No. 16	28,62	14,94	gr	224,13	222,63	221,13	219,63
7	No. 30	20,76	7,87	gr	118,00	116,50	115,00	113,50
8	No. 50	15,60	5,16	gr	77,40	75,90	74,40	72,90
9	No. 100	10,79	4,80	gr	72,02	70,52	69,02	67,52
10	No. 200	8,43	2,37	gr	35,53	34,03	32,53	31,03
11	PAN	6,06	0,00	gr	126,39	124,89	123,39	121,89
12	PET (100%)	-	-	gr	-	15,00	30,00	45,00
13	PP (0%)	-	-	gr	-	0,00	0,00	0,00

	Jumlah	100,00	gr	1.525	1.525	1.525	1.525
D	Berat Benda Uji (A + B + C)		gr	1.600	1.600	1.600	1.600

Tabel 9.2 Komposisi material dalam berat untuk 1600 gram benda uji dengan penambahan limbah plastik (KAO 6,25%) PET : PP (0 : 100%)

No	Uraian	Satuan	Kadar limbah plastik (%)					
			0,0	1,0	2,0	3,0		
A	Berat limbah plastik (PET + PP)	gr	0,00	15,00	30,00	45,00		
B	Berat Asbuton modifikasi (6,25%)	gr		75,00				
C	Gradasi Gabungan Agregat		Berat Agregat menurut ukuran saringan					
	Saringan	% Lolos	% Tertahan					
1	3/4"	100,00	0,00	gr	-	-	-	-
2	1/2"	96,00	4,00	gr	60,04	58,54	57,04	55,54
3	3/8"	86,93	9,07	gr	136,05	134,55	133,05	131,55
4	No. 4	63,90	23,03	gr	345,38	343,88	342,38	340,88
5	No. 8	43,56	20,34	gr	305,06	303,56	302,06	300,56
6	No. 16	28,62	14,94	gr	224,13	222,63	221,13	219,63
7	No. 30	20,76	7,87	gr	118,00	116,50	115,00	113,50
8	No. 50	15,60	5,16	gr	77,40	75,90	74,40	72,90
9	No. 100	10,79	4,80	gr	72,02	70,52	69,02	67,52
10	No. 200	8,43	2,37	gr	35,53	34,03	32,53	31,03
11	PAN	6,06	0,00	gr	126,39	124,89	123,39	121,89

12	PET (0%)	-	-	gr	-	0,00	0,00	0,00
13	PP (100%)	-	-	gr	-	15,00	30,00	45,00
	Jumlah	100,00		gr	1.525	1.525	1.525	1.525
D	Berat Benda Uji (A + B + C)			gr	1.600	1.600	1.600	1.600

Tabel 9.3 Komposisi material dalam berat untuk 1600 gram benda uji dengan penambahan limbah plastik (KAO 6,25%) PET : PP (50 : 50%)

	Uraian	Satuan	Kadar limbah plastik (%)					
			0,0	1,0	2,0	3,0		
A	Berat limbah plastik (PET + PP)	gr	0,00	15,00	30,00	45,00		
B	Berat Asbuton modifikasi (6,25%)	gr			75,00			
C	Gradasi Gabungan Agregat		Berat Agregat menurut ukuran saringan					
	Saringan	% Lolos	% Tertahan					
1	3/4"	100,00	0,00	gr	-	-	-	-
2	1/2"	96,00	4,00	gr	60,04	58,54	57,04	55,54
3	3/8"	86,93	9,07	gr	136,05	134,55	133,05	131,55
4	No. 4	63,90	23,03	gr	345,38	343,88	342,38	340,88
5	No. 8	43,56	20,34	gr	305,06	303,56	302,06	300,56
6	No. 16	28,62	14,94	gr	224,13	222,63	221,13	219,63
7	No. 30	20,76	7,87	gr	118,00	116,50	115,00	113,50

8	No. 50	15,60	5,16	gr	77,40	75,90	74,40	72,90
9	No. 100	10,79	4,80	gr	72,02	70,52	69,02	67,52
10	No. 200	8,43	2,37	gr	35,53	34,03	32,53	31,03
11	PAN	6,06	0,00	gr	126,39	124,89	123,39	121,89
12	PET (50%)	-	-	gr	-	7,50	15,00	22,50
13	PP (50%)	-	-	gr	-	7,50	15,00	22,50
Jumlah		100,00		gr	1.525	1.525	1.525	1.525
D	Berat Benda Uji (A + B + C)			gr	1.600	1.600	1.600	1.600

Tabel 22 sampai dengan Tabel 24 masing-masing memperlihatkan komposisi campuran (mix design) AC-WC transformasi limbah plastik PET : PP adalah 100% : 0%; 0% : 100% dan 50% : 50%.

9.1. Volumetrik Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET dan PP

Tabel 25 memperlihatkan hasil pengujian volumetrik campuran AC-WC transformasi limbah plastik PET dan limbah plastik PP.

Tabel 9.4 Volumetrik campuran AC-WC transformasi limbah plastik PET dan limbah plastik PP

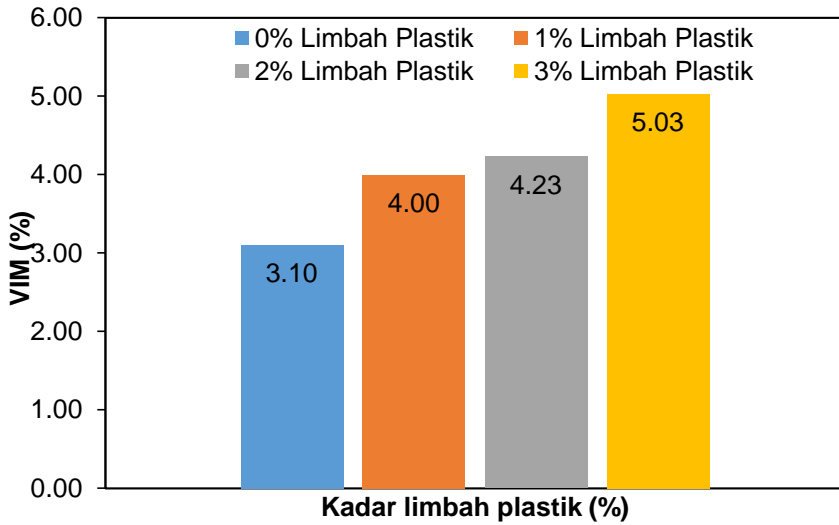
No.	Kadar limbah plastik (%)	Perbandingan			Volumetrik campuran	
		PET	PP	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
1	0	-	-	3,10	24,00	87,41

		100	0	4,00	24,62	71,83
2	1	0	100	3,35	16,64	77,90
		50	50	3,07	21,16	71,47
		100	0	4,23	24,04	73,15
3	2	0	100	4,22	22,19	74,78
		50	50	3,67	23,64	77,52
		100	0	5,03	27,00	78,70
4	3	0	100	4,88	23,94	80,40
		50	50	3,95	24,06	81,54

Terlihat bahwa nilai rongga dalam campuran (VIM), rongga diantara mineral agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFB) memenuhi semua spesifikasi yang disyaratkan oleh spesifikasi khusus campuran beraspal dengan limbah plastik oleh Bina Marga yaitu VIM (3 – 5%), VMA (minimal 15%) dan VMA (minimal 65%).

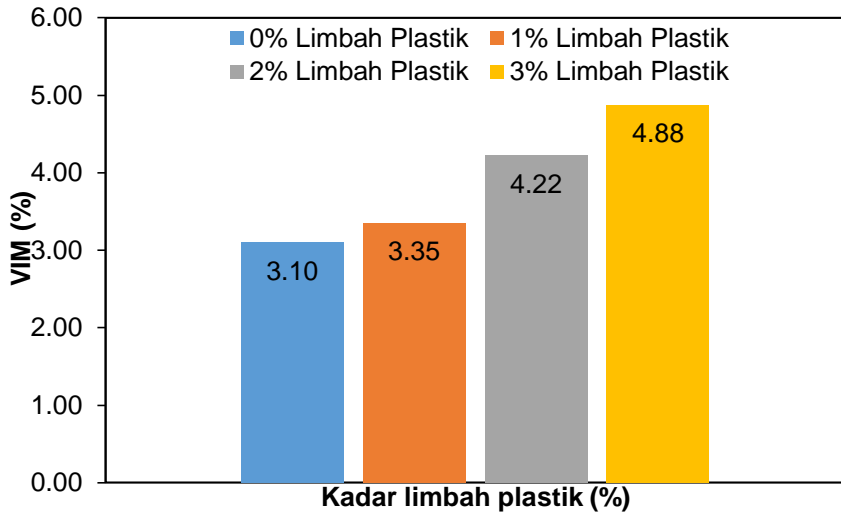
1. Rongga dalam campuran (VIM)

Gambar 29 sampai dengan Gambar 31 masing-masing memperlihatkan nilai VIM untuk masing-masing perbandingan PET : PP yaitu 100 : 0%, 0 : 100% dan 50 : 50%.

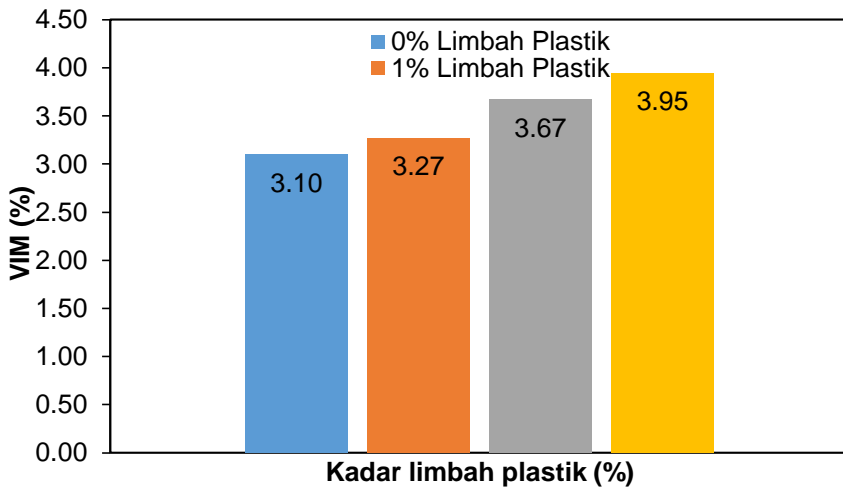


Gambar 9.1 Nilai VIM dengan perbandingan PET : PP yaitu 100 : 0%

Terlihat nilai VIM semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan pada campuran dengan 100% limbah plastik PET. Nilai VIM pada campuran tanpa limbah plastik, 1% limbah plastik, 2% limbah plastik dan 3% limbah plastik adalah masing-masing sebesar 3,10%, 4,00%, 4,23% dan 5,03%. Peningkatan nilai VIM yang terjadi pada campuran dengan limbah plastik terhadap campuran tanpa limbah plastik adalah masing-masing sebesar 29,03%, 36,45% dan 62,25%.



Gambar 9.2 Nilai VIM dengan perbandingan PET : PP yaitu 0 : 100%



Gambar 9.3. Nilai VIM dengan perbandingan PET : PP yaitu 50 : 50%

Terlihat nilai VIM semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan pada campuran

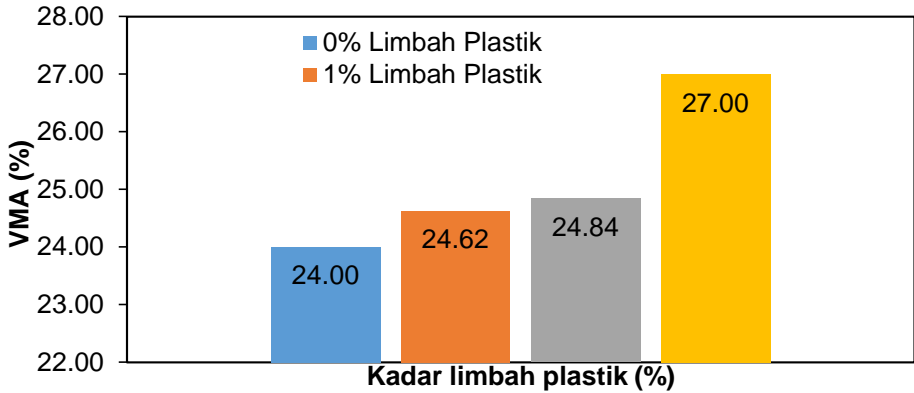
dengan 100% limbah plastik PP. Nilai VIM pada campuran tanpa limbah plastik, 1% limbah plastik, 2% limbah plastik dan 3% limbah plastik adalah masing-masing sebesar 3,10%, 3,35%, 4,22% dan 4,88%. Peningkatan nilai VIM yang terjadi pada campuran dengan limbah plastik terhadap campuran tanpa limbah plastik adalah masing-masing sebesar 8,06%, 36,12% dan 57,41%.

Terlihat nilai VIM semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan pada campuran dengan 50% limbah plastik PET dan 50% limbah plastik PP. Nilai VIM pada campuran tanpa limbah plastik, 1% limbah plastik, 2% limbah plastik dan 3% limbah plastik adalah masing-masing sebesar 3,10%, 3,27%, 3,67% dan 3,95%. Peningkatan nilai VIM yang terjadi pada campuran dengan limbah plastik terhadap campuran tanpa limbah plastik adalah masing-masing sebesar 5,48%, 18,38% dan 27,41%.

VIM merupakan prosentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Rongga udara diperlukan untuk tersedianya ruang gerak, untuk unsur-unsur dalam campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan suatu campuran aspal, semakin tinggi nilai VIM maka campuran bersifat porous atau tidak kedap air dan udara sehingga dapat mempercepat penuaan aspal dan mudah retak sedangkan nilai VMA yang terlalu kecil akan mengakibatkan campuran perkerasan mudah mengalami bleeding jika temperature meningkat. Selain kadar aspal nilai VIM juga dipengaruhi oleh gradasi agregat, jumlah dan temperature pemadatan.

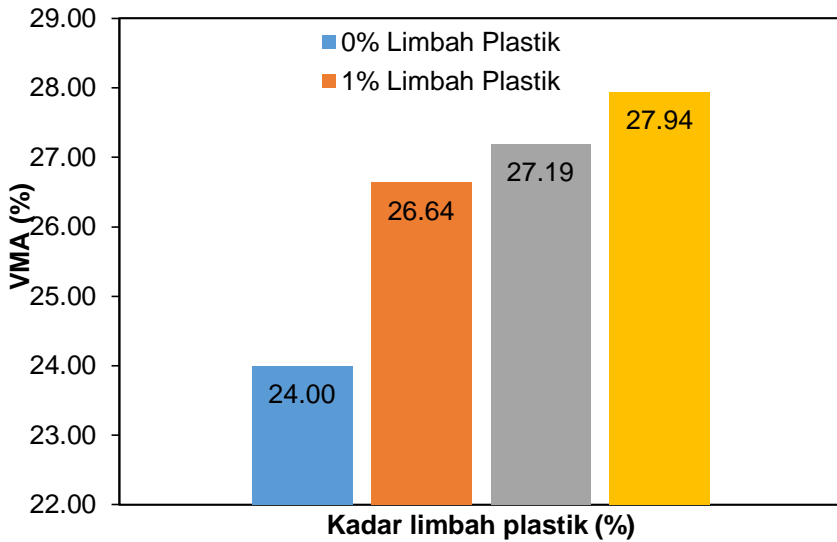
2. Rongga diantara Mineral Agregat (VMA)

Gambar 32 sampai dengan Gambar 34 masing-masing memperlihatkan nilai VMA untuk masing-masing perbandingan PET : PP yaitu 100 : 0%, 0 : 100% dan 50 : 50%.



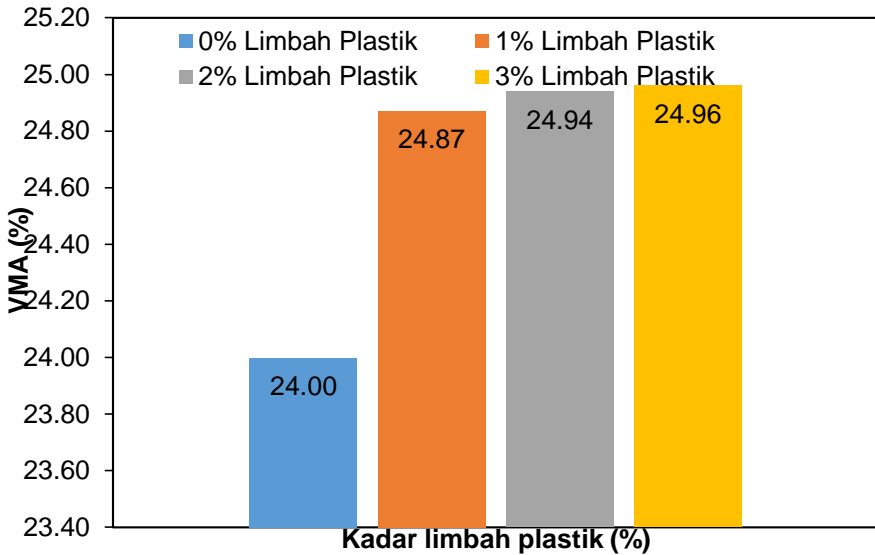
Gambar 9.4 Nilai VMA dengan perbandingan PET : PP yaitu 100 : 0%

Terlihat nilai VMA semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan pada campuran dengan 100% limbah plastik PET. Nilai VMA pada campuran tanpa limbah plastik, 1% limbah plastik, 2% limbah plastik dan 3% limbah plastik adalah masing-masing sebesar 24,00%, 24,62%, 24,84% dan 27,00%. Peningkatan nilai VIM yang terjadi pada campuran dengan limbah plastik terhadap campuran tanpa limbah plastik adalah masing-masing sebesar 2,58%, 3,50% dan 12,50%.



Gambar 9.5 Nilai VMA dengan perbandingan PET : PP yaitu 0 : 100%

Terlihat nilai VMA semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan pada campuran dengan 100% limbah plastik PP. Nilai VMA pada campuran tanpa limbah plastik, 1% limbah plastik, 2% limbah plastik dan 3% limbah plastik adalah masing-masing sebesar 24,00%, 26,64%, 27,19% dan 27,94%. Peningkatan nilai VMA yang terjadi pada campuran dengan limbah plastik terhadap campuran tanpa limbah plastik adalah masing-masing sebesar 11,00%, 13,29% dan 16,41%.



Gambar 9.6 Nilai VMA dengan perbandingan PET : PP yaitu 50 : 50%

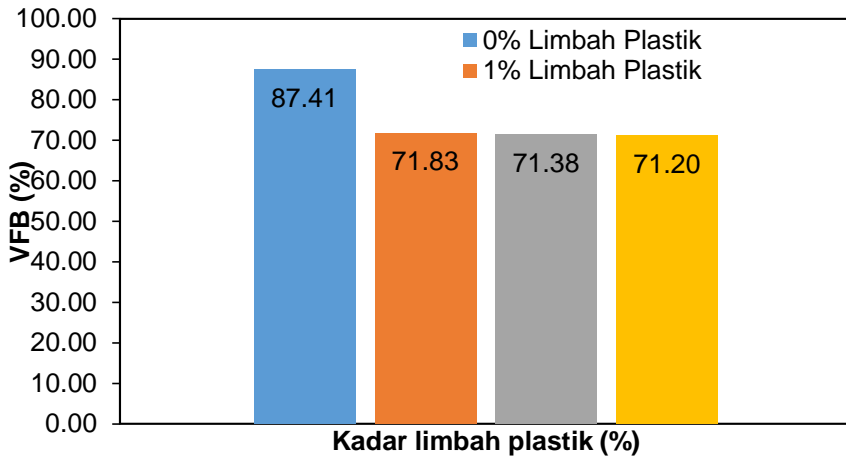
Terlihat nilai VMA semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan pada campuran dengan 50% limbah plastik PET dan 50% limbah plastik PP. Nilai VMA pada campuran tanpa limbah plastik, 1% limbah plastik, 2% limbah plastik dan 3% limbah plastik adalah masing-masing sebesar 24,00%, 24,87%, 24,94% dan 24,96%. Peningkatan nilai VMA yang terjadi pada campuran dengan limbah plastik terhadap campuran tanpa limbah plastik adalah masing-masing sebesar 3,62%, 4,32% dan 4,00%.

VMA adalah rongga udara antara butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume nilai VIM dipengaruhi oleh faktor pemadatan yaitu jumlah tumbukan dan temperature pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal Nilai VMA yang

terlalu rendah akan berpengaruh pada durabilitas suatu campuran, sedangkan nilai VMA yang terlalu tinggi kemungkinan akan berpengaruh pada stabilitas dan tidak layak untuk diproduksi.

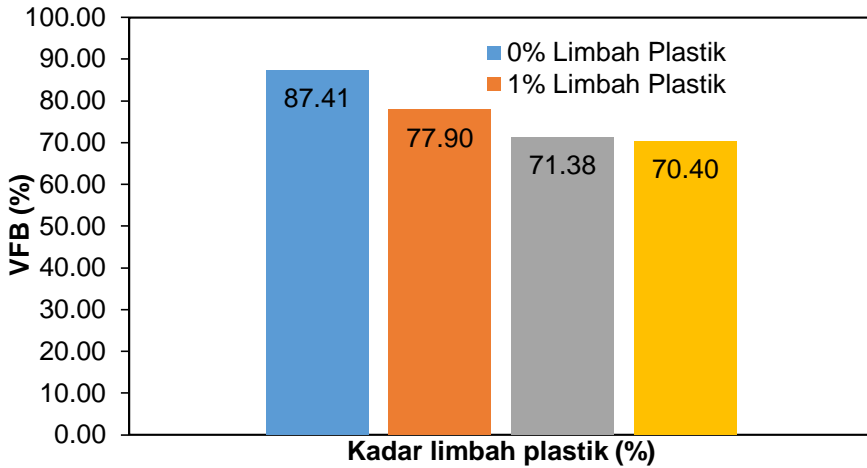
3. Rongga Terisi Aspal (VFB)

Gambar 35 sampai dengan Gambar 37 masing-masing memperlihatkan nilai VFB untuk masing-masing perbandingan PET : PP yaitu 100 : 0%, 0 : 100% dan 50 : 50%.



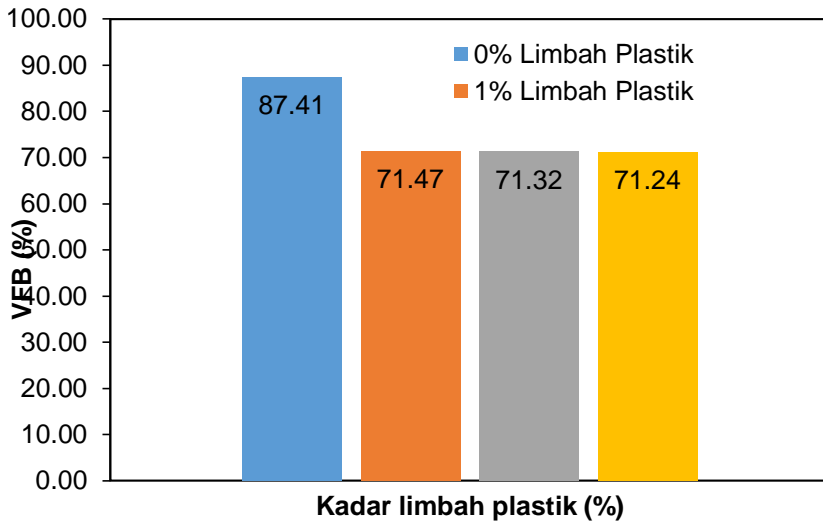
Gambar 9.7 Nilai VFB dengan perbandingan PET : PP yaitu 100 : 0%

Terlihat nilai VFB semakin menurun seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan pada campuran dengan 100% limbah plastik PET. Nilai VFB pada campuran tanpa limbah plastik, 1% limbah plastik, 2% limbah plastik dan 3% limbah plastik adalah masing-masing sebesar 87,41%, 71,83%, 71,38% dan 71,20%. Penurunan nilai VFB yang terjadi pada campuran dengan limbah plastik terhadap campuran tanpa limbah plastik adalah masing-masing sebesar 17,82%, 18,33% dan 18,54%.



Gambar 9.8 Nilai VFB dengan perbandingan PET : PP yaitu 0 : 100%

Terlihat nilai VFB semakin menurun seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan pada campuran dengan 100% limbah plastik PP. Nilai VFB pada campuran tanpa limbah plastik, 1% limbah plastik, 2% limbah plastik dan 3% limbah plastik adalah masing-masing sebesar 87,41%, 77,90%, 71,38% dan 70,40%. Penurunan nilai VFB yang terjadi pada campuran dengan limbah plastik terhadap campuran tanpa limbah plastik adalah masing-masing sebesar 10,88%, 18,33% dan 19,46%.



Gambar 9.9 Nilai VFB dengan perbandingan PET : PP yaitu 50 : 50%

Terlihat nilai VFB semakin menurun seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan pada campuran dengan 50% limbah plastik PET dan 50% limbah plastik PP. Nilai VFB pada campuran tanpa limbah plastik, 1% limbah plastik, 2% limbah plastik dan 3% limbah plastik adalah masing-masing sebesar 87,41%, 71,47%, 71,32% dan 71,24%. Penurunan nilai VFB yang terjadi pada campuran dengan limbah plastik terhadap campuran tanpa limbah plastik adalah masing-masing sebesar 18,23%, 18,40% dan 18,49%.

VFB merupakan rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFB dipengaruhi oleh jumlah dari temperature pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFB berpengaruh pada sifat kedap air terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Nilai VFB

bebrbanding terbalik dengan nilai VIM dimana semakin tinggi nilai VFB maka nilai VIM akan semakin kecil. Nilai VFB yang terlalu rendah akan mengurangi keawetan suatu campuran aspal sedangkan nilai VFB yang terlalu tinggi campuran aspal mudah mengalami bleeding krena rongga dalam campuran tidak tersedia atau terlalu kecil yang menyebabkan aspal naik kepermukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, F., 2008. Karakteristik bitumen asbuton butir pada campuran beraspal panas. *Jurnal jalan – jembatan*, Vol. 25 No. 3, hal. 350 – 368.
- Ahmadinia, Esmaeil, et.al. 2012. Performance Evaluation of Utilization of Waste Polyethylene Terephthalate (PET) in Stone Mastic Asphalt. *Construction and Building Materials, Elsevier*.
- Antara News. 2 Maret, 2018. *Benarkah Jalan Rusak Akibat Tonase Berlebih*.
- Arianti, Nasrul & Balaka, Rudi. 2015. Analisis Pengaruh Penggunaan Polypthylene Terephthalate (PET) terhadap Karakteristik Marshall sebagai Bahan Tambah pada Campuran LASTON AC-BC. *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*.
- ASTM D1074-09 *Standard Test Method for Compressive Strength of Bituminous Mixtures*.
- Atkins, Harold N, 2003. *Highway Materials, Soil, and Concrete – 4th ed*, Pearson Education Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Billmeyer, Fred.W.. 1984. *Textbook Of Polymer Science. Third Edition*. John Wiley & Sons, New York.
- Chen J. S. *et al.* 2001. Evaluation of Geosynthetic Applied to Flexible Pavements. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation studies*, vol.4, No.1,2001.
- Croney, D. (1977). “The Design and Performance of Road Pavements. Transport and Road Research Laboratory”, London.
- Cullity B. D. 1956. *Elements of X-Ray Difrraction. Second Edition* : Addison-Wesley Publishing Company Inc.

- 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.
- Fultz B. 2013. *Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials*. Springer. ISBN 978-3-642-29761-8.
- 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
- Huang, baoshan, dkk. 2010. Laboratory evaluation of moisture susceptibility of hot-mix asphalt containing cementitious fillers. *J. Mater. Civ. Eng.* 22:667-673.
- 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.
- Jastrzebski, Zbigniew D, 2004. *The Nature and Properties of Engineering Materials*, John Willey & Sons Inc. New York.
- Latifa, Eva Azhra. 2011. *Pengaruh Temperatur dan Pembebanan terhadap Sifat Mekanis Beton Aspal Campuran Panas AC-WC dan HRS*. Tesis tidak diterbitkan. Jakarta: Program Pascasarjana Bidang Ilmu Teknik Universitas Indonesia.

- 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).
- Prasad, K.V.R., et.al. 2015. Use of PET (POLY ETHYLENE TERAPHTALATE) WASTE in Bituminous Road Construction. *International Journal of Emerging Technologies and Engineering (IJETE)*.
- RSNI T-01-2005 Pengujian Indeks Kepipihan dan Kelonjongan.
- Sentosa, Leo. 2012. Analisis Dampak Beban *Overloading* Kendaraan pada Struktur *Rigid Pavement* Terhadap Umur Rencana Perkerasan. *Jurnal Teknik Sipil (Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil)*. 19: 161-168

SNI 03-1968-1990 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus.

SNI 03-1971-1991 Pengujian Kadar Air Agregat Halus.

SNI 03-2417-1991 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles.

SNI 03-2439-1991 Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal.

SNI 03-2816-1992 Pengujian Kadar Organik Pasir.

SNI 03-4137-1996. Metode pengujian tebal dan panjang rata-rata agregat

SNI 03-4142-1996. Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm).

SNI 03-4428-1997 Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastik dengan Cara Setara Pasir.

SNI 03-4804-1998 Pengujian Rongga Udara dalam Agregat.

SNI 03-6441-2000 Pengujian Viskositas Aspal Minyak dengan Alat Brookfield Termosel.

SNI 06-2432-1991 Pengujian Daktalitas Aspal.

SNI 06-2433-1991 Pengujian Titik Nyala Aspal.

SNI 06-2433-2011. Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal

SNI 06-2434-1991 Pengujian Titik Lembek Aspal.

SNI 06-2438-1991 Pengujian Kelarutan Aspal dalam C_2HCl_3 .

SNI 06-2440-1991 Pengujian Kehilangan Berat Aspal.

SNI 06-2441-1991 Pengujian Berat Jenis Aspal.

SNI 06-2456-1991 Pengujian Penetrasi Aspal.

SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.

- SNI 15-7064-2004. Semen Portland komposit
- SNI 1969-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.
- SNI 1970-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.
- SNI 2417-2008. Cara Uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles.
- SNI 2432:2011. Cara uji daktalitas Aspal.
- SNI 2432:2011. Cara uji penetrasi aspal
- SNI 2434:2011. Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring dan ball).
- SNI 2439:2011. Cara uji penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat aspal.
- SNI 2441:2011. Cara uji berat jenis aspal keras.
- Sojobi, Adebayo Olatunbosun, et. al. 2016. Recycling of Polyphthylene Terephthalate (PET) Plastic Bottle Wastes in Bituminous Asphaltic Concrete. *Cogent Engineering*.
- Soltani, Mehrtash, et.al. 2015. Analysis of Fatigue Properties of Unmodified and Polyethylene Terephthalate Modified Asphalt Mixtures Using Response Surface Methodology. *Engineering Failure Analysis, Elsevier*.
- Soyal, Pradeep. 2015. Use of Waste Polyethylene in Bituminous Concrete Mixes. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*.
- Spesifikasi Umum Bina marga Divisi 6. (2010). Perkerasan Aspal. Direktorat Jendral Bina marga.

- Starodubsky S., Blechman I., Livneh M., 1994. Stress-strain relationship for asphalt concrete in compression. *Material and structures*, 27, hal. 474 - 482.
- Stephen B., the Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham, July 2015
- Sunarya, Yayan. 2011. *Kimia Dasar 2*. Yrama Widya, Bandung.
- 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*.
- 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*.
- Syafriana. 2015. Evaluasi Umur Layan Jalan dengan Memperhitungkan Beban Berlebih di Ruas Jalan Lintas Timur Provinsi Aceh. *FSTPT*
- Taherkhani H., Collop A. C., 2008. Determination of the elastic modulus and poisson's ratio of asphaltic mixtures using uniaxial creep recovery tests. *ASCE, Airfield and highway pavements*, hal. 159 - 170.
- Walubita, Lubinda F., Ven, Martin F C van de, 2000. Stresses and Strains in Asphalt-Surfacing Pavements.
- 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).

Biografi Penulis



Dr. Ir. Irianto, ST., MT lahir di Cabbenge Sopeng pada tanggal 20 Juni 1979. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Pertambangan, di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura, selesai tahun 2002. Gelar S-2 (MT) Teknik Sipil diperoleh pada tahun 2012 di Universitas Hasanuddin, pada bidang konsentrasi Perencanaan Infrastruktur. Pada tahun 2020, mengikuti studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar. Tahun 2021, menyelesaikan studi S-3 ilmu teknik sipil di Universitas Hasanuddin. Merupakan salah satu Dosen di Universitas Yapis Papua.

CAMPURAN ASPAL PLASTIK

Kekuatan dan Ketahanan Campuran AC-Wc

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. Akan tetapi 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 bahasan baik di dalam maupun luar negeri yang meneliti pemanfaatan limbah plastik dalam campuran aspal telah dilakukan.

TOHAR MEDIA

No. Anggota IKAPI : 022/SSL/2019
Workshop : JL. Kanjampang (workshop UNIHAS) Kota Makassar
Redaksi : JL. Muhiyar dg Tompo Kabupaten Gowa
Perumahan Nayla Regency Blok D No 25
Telp. (0411) 8987659
<https://toharmedia.co.id>

