

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan elemen penting dalam infrastruktur transportasi yang memiliki peran krusial dalam menopang beban lalu lintas, melindungi tanah dasar, dan memastikan kenyamanan serta keamanan pengguna jalan. Struktur perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan yang bertujuan untuk mendistribusikan beban secara merata ke tanah dasar serta mengurangi dampak deformasi yang mungkin terjadi akibat beban lalu lintas (Sukirman, 1992).

Menurut (Sukirman, 1992) jenis perkerasan jalan utama terbagi menjadi tiga kategori berdasarkan bahan pengikat yang digunakan, yakni perkerasan kaku, perkerasan lentur, dan perkerasan komposit. Perkerasan kaku menggunakan semen sebagai bahan pengikat utama, dengan karakteristik memiliki modulus elastis yang tinggi. Hal ini membuatnya sangat cocok untuk digunakan di jalan-jalan dengan lalu lintas yang padat. Lapisan permukaan beton berkualitas tinggi pada perkerasan kaku memiliki ketahanan yang baik terhadap beban berat serta faktor cuaca eksternal, yang berkontribusi pada umur panjang perkerasan dan mengurangi biaya perawatan jalan secara keseluruhan.

Di sisi lain, perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Konstruksinya terdiri dari beberapa lapisan yang disusun di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut termasuk lapisan permukaan (*surface course*) dan lapisan pondasi atas (*base course*), masing-masing memiliki peran spesifik dalam menopang beban lalu lintas dan melindungi struktur jalan dari kerusakan. Lapisan permukaan berfungsi tidak hanya sebagai pelindung terhadap keausan akibat gesekan roda kendaraan, tetapi juga sebagai lapisan kedap air yang mencegah penetrasi air hujan ke lapisan bawah perkerasan (Sukirman, 1992).

Perkerasan komposit merupakan gabungan dari perkerasan kaku dan lentur, di mana semen dan aspal digunakan bersamaan sebagai bahan pengikat. Keunggulan masing-masing jenis perkerasan dimanfaatkan dengan menggunakan semen pada lapisan pondasi dan aspal pada lapisan permukaan. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja struktural perkerasan dan daya tahan terhadap beban lalu lintas dengan memadukan sifat-sifat yang optimal dari kedua jenis perkerasan.

Selain itu, lapisan permukaan jalan tidak hanya berperan dalam menopang beban lalu lintas, tetapi juga memberikan perlindungan terhadap lapis pondasi di bawahnya. Kualitas

lapisan permukaan juga memengaruhi kenyamanan dan keamanan pengguna jalan, serta dapat berdampak pada efisiensi operasional jalan secara keseluruhan. Oleh karena itu, pemilihan material yang tepat dan perawatan yang teratur terhadap lapisan permukaan jalan menjadi faktor penting dalam menjaga keberlangsungan dan keandalan infrastruktur transportasi di suatu wilayah.

2.2 Material Campuran Perkerasan Lentur

Dalam perkerasan lentur, terdapat dua material yang digunakan dalam pembuatan campurannya yaitu agregat digunakan sebagai bahan utama untuk menciptakan lapisan yang tidak tembus air, memiliki stabilitas yang tinggi, dan mampu bertahan dalam jangka waktu penggunaan yang lama dan aspal sebagai bahan pengikat agregat dalam campuran (Sukirman, 1992). Dalam penelitian ini digunakan agregat alam.

2.2.1 Aspal

Menurut (Sukirman, 2003), Aspal atau bitumen adalah bahan hidro karbon berwarna hitam-kecoklatan dan memiliki sifat rekat (*adhesive*), tahan terhadap air, dan viskoelastik. Aspal merupakan hasil pemisahan minyak bumi. Fungsi aspal adalah sebagai pengikat agregat agar terbentuk suatu struktur yang kohesif. Aspal sifatnya dibedakan berdasarkan suhu. Pada suhu yang tinggi, aspal berbentuk cair sedangkan pada suhu yang dingin aspal berbentuk padat. Jenis aspal yang digunakan adalah aspal emulsi.

2.2.1.1 Aspal Emulsi

Aspal emulsi merupakan campuran stabil antara aspal, air, dan emulsifikasi yang bertujuan untuk membentuk suspensi aspal dalam air sehingga dapat diaplikasikan dengan mudah pada permukaan jalan. Aspal Emulsi dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Aspal Emulsi Anionik

Jenis aspal emulsi ini memiliki muatan negatif yang cocok digunakan pada agregat dengan muatan positif seperti pasir atau tanah. Aspal Anionik ini memiliki daya ikat yang baik dengan agregat mineral yang bermuatan positif. Jenis aspal ini digunakan ketika ketersediaan air tidak menjadi masalah karena cenderung kurang stabil jika ada kontak dengan air.

2. Aspal Emulsi Kationik

Jenis aspal emulsi ini memiliki muatan positif yang cocok digunakan pada agregat dengan muatan negatif seperti kerikil atau batu pecah. Aspal Kationik ini biasanya memiliki daya ikat yang baik dengan agregat mineral yang bermuatan negatif, dan membentuk lapisan yang kuat dan tahan lama. Jenis aspal ini juga lebih cocok dan stabil digunakan pada kondisi jalan yang memiliki kemungkinan tinggi terkena air.

Berdasarkan *Setting Time*, aspal emulsi kationik dibagi menjadi 3, yaitu :

1. CQS (*Cationic Quick Setting*)

Jenis aspal emulsi ini memiliki waktu pengerasan sangat cepat setelah diaplikasikan ke permukaan jalan. Umumnya digunakan jika diperlukan pemulihan cepat lalu lintas, dan memerlukan penanganan yang cepat oleh pekerja. Untuk aspal emulsi *quick setting* terdapat 2 jenis, yaitu QS-1h dan CQS-1h sesuai dengan SNI 6832:2011 dan SNI 4798:2011.

2. CMS (*Cationic Medium Setting*)

Jenis aspal emulsi ini memiliki waktu pengerasan sedang setelah diaplikasikan yang biasanya digunakan pada pembangunan lapis permukaan baru dan perbaikan jalan. Dengan waktu yang relatif tidak terlalu cepat dapat membantu pekerja mengaplikasikan dengan lebih teliti.

3. CSS (*Cationic Slow Setting*)

Jenis aspal emulsi ini memiliki waktu pengerasan yang lambat setelah diaplikasikan yang biasanya digunakan dalam proyek yang memerlukan waktu pengaturan lebih panjang, seperti lokasi yang tidak mudah diakses, atau dalam kondisi cuaca ekstrim. Untuk aspal emulsi *slow setting* terdapat 2 jenis, yaitu jenis SS-1h harus sesuai dengan SNI 6832:2011 dan CSS-1h sesuai dengan SNI 4789:2011.

Dalam penelitian ini, jenis aspal emulsi yang digunakan yaitu Aspal Emulsi Kationik yang diperoleh dari PT. Triasindomix dengan jenis aspal emulsi **CSS-1h Modifikasi (*Cationic Slow Setting*)**, sehingga mengacu pada SNI 4798:2011.

2.2.2 Agregat

Agregat adalah komponen padat dan keras dengan ukuran yang bervariasi yang merupakan material utama dalam konstruksi perkerasan jalan dan berfungsi sebagai penahan beban serta mengisi rongga. Agregat dapat digunakan pada seluruh jenis lapisan perkerasan jalan kecuali pada lapisan tanah dasar dimana pada umumnya agregat yang digunakan terdiri

atas batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Karakteristik agregat yang baik berpengaruh terhadap daya dukung perkerasan jalan karena sekitar 90% bahan pembentuk lapisan perkerasan berupa agregat. Agregat yang berbentuk bersudut dan memiliki banyak bidang pecah memberikan *internal friction* dan *interlocking* yang baik antar partikel agregat. Sedangkan agregat yang berbentuk pipih dan panjang kurang memberikan internal friction dan interlocking yang baik antar partikel. Gaya *internal friction* dan *interlocking* yang baik dapat meningkatkan kestabilan sehingga campuran perkerasan jalan menjadi lebih tahan lama. Berdasarkan ukuran partikelnya, agregat dibedakan menjadi tiga fraksi agregat, antara lain:

1. Agregat Kasar

Partikel agregat kasar berasal dari proses disintegrasi alami yang terjadi pada batuan yang hasilnya berupa batu pecah/kerikil keras dan tidak berpori, yang tertahan pada saringan No. 4 (2,36 mm).

2. Agregat Halus

Partikel agregat halus merupakan partikel agregat hasil disintegrasi alami dan buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batuan, yang lolos dari saringan No. 4 (4,75 mm) – No. 200 (0,075 mm).

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi pada campuran perkerasan jalan biasanya menggunakan partikel seperti pasir ataupun semen yang telah lolos saringan No. 200 (0,075 mm).

Agregat dapat dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan gradasinya, yaitu :

1. Gradasi Seragam (*Uniformly Graded*)

Gradasi seragam, juga disebut gradasi terbuka, adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama atau sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Agregat dengan gradasi seragam mampu menghasilkan lapisan perkerasan yang memiliki permeabilitas tinggi, stabilitas rendah, dan berat volume kecil, sehingga dapat menghasilkan campuran aspal yang konsisten.

2. Gradasi Rapat (*dense Graded*)

Gradasi rapat memiliki variasi ukuran butir yang lebih kecil. Ini menunjukkan bahwa campuran agregat memiliki konsistensi yang lebih tinggi dan lebih sedikit lubang di antara butiran. Ini dapat menyebabkan campuran agregat menjadi lebih padat dan memiliki kinerja struktur yang lebih baik.

3. Gradasi Senjang (*Loose Graded*)

Gradasi senjang memiliki celah yang besar antara butiran agregat yang berbeda ukuran. Hal ini dapat menyebabkan kekompakan dan kekonsistenan campuran yang buruk serta kualitas dan kinerja aspal yang dihasilkan.

Persyaratan gradasi agregat untuk bahan tambalan siap pakai campuran beraspal mengacu pada Spesifikasi Khusus (Bina Marga, 2020) SKh-1.M.02 seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persyaratan gradasi agregat campuran beraspal untuk tambalan

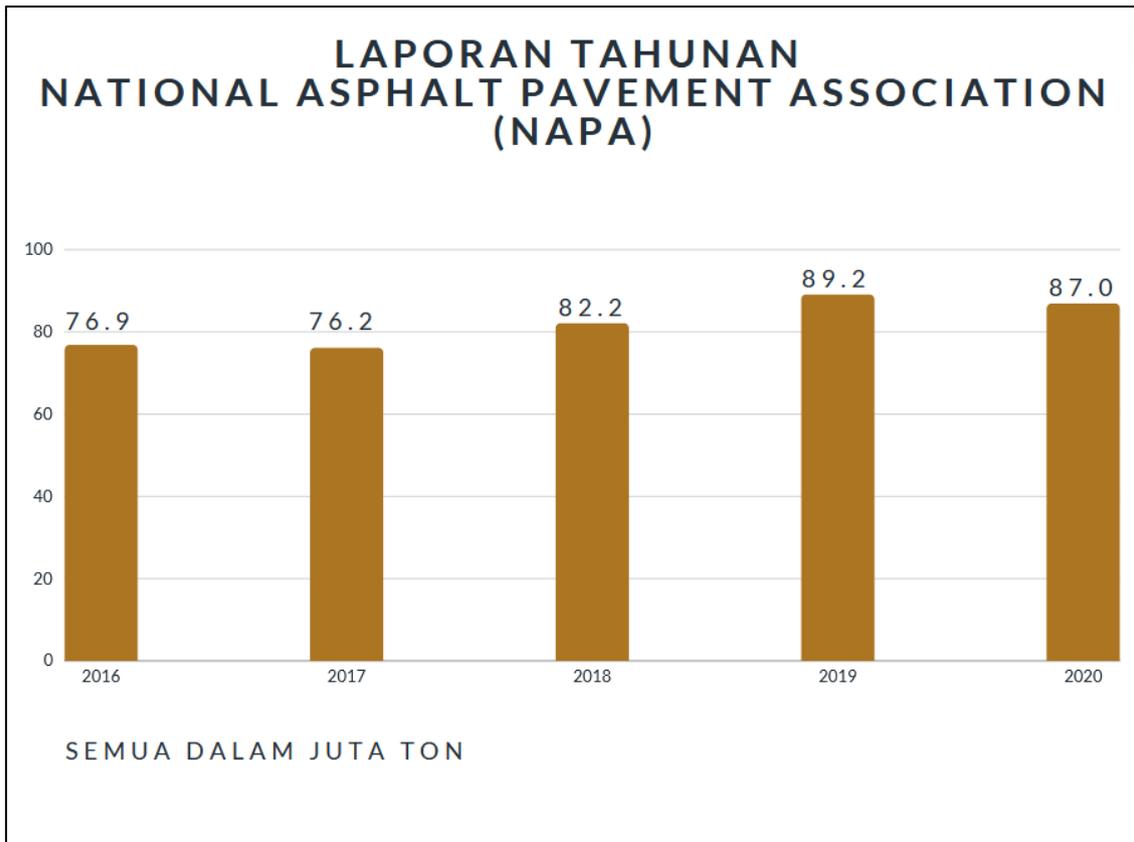
Ukuran Lubang Saringan		%berat yang lolos terhadap berat total campuran	
ASTM	(mm)	Gradasi Rapat	Gradasi Terbuka
3/4 "	19	100	100
1/2 "	12,7	90 - 100	90 - 100
3/8 "	9,5	77 - 90	80 - 100
No. 4	4,75	53 - 69	25 - 80
No. 8	2,36	33 - 53	16 - 35
No. 16	1,18	21 - 40	-
No. 30	0,60	14 - 30	-
No. 50	0,30	9 - 22	-
No. 100	0,150	6 - 15	-
No. 200	0,075	4 - 10	6 - 11

Sumber : SKh-1.M.02

2.2.3 *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) adalah material daur ulang yang dihasilkan dari penggilingan dan penghancuran lapisan aspal yang sudah ada dari jalan yang sudah ada. Proses penggilingan ini memungkinkan untuk memisahkan aspal dari agregat batu dan material lainnya yang ada dalam lapisan aspal yang telah ada. RAP didefinisikan sebagai aspal bekas daur ulang yang dipermukaan atau dirobek dari perkerasan yang ada selama rekonstruksi dan rehabilitasi jalan raya. Komponen utama RAP adalah pengikat dan agregat bekas, yang dapat digunakan untuk membuat struktur baru. Dengan demikian, RAP dapat mengurangi kebutuhan terhadap pengikat dan agregat baru, yang menjadikannya alternatif yang hemat biaya dan ramah lingkungan untuk bahan baru (Xiao et al., 2023). Selama beberapa tahun terakhir, RAP telah

menjadi alternatif yang semakin populer sebagai bahan limbah padat yang dapat didaur ulang (Suebsuk et al., 2014). Berdasarkan data laporan tahunan *National Asphalt Pavement Association* (NAPA) pada tahun 2020 ada sekitar 87 juta ton produksi RAP diseluruh dunia yang dimana telah terjadi penurunan hanya 2 juta ton dari tahun 2019, berikut adalah hasil laporan tahunan *National Asphalt Pavement Association* (NAPA) dalam jangka waktu 5 tahun mulai dari 2016 – 2020 :



Gambar 2.1 Laporan Tahunan NAPA (*National Asphalt Pavement Association*)

2.2.3.1 Pengujian Ekstraksi Aspal RAP

Pengujian Eksraksi merupakan penambahan pelarut yang dapat melarutkan salah satu bahan dalam campuran untuk memisahkan campuran dua atau lebih bahan. Syarat kadar dan sifat aspal mengacu pada Spesifikasi Khusus (Bina Marga, 2020) SKh-1.M.02.2.1 dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Persyaratan kadar dan sifat aspal hasil ekstraksi

Uraian	Metode Pengujian	Persyaratan
Kadar Aspal, %	SNI 03-3640-1994	Min. 5,5 – 7,0
Penetrasi bitumen hasil ekstraksi 25° C, 100 g, 5 detik, 0,1 mm	SNI 2456 : 2011	Min. 50

Sumber : SKh-1.M.02.2.1

2.2.4 TCM (Tambalan Cepat Mantap)

Berdasarkan Balitbang PUPR (Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat), Tambal Cepat Mantap merupakan teknologi penambalan secara instan yang menggunakan campuran agregat dengan aspal emulsi dingin. Balitbang PUPR menawarkan teknologi TCM sebagai solusi cepat, cepat, kuat, dan tahan lama untuk menangani kerusakan jalan berlubang secara cepat dan tepat. Dengan teknologi TCM, masalah terkait penambalan jalan berlubang dapat diatasi dengan baik. Selain itu, biaya pemeliharaan jalan relatif lebih murah (TAMBALAN CEPAT MANTAP (TCM) SOSIALISASI PRODUK-PRODUK BALITBANG PUPR, n.d.). Kegunaan TCM ini yaitu *Scraping Filling Overlay (SFO)*, *scraping* artinya memotong/membuang, *filling* yang artinya mengisi, dan *overlay* yang artinya melapisi atau bisa diartikan tindakan perbaikan atau pemeliharaan permukaan jalan yang rusak, berlubang, retakan di area tertentu, dan penutupan permukaan jalan dengan lapisan baru di titik-titik yang memerlukan perhatian khusus.

2.2.4.1 Bahan TCM

Berdasarkan Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga Tahun 2020, Bahan TCM adalah bahan tambalan siap pakai campuran beraspal yang dapat digunakan segera setelah diaplikasikan. Bahan TCM dapat dikirim dalam kemasan kantong yang kedap air atau dalam bentuk curah. Baik dalam bentuk kemasan maupun curah, bahan TCM harus disimpan di tempat yang terlindung dari hujan dan matahari, tidak boleh ditumpuk dengan ketinggian lebih dari dua meter, dan tidak boleh menggumpal saat dihamparkan.

Bahan TCM terdiri dari 4 jenis, yaitu :

1. Tambalan Cepat Mantap *Super Cold Mix Asphalt (SCMA)*.
2. Tambalan Cepat Mantap Asbuton (TCM-Asb atau TCMA).
3. Tambalan Cepat Mantap Menggunakan RAP (TCM-RAP).

4. Tambalan Cepat Mantap Curah.

Dalam penelitian ini, bahan TCM yang digunakan merupakan jenis *Cold Mix* TCM yang berasal dari PT. Triasindomix. *Cold Mix* TCM campuran antara aspal emulsi CSS-1h modifikasi, agregat, dan bahan kimia lain yang dicampur menggunakan metode *Cold Mix Plant*. Bahan TCM ini tidak memerlukan pemanasan dilapangan, tidak tergantung suhu, dan dapat disimpan saat belum digunakan. Sifat-sifat umum TCM tersebut antara lain, tanpa proses pemanasan, permukaannya kedap air, memiliki nilai struktural, stabilitas awal relatif rendah dan dapat meningkat akibat proses pengeringan. Bahan TCM ini terdiri dari aspal emulsi CSS-1h Modifikasi, agregat halus (abu batu, pasir alam), agregat kasar. Spesifikasi khusus Aspal emulsi mengacu pada Direktorat Jenderal Bina Marga pada Suplemen II tahun 1991, dan spesifikasi teknis TCM PROTRS mengacu pada Spesifikasi Khusus SKh-1.M.02 tahun 2020.

2.2.4.2 Gradasi Agregat Bahan TCM

Gradasi Agregat TCM mengacu pada pedoman Spesifikasi Bahan Tambalan Siap Pakai Campuran Beraspal (SKh-1.M.02).

2.2.4.3 Sifat Campuran Bahan TCM

Berdasarkan Penelitian yang dilakukan oleh Erawan (2014), menunjukkan bahwa dengan menggunakan alat pemadat ringan, TCM dapat dipadatkan pada suhu ruang dan dapat langsung dilintasi kendaraan setelah pemadatan. Bahan TCM ini juga dapat diaplikasikan walaupun dalam musim hujan (Pio, 2020). Kemampuan CPAM (*Cold Mix Asphalt Mixture*) untuk dihamparkan pada suhu normal dan rendah merupakan karakteristik yang paling nyata. Oleh karena itu, CPAM dapat dilepaskan pada suhu rendah, sehingga memudahkan penyebaran dan pemadatan (Lv et al., 2020). Karena CPM (*Cold Mix Patching Mixture*) dihamparkan pada suhu ruangan, yang mengurangi emisi udara dari kontaminasi dan bau, juga melindungi kesehatan dan keselamatan pekerja, maka dapat dianggap sebagai solusi ramah lingkungan (Autelitano & Giuliani, 2018). Bahan TCM harus memenuhi syarat ketentuan Bina Marga (2020) SKh-1.M.02.2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Bahan TCM dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Bahan TCM

Sifat Campuran	Metode Pengujian	Persyaratan Sifat Bahan TCM
Jumlah Tumbukan per bidang	ASTM D6926-10 : <i>Standard practice for preparation of bituminous specimens using marshall apparatus</i>	75
Kepadatan, ton/m ³	AASHTO T-166 : <i>Standard Method of Test for Bulk Specific Gravity (G_{mb}) of Compacted Asphalt Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens</i>	Dilaporkan
Rongga dalam campuran (VIM), %	AASHTO M323-12 : <i>Standard specification for superpave volumetric mix design</i>	4,0 – 7,0
Stabilitas Marshall pada temperatur pemadatan 30°C (±3 °C), kg	ATSM D6927-06 : <i>Standard test method for marshall stability and flow of bituminous mixtures</i>	Min. 700
Pelelehan, mm		2 – 5
Stabilitas Marshall sisa pada temperatur pemadatan 30°C (±3 °C), setelah perendaman selama 24 jam, 30°C, % semula	ATSM D6927-06 : <i>Standard test method for marshall stability and flow of bituminous mixtures</i>	Min. 75

Sumber : SKh-1.M.02.2.2

2.2.4.4 Pengujian Ekstraksi Aspal TCM

Pengujian Eksraksi merupakan penambahan pelarut yang dapat melarutkan salah satu bahan dalam campuran untuk memisahkan campuran dua atau lebih bahan. Syarat kadar dan sifat aspal mengacu pada Spesifikasi Khusus (Bina Marga, 2020) SKh-1.M.02.2.1 dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4 Persyaratan Kadar dan Sifat Aspal Hasil Ekstraksi

Uraian	Metode Pengujian	Persyaratan
Kadar Aspal, %	SNI 03-3640-1994	Min. 5,5 – 7,0
Penetrasi bitumen hasil ekstraksi 25° C, 100 g, 5 detik, 0,1 mm	SNI 2456 : 2011	Min. 50

Sumber : SKh-1.M.02.2.1

2.3 Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* merupakan salah satu metode yang umum digunakan agar dapat mengevaluasi kualitas dan kekuatan perkerasan jalan dengan menggunakan benda uji. Kualitas dan kekuatan dari suatu benda uji dapat ditinjau dari beberapa parameter diantaranya :

1. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan campuran aspal menunjukkan seberapa padat campuran tersebut setelah dipadatkan, Kepadatan dihitung dari berat volume campuran dan biasanya dinyatakan dalam satuan kilogram per meter kubik (kg/m^3), Kepadatan yang optimal penting untuk memastikan kekuatan dan daya tahan campuran aspal.

2. Angka ketahanan/stabilitas (*Stability*)

Stabilitas *Marshall* merupakan ukuran kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi plastis di bawah beban. Nilai stabilitas menunjukkan kekuatan campuran dan dihitung dari beban maksimum yang diterima sampel sebelum patah, Stabilitas *Marshall* diukur dalam satuan kilogram atau Newton.

3. Kelelehan/deformasi (*Flow*)

Flow merupakan ukuran deformasi plastis yang terjadi pada sampel saat beban maksimum diterapkan. *Flow* menggambarkan kelenturan campuran aspal dan diukur dalam satuan milimeter (mm). Nilai *flow* yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mengindikasikan masalah pada campuran aspal, seperti kekakuan berlebihan atau kekurangan stabilitas.

4. Volume rongga udara dalam campuran (*Void In Mixtures, VIM*)

VIM merupakan volume udara yang terdapat dalam campuran aspal setelah dipadatkan. Rongga udara dinyatakan sebagai persentase dari total volume campuran, Jumlah rongga udara yang tepat penting untuk mencegah deformasi permanen dan retak akibat perubahan suhu.

5. Volume rongga di antara agregat mineral (*Void in Mineral Aggregate, VMA*)

VMA merupakan volume total rongga dalam agregat sebelum ditambahkan aspal, VMA dinyatakan sebagai persentase dari total volume campuran dan penting untuk menentukan kadar aspal yang dibutuhkan untuk mencapai kepadatan yang optimal.

6. Volume rongga yang terisi aspal (*Void Filled with Bitumen, VFB*)

VFB merupakan persentase volume rongga dalam agregat yang terisi oleh aspal. VFB mengindikasikan seberapa baik aspal mengisi rongga dalam campuran dan mempengaruhi kekuatan serta daya tahan campuran aspal.

7. Rasio stabilitas terhadap flow (*Marshall Quotient, MQ*),

MQ merupakan parameter yang digunakan dalam pengujian Marshall untuk menilai ketahanan campuran aspal terhadap deformasi plastis dan kestabilan. MQ dihitung dengan membagi nilai stabilitas Marshall dengan nilai *flow* (kelelehan).

Standar yang digunakan dalam pengujian Marshall adalah ASTM D6926-10 dan SNI 06-2489:1991.