

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Pada bab ini akan menjelaskan teori-teori tentang metode *Marshall*, konstruksi perkerasan lentur, bahan campuran lapis aspal beton (aspal, agregat dan *filler*), bahan aditif anti *stripping agent*, lapis aspal beton AC-WC, gradasi agregat campuran, karakteristik beton *Marshall*, hubungan antara aspal dengan parameter *Marshall*, pengujian analisa campuran Laston AC-WC, dan hubungan antara *wetfix-be* dengan durabilitas *Marshall*.

2.2 Metode *Marshall* Test

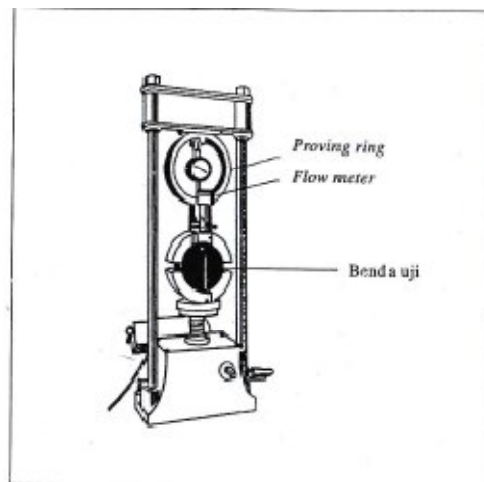
Konsep dasar dari metode *Marshall test* dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian pada tahun 1984 U.S. Army Corp of Engineering meningkatkan dan menambah beberapa kriteria pada prosedur tesnya, dan pada akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran pengujiannya, kemudian distandarisasikan di dalam *America Society For Test and Material 1989 (ASTM d-1559)*. Sejak itu test ini banyak yang diadopsi oleh berbagai organisasi dan pemerintahan.

Parameter penting yang ditentukan pengujian ini adalah beban maksimum yang dapat dipikul beton aspal padat sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan jumlah akumulasi deformasi sampel hancur yang disebut *Marshall Flow*. Dan juga turunan dari keduanya yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*Pseudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (*Shell Bitumen 1990*). Parameter lain yang penting adalah analisis *Void* yang terdiri dari *Void in The Mineral Aggregate (VAM)*, *Void in Mix (VIM)*, *Void Filled with Aspal (VFA)* yang ditentukan pada kondisi *Marshall* Standar (2 x 75 tumbukan).

Pada sebagian besar agregat, daya ikat terhadap air jauh lebih besar jika dibandingkan terhadap aspal, karena air memiliki *wetting power* yang jauh lebih besar dari aspal. Keberadaan air yang terlalu lama pada permukaan beton aspal dan agregat juga akan

berakibat kegagalan peningkatan ataupun berakibat munculnya potensi kehilangan daya ikat campuran beraspal.

Uji peredaman *Marshall* (*Marshall Immersion Test*) merupakan uji lanjutan dari uji *Marshall* sebelumnya, dengan maksud menguji ketahanan daya ikat/adhesi campuran beraspal terhadap pengaruh air dan suhu (*water sensitivity temperature susceptibility*). Ada beberapa cara yang digunakan untuk menilai tingkat durabilitas campuran beraspal, salah satunya adalah dengan mencari *Marshall Retained Stability* atau durabilitas standar dan dengan cara lain menghitung Indeks Penurunan Stabilitas atau yang bisa disebut durabilitas modifikasi. Perbedaan keduanya adalah dasar perbandingan dari variasi lamanya peredaman dalam alat *Water Bath*. Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-2990. Alat *Marshall* test dapat dilihat pada **Gambar 2.1** beriku ini.



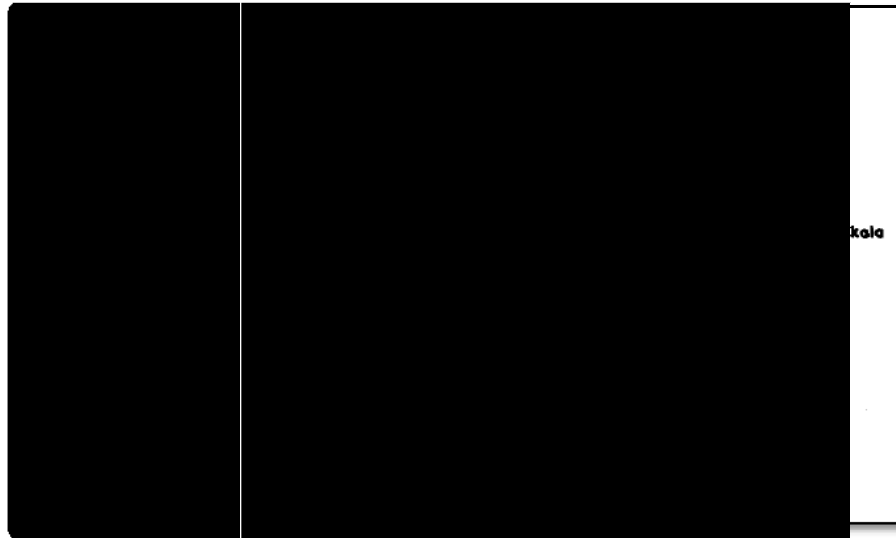
Gambar 2.1 Alat Test *Marshall*

2.3 Konstruksi Perkerasan Lentur

Perkerasan jalan harus memberikan rasa aman dan nyaman kepada pemakai jalan. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai tetapi juga ekonomis, maka perkerasan dibuat berlapis-lapis.

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. **Pada Gambar 2.2** terlihat bahwa kendaraan dilimpahkan keperkerasan jalan melalui bidang kontak roda berupa beban terbagi rata. Beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan dan disebarkan ketanah dasar menjadi

yang lebih kecil dari daya dukung tanah dasar (Silvia Sukirman, Perkerasan Lentur Jalan Raya, 2003).



Gambar 2.2 Penyebaran Beban Roda melalui Lapisan Perkerasan Jalan

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang terletak di atas tanah dasar yaitu sebagai berikut :

1. Lapis permukaan (*Surface Course*)
2. Lapis pondasi (*Base Course*)
3. Lapis pondasi bawah (*Subbase Course*)
4. Lapis tanah dasar (*Subgrade*)

2.3.1 Lapis Permukaan (Surface Course)

Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan dapat meliputi :

a) Struktural :

Secara struktural fungsi lapis permukaan adalah ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal dan beban horizontal (gaya geser). Untuk hal ini persyaratan dituntut adalah kuat, kokoh dan stabil.

b) Non Struktural, dalam hal ini mencakup :

- 1) Lapis kedap air, mencegah masuknya air kedalam lapisan perkerasan yang ada dibawahnya.
- 2) Menyediakan permukaan yang tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dan memperoleh kenyamanan yang cukup.
- 3) Membentuk permukaan yang tidak licin, sehingga tersedia koefisien gerak (*skid resistance*) yang cukup menjamin tersedianya keamanan lalu lintas.
- 4) Sebagai lapisan aus, yaitu lapis yang dapat aus yang selanjutnya dapat diganti lagi dengan yang baru.

Lapis permukaan sendiri masih bisa dibagi lagi menjadi dua lapisan yaitu :

1. Lapis Aus (*Wearing Course*)

Lapis aus (*Wearing Course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di atas lapis antara (*Binder Course*). Fungsi lapis aus adalah :

- a) Mengamankan perkerasan dari pengaruh air.
- b) Menyediakan permukaan yang halus.
- c) Menyediakan permukaan yang kesat.

2. Lapis Antara (*Binder Course*)

Lapis Antara (*Binder Course*) merupakan bagian dari lapisan permukaan yang terletak di atas lapis pondasi atas (*base course*) dengan lapis aus (*wearing course*). Fungsi dari lapis antara adalah :

- a) Mengurangi tegangan.
- b) Menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas sehingga harus mempunyai kekuatan yang cukup.

2.3.2 Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah. Fungsi lapis ini adalah :

- a) Lapis pendukung bagi lapis permukaan.
- b) Pemikul beban horizontal dan beban vertikal.
- c) Lapis perkerasan bagi lapis pondasi bawah.

2.3.3 Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis perkerasan yang terletak antar lapis pondasi atas dan tanah dasar dinamakan lapisan pondasi bawah.

Lapis pondasi ini berfungsi sebagai :

1. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebabkan beban roda ke tanah dasar. Lapisan ini cukup kuat.
2. Efisiensi penggunaan material. Material pondasi bawah relatif murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan di atasnya.
3. Mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
4. Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
5. Lapisan ini mencegah pertikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke pondasi atas.

2.3.4 Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar (*Subgrade*) adalah lapisan tanah asli, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

2.4 Bahan Campuran Lapis Beton Aspal

Bahan campuran beton aspal panas terdiri dari aspal, agregat dan *filler* / bahan pengisi.

2.4.1 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat terdiri dari *didrocarbon* atau turunannya dan bersifat mudah menguap serta lunak secara bertahap jika di panaskan. Aspal berwarna coklat tua sampai hitam yang bersifat melekatkan, padat atau semi padat, dimana sifat aspal menonjol tersebut didapat di alam atau penyulingan minyak (*Kreb, RD dan Walker RD, 1971*).

Aspal terbuat dari minyak mentah melalui proses penyulingan atau dapat di temukan dalam kandungan alam sebagai bagian komponen alam yang ditemukan bersama-sama material lainnya seperti pada cengkungan bumi yang mengandung aspal.

Aspal adalah material yang mempunyai sifat *visco-elastis* dan tergantung dari waktu pembebanan. Pada proses pencampuran dan proses pemadatan sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai viskositasnya.

AASHTO (1882) menyatakan bahwa jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal. Angka menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin rendah, sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin tinggi.

Terdapat bermacam-macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70. Aspal pada lapis keras jalan berfungsi sebagai bahan ikat antara agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberi kekuatan yang lebih besar dari kekuatan agregat.

Aspal adalah bahan yang *thermoplastis*, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer, demikian pula sebaliknya. Dari segi pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Namun, pemanasan yang berlebihan terhadap aspal akan merusak molekul-molekul dari aspal, misalnya aspal menjadi getas dan rapuh. Aspal mempunyai sifat *thixotropy*, yaitu dibiarkan tanpa mengalami tegangan-tegangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.

Fungsi kandung aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran. Jenis pengujian dan persyaratan untuk aspal seperti yang tercantum dalam **Tabel 2.1**

Table. 2.1 Pengujian dan Persyaratan Untuk Aspal Penetrasi 60/70

No	Pengujian	Metode	Syarat		Satuan
			Min	Max	
1	Penetrasi (25 ^o C, 100 grm, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	60	79	0,1 mm
2	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	^o C
3	Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	200	0	^o C
4	Kelarutan CC1 ₄	SNI 06-2438-1991	99	-	% Berat
5	Daktilitas (25 ^o C, 5cm/ menit)	SNI 06-2432-1991	100	-	Cm
6	Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 06-2440-1991	54	-	% Asli
7	Daktilitas setelah kehilangan berat	SNI 06-2432-1991	100	-	Cm
8	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	1	-	Gr/cm ³

Sumber : Spesifikasi Bina Marga, 2010

2.4.2 Agregat

Agregat adalah bahan keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran yang termasuk didalamnya antara lain pasir, kerikil, agregat pecah, abu batu (Departemen Pekerjaan Umum-Direktorat Jenderal Bina Marga, 1989).

Agregat adalah suatu kombinasi dari pasir, kerikil batu pecah atau kombinasi material lain yang digunakan dalam campuran beton aspal. Proporsi agregat kasar, agregat halus didasarkan kepada spesifikasi dan gradasi yang tersedia. Jumlah agregat dalam campuran aspal biasanya 90 sampai 95 persentase berat atau 75 sampai 85 persen dari presentase volume (Sukiman Silvia, Beton Campuran Aspal Panas, 2003). Agregat dapat diperoleh secara alami atau buatan. Agregat terjadi secara alamiah adalah pasir, kerikil, dan batu.

Adapun sifat-sifat yang penting dari agregat yang dapat mempengaruhi kinerja perkerasan aspal adalah :

- a) Gradasi dan bentuk butiran
- b) Kekerasan
- c) Keawetan (*durability*)
- d) Tekstur permukaan
- e) Kebersihan
- f) Penyerapan
- g) Adhesi
- h) Tahanan gelincir/ kesesatan

2.4.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan di saringan 2,36 mm, atau sama dengan saringan standar *ASTM (American Society for Testing and Material)* No. 8. Dalam campuran agregat, agregat kasar sangat penting dalam membentuk kinerja karena stabilitas dari campuran yang diperoleh dari ikatan antar butir agregat (*interlocking*). Persyaratan untuk agregat kasar seperti yang tercantum dalam **Tabel 2.2**

Tabel 2.2. Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan dan magnesium sulfat		SNI 3407-2008	MAKS. 12 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC bergradasi kasar	SNI 3407-2008	MAKS. 30 %
	<i>Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya</i>		MAKS. 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439-2011	Min. 95 %
<i>Angularitas (Kedalaman dari permukaan < 10 cm)</i>			90/95
<i>Angularitas (Kedalaman dari permukaan < 10 cm)</i>			80/75
<i>Partikel Pipih dan Lonjong</i>		ASTM D4791 <i>Perbandingan 1 : 5</i>	MAKS. 10 %
<i>Material lolos ayakan No. 200</i>		SNI 03-4142-1996	MAKS. 1 %

Sumber : Spesifikasi Bina Marga, 2010

2.4.2.2 Agregat Halus

Agregat halus yaitu batuan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi utama agregat halus adalah memberikan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan antar butir agregat (*interlocking*) dan gesekan antar agregat. Agregat halus memenuhi ketentuan sebagaimana yang ditunjukkan pada **Tabel 2.3** di bawah ini.

Tabel,2.3 Persyaratan Agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir (<i>Sand Equivalen</i>)	SNI 03-4428-1997	Min 60 %
Kadar Lempung	SNI 3423: 2008	Min 1 %
Angularitas (kedalam dari permukaan < 10 cm)	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Angularitas (kedalam dari permukaan ≥ 10 cm)		Min. 40

Sumber : Spesifikasi Bina Marga, 2010

2.4.3 Mineral Pengisi (*Filler*)

Mineral pengisi atau *filler* yaitu material yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm). *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi jumlah rongga dalam campuran, namun demikian jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampau tinggi kadar *filler* cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas, pada sisi lain kadar *filler* yang terlampau rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. *Filler* yang dipakai dalam campuran adalah semen portland. Persyaratan untuk *filler* seperti yang tercantum dalam **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Persyaratan bahan pengisi (*Filler*)

Pengujian	Standar	Nilai
Lolos saringan No. 200	SNI 03 M-02-1994-03	Min 75%
Bebas dari bahan Organik		Maks 4%
Berat Jenis	SNI 15-2531-99	0,5-9 gr/m ³

Sumber : Spesifikasi Bina Marga, 2010

2.4.4 Bahan Aditif *Anti Stripping Agent (Wetfix-Be)*

Wetfix-be merupakan bahan kimia yang sangat sensitif, selain harga relatif mahal penambahan jumlahnya terhadap campuran sangat sedikit sekali, bahan kimia ini, bekerja dengan merubah sifat kohesi antara aspal dan agregat, meningkatkan kelekatan antara aspal dan agregat serta mengurangi efek negatif dari air dan kelembaban sehingga menghasilkan permukaan perkerasan aspal yang berdaya lekat tinggi serta dapat menghasilkan stabilitas yang cukup baik. Kohesi aspal adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antara butir agregat.

Bahan anti pengelupasan aspal terhadap agregat (*anti stripping agent*) ini harus ditambahkan dalam bentuk cairan kedalam campuran aspal dengan menggunakan pompa penakar (*dozing pump*) pada saat akan dilakukan proses pencampuran basah di tempat pencampuran (*mixer/pugmil*). Kuantitas pemakaian aditif *anti stripping agent* dalam rentang 0,2 % - 0,4 % terhadap berat aspal (Spesifikasi Bina Marga 2010).

Manfaat dari aditif *wetfix-be* adalah :

- a) Meningkatkan pelapisan aspal dengan agregat walaupun dalam keadaan basah.
- b) Meningkatkan ikatan atau *bonding*.
- c) Anti penuaan, memperpanjang umur jalan 3-4 tahun.

Proses penambahan *wetfix-be* di AMP :

1. Memasukan *wetfix-be* ke dalam mobil tanki pengiriman atau langsung ke tanki penyimpanan aspal pada waktu pengisian aspal (sikulasi kurang-lebih satu jam)
2. Dengan menggunakan *dosing pump* disambungkan ke pipa aspal setelah pompa atau dimasukan ketimbangan aspal (*in-line metering injection system*).

Proses penambahan *wetfix-be* di laboratoium :

1. Penentuan kadar aspal optimum
2. Campurkan kadar aspal optimum dengan *wetfix-be* 0,2-0,4 %
3. Dipanaskan selama kurang lebih 1 jam di atas kompor sehingga menjadi aspal modifikasi
4. Tuangkan kadar aspal yang sudah tercampur *wetfix-be* di dalam wadah yaitu campuran batu pecah $\frac{3}{4}$, batu pecah $\frac{1}{2}$ pasir dan *filler* dan ditimbang secara kumulatif dengan masing-masing beratnya.
5. Dicampur dalam wajan dalam keadaan panas samapai mencapai suhu 140-155⁰C
6. Lakukan pemadatan 2 x 75 tumpukan
7. Pengujian *Marshall*

Berdasarkan hasil pengukuran *spectra infra* merah *wetfix-be* di Laboratorium Departemen Kimia – Institut Teknologi Bandung, dan gugus fungsi yang terdapat dalam bahan aditif tersebut adalah N, CHsp2 dan C-H alipatik. Proses pengukuran dilakukan tanpa dan dengan pemanasan pada 100⁰C selama 10 menit, tidak terjadi perubahan

spectra infra merah secara signifikan, yang menyatakan aditif aspal *wetfix-be* cukup stabil, adapun manfaat *Wetfix-Be* adalah

1. Meningkatkan pelapisan aspal dengan agregat waktu dalam keadaan basah
2. Sebagai *modifier* aspal untuk meningkatkan ikatan atau *bonding* agregat dan aspal.
3. Pemeliharaan rutin menjadi kurang.
4. Anti penuaan, serta memperpanjang umur 3-4 tahun.
5. Jalan selalu terpelihara dan nyaman.

Menurut Akzo Nobel, *Asphalt Applications* mempunyai Spesifikasi *Wetfix-Be* dapat dilihat pada **Tabel 2.5** berikut ini.

Tabel 2.5 Spesifikasi *Wetfix-Be*

Parameter	Batas	Metode
Asam nila	<10 mg KOH /g	VE/2.013
Jumlah amina nomor	160-185 mg HC1/g	VE/2.018
Kimia dan Data Fisik	Khas Nilai	
Penampilan	Coklat, cairan kental pada 20 ⁰ C	
pH	11 (5 % dalam air)	
Kepadatan	980 kg/m ³ pada 20 ⁰ C	
Titik Nyala	>218 ⁰ C	
Titik lebur	< 20 ⁰ C	
Kelarutan	800 mPa.s pada 20 ⁰ C	
Kelarutan	Khas Nilai	
Etanol	larut	
Air	emulsifialbe	
Kemasan dan Penyimpanan Penyimpanan dan penanganan	Produk ini stabil selama minimal dua tahun dalam wadah aslinya tertutup pada suhu kamar	

Sumber : Speksifikasi *Wetfix-Be* (Akzo Nobel, *Asphalt Applications*)

2.5 Lapis Aspal Beton AC-WC

Aspal beton campuran aspal panas merupakan suatu jenis lapis perkerasan konstruksi lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran antara agregat dan aspal dengan atau tanpa bahan tambahan yang dicampur pada suhu tertentu, karena dicampur dalam keadaan panas maka disebut "*hot-mix*" (Sukiman Silvia, 1992). Pada saat pencampuran aspal ini, aspal keras perlu dipanaskan terlebih dahulu sampai suhu tertentu. Campuran beraspal panas terdiri atas kombinasi agregat, aspal keras dan bahan pengisi maupun bahan tambahan (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2010). Kualitas beton aspal sangat tergantung pada bahan, susunan gradasi agregat, kadar aspal dalam campuran dan keseragaman.

Dalam campuran beraspal untuk memperbaiki mutu suatu campuran aspal serta meningkatkan kualitas aspal sehingga dapat menghasilkan permukaan perkerasan yang baik adalah dengan menggunakan bahan modifikasi (Spesifikasi Bina Marga, 2010).

Laston adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergadasi menerus, dicampur, dihampar, dan didapatkan dalam keadaan panas dan suhu tertentu. Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai strukural, awet, kadar aspal berkisar 4 – 7 % terhadap berat campuran dan dapat digunakan lalu lintas ringan, sedang sampai berat. Campuran ini memiliki tingkat kekakuan tinggi. Karena itu, bahan ini tidak cocok diletakan pada lapisan yang fleksibel, seperti lapis penetrasi. Tipe kerusakan umumnya terjadi pada lapis ini, adalah retak dan terlepasnya butiran. Hasil menunjukkan bahwa campuran ini perlu diperbaiki dalam hal kelenturan dan durabilitas (Hardiyatmo, H. C., 2011, Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah).

Salah satu proyek yang digunakan oleh Departemen dan Prasarana Wilayah adalah AC-WC sebagai bahan lapis aus yang langsung berhubungan dengan ban kendaraan dan merupakan lapisan yang kedap air dan tahan lama terhadap cuaca. AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) adalah salah satu dari tiga macam campuran lapis beton yaitu AC-BC (*Asphalt Concrete Biner Course*) sebagai lapisan pengikat terletak dibawah lapisan aus dan AC-Base (*Asphalt Concrete Base*) yaitu lapis aspal beton sebagai pondasi. Ketiga laston tersebut merupakan konsep oleh Bina Marga bersama dengan Pusat Litbang Jalan.

Penggunaan AC-WC yaitu untuk lapis permukaan (paling atas) dalam perkerasan lentur dan mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis Laston lainnya. Persyaratan campuran laston dapat dilihat pada **Tabel 2.7** berikut ini.

Tabel. 2.7 Persyaratan Sifat Campuran Laston

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		WC	BC	BASE
Penyerapan aspal (%)	Max	1,2		
Jumlah tumpukan perbidang		75		112
Rongga dalam campuran <i>VIM</i> (%)	Min	3		
	Max	5		
Rongga dalam Agregat <i>VMA</i> (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal <i>VFB</i> (%)	Min	65	63	60
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	800		1500
	Max	-		-
Pelelehan <i>flow</i> (mm)	Min	3		5
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman 24 jam, 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2,5		

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010

2.6 Gradasi Agregat Campuran

Gradasi agregat susunan dari beberapa ukuran butiran agregat yang membentuk suatu campuran agregat yang terdiri dari beberapa fraksi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang membentuk karakteristik dalam proses pelaksanaan laboratorium di lapangan (*AMP*).

Gradasi agregat gabungan untuk campuran *AC-WC* adalah gradasi gabungan antara beberapa agregat dengan prosentase tertentu untuk mendapatkan agregat dengan gradasi yang sesuai dengan spesifikasi, yang mempunyai gradasi menerus ditunjukkan dalam persen berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan harus berada di dalam daerah batas spesifikasi.

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan karakteristik perkerasan. Gradasi agregat pada Laston adalah jenis gradasi baik, yaitu campuran agregat dengan ukuran butiran yang terdistribusi merata dalam rentang ukuran butiran. Agregat bergradasi baik disebut juga dengan agregat bergradasi rapat.

Agregat bergradasi baik dapat dikelompokkan menjadi :

- 1) Agregat bergradasi kasar, adalah agregat bergradasi baik yang didominasi oleh agregat ukuran butiran kasar.
- 2) Agregat bergradasi halus, adalah agregat bergradasi baik yang didominasi oleh agregat ukuran halus.

Penentuan distribusi ukuran agregat akan mempengaruhi kekakuan jenis campuran aspal. Gradasi rapat akan menghasilkan campuran dengan kekakuan yang lebih besar dibandingkan gradasi terbuka. Dari segi kelelahan, kekakuan dan regangan yang diterima campuran beraspal panas akibat beban dinamik lalu lintas.

Spesifikasi baru beton aspal menetapkan gradasi dengan spesifikasi khusus yaitu target gradasi berada dalam batas control seperti **Table 2.8** garis control berfungsi sebagai batas rentang dimana suatu target gradasi harus berada di dalam garis tersebut yaitu diukur maksimum dan terkecil saringan (19 mm) dan ukuran saringan terkecil (0,075 mm).

Tabel 2.8 Gradasi Halus dan Kasar Agregat Gabungan Untuk Campuran Laston

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos Agregat Gabungan Total Agregat Dalam Campuran					
	Laston (AC)					
	Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
	WC	BC	BASE	WC	BC	BASE
37,5			100			100
25		100	90 – 100		100	90 - 100
19	100	90 - 100	73 – 90	100	90 - 100	73- 90
15,2	90 - 100	74 – 90	61 – 79	90 - 100	71 – 90	55 – 76
9,5	72 – 90	64 – 82	47 – 64	72 – 90	58 – 80	45 – 66
4,75	54 – 69	47 – 64	39,5 – 50	43 – 63	37 – 56	28 – 39,5
2,36	39,1 – 53	34,6 – 49	30,8 – 37	28 – 39,1	23 – 34,6	19 – 20,8
1,18	31,5 – 40	28,3 – 38	24,1 – 28	19 – 25,6	15 – 22,3	12 – 18,1
0,600	23,1 – 30	20,7 – 28	17,6 – 22	13 – 19,1	10 – 16,7	7 – 13,6
0,300	15,5 – 22	13,7 – 20	11,4 – 16	9 – 15,5	7 – 13,7	5 – 11,6
0,150	9 – 15	4 – 13	4 – 10	6 – 13	5 – 11	4,5 – 9
0,075	4 - 10	4 – 8	3 – 6	4 - 10	4 – 8	3 – 7

Sumber : Spesifikasi Bina Marga Edisi, 2010

2.7 Karakteristik Campuran Aspal Beton

Tujuan karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan.

2.7.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding* (Silvia Sukirman, Beton Aspal Panas). Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan yang lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Hal ini akan menghasilkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitas rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar pertikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. (Silvia Sukirman, Perkerasan Lentur Jalan Raya)

Stabilitas terjadi dari hasil geseran butir, penguncian antara pertikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan :

1. Penggunaan agregat dengan gradasi yang rapat
2. Agregat dengan permukaan yang kasar
3. Agregat berbentuk kasar
4. Aspal dengan penetrasi rendah
5. Aspal dengan penetrasi rendah
6. Aspal dengan jumlah yang mencukupi untuk ikatan butir

Agregat bergradasi baik, bergradasi rapat dapat memberikan rongga antar butiran agregat (*VMA*) yang kecil. Keadaan ini dapat menghasilkan stabilitas yang tinggi tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. *VMA* yang kecil mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat terbatas yang menghasilkan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mudah lepas yang menyebabkan lapis tidak lagi kedap air, kosidasi mudah terjadi dan lapis perkerasan menjadi rusak. Pemakaian aspal yang banyak lapis tidak lagi menyelimuti agregat dengan baik karena *VMA* kecil dan juga menghasilkan rongga antar campuran *VIM* yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar yang dinamakan *bleeing*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah :

1. Gesekan internal

Gesekan internal yang dapat berasal dari kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Stabilitas berbentuk dari kondisi gesekan internal yang terjadi di antara butir-butir agregat, saling mengunci dan mengisinya butir-butir agregat, dan masing-masing butir saling terikat, akibat gesekan antar butir dan adanya aspal. Kepadatan campuran menentukan pula tekanan kontak, dan nilai stabilitas campuran. Pemilihan agregat bergradasi baik atau rapat akan memperkecil rongga antara agregat, sehingga aspal yang dapat ditambahkan dalam campuran menjadi sedikit. Hal ini berakibat film aspal menjadi tipis. Kadar aspal yang optimum akan memberikan nilai stabilitas yang maksimum.

2. Kohesi

Kohesi adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Daya kohesi terutama ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal.

2.7.2 Kelenturan (Fleksibilitas)

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (*konsolidasi/settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan akibat dari repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat diatas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

2.7.3 Durabilitas (Keawetan)

Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal menerima paparan beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air atau perubahan temperature. Durabilitas aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, beton aspal akan lebih baik kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik. Tetapi semakin tebal selimut aspal, maka semakin mudah terjadi *bleeding* yang mengakibatkan jalan semakin licin. Banyaknya pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam beton aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi getas, dan durabilitas menurun. campuran aspal untuk mempertahankan kualitasnya yang diakibatkan oleh lalu lintas seperti beban kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air atau perubahan temperatur.

Uji durabilitas campuran ini dilakukan untuk mengetahui daya rekat aspal terhadap agregat dengan cara aspal beton direndam dalam air, dengan daya adhesi yang kuat akan melekat erat pada permukaan agregat. Durabilitas campuran aspal beton dapat ditinjau dari besaran nilai stabilitas pada uji *Marshall* setelah dilakukan peredaman.

Faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas aspal adalah :

a. Penggunaan agregat dan aspal yang baik

Kinerja campuran sangat mempengaruhi oleh sifat aspal sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal. Sifat aspal ini akan berubah secara signifikan akibat

oksidasi dan pengelupasan yang terjadi pada saat pencampuran, pengangkutan, dan peghamparan campuran di lapangan. Pengujian durabilitas aspal bertujuan untuk mengetahui seberapa baik aspal untuk mempertahankan sifat-sifat awalnya akibat proses penuaan. Walaupun banyak faktor yang menentukan, aspal dengan durabilitas yang baik akan menghasilkan campuran dengan kinerja yang baik pula.

- b. Kadar aspal yang tinggi
- c. Gradasi agregat menerus
- d. Proses pemadatan yang sempurna.

Faktor-faktor yang lain juga mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton (Sukiman S, Perkerasan Lentur Jalan Raya, 2003) :

1. *Film* aspal atau selimut aspal, *film* aspal yang tebal akan menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi terjadi *bleeding* menjadi tinggi.
2. *VIM* kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang mengakibatkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh dan getas.
3. *VMA* besar, sehingga film aspal dibuat besar. Jika *VMA* dan *VIM* kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadi *Bleeding* itu besar. Untuk mencapai *Bleeding* yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.

Daya tahan lama campuran beraspal dapat dimaksimalkan dengan cara menggunakan gradasi rapat, kadar aspal yang cukup dan kekerasan agregat tinggi. Gradasi rapat dengan kadar aspal yang cukup menyebabkan *interlocking* antar agregat partikel cukup baik, sehingga menambah kedekatan campuran, sedangkan agregat yang menahan disintegrasikan akibat beban lalu lintas.

Meningkatkan daya tahan lama campuran beraspal dengan mengisi rongga udara dengan aspal harus disesuaikan dengan stabilitas dan kekesatan (*skid resistance*), karena terlalu tebal aspal yang menyelimuti agregat akan menyebabkan gaya gesek dan kemampuan saling kunci (*interlocking*) antar agregat berkurang.

2.7.3.1 Durabilitas Standar

Proses pengujian durabilitas mengikuti SNI M-58-1990. Uji peredaman dilakukan pada temperature $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Masing-masing golongan terdiri dari dua sampel yang direndamkan pada bak peredaman untuk semua variasi kadar aspal.

Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian *Marshall* peredaman di dalam air $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan suhu stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut indeks stabilitas sisa (IRS) dan dihitung sebagai berikut :

$$IRS = \left(\frac{S_{24}}{S_0} \right) \times 100 \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- IRS = Indeks kekuatan sisa (%)
- S_{24} = nilai stabilitas benda uji direndam selama 24 jam
- S_0 = Nilai stabilitas benda uji yang control

2.7.3.2 Durabilitas Modifikasi

Crauss, J et al telah mengembangkan parameter tunggal yang dapat mengembangkan kondisi keawetan suatu campuran beraspal panas, setelah melalui serangkaian periode perendam tertentu. Parameter ini dinamakan indeks keawetan yang terdiri dari 2 jenis, yaitu indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua. Dalam metode ini dilakukan perendaman yaitu 0.5, 24 dan 48 jam.

a) Indeks durabilitas pertama

Indeks pertama ini didefenisikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan.

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- r : Nilai penurunan stabilitas (%)
- So : Nilai absolut dari kekuatan awal
- Si : persen kekuatan yang tersisa pada waktu t1
- Si+1 : persen kekuatan yang tersisa pada waktu ti+1
- ti,ti+1 : waktu peredaman (mulai dari awal pengujian)

Sebagai contoh, kalau pengukuran diambil 0.5, 24 dan 48 jam maka perendaman indeks kekuatan yang tersisa menjadi :

$$r = \frac{S_0 - S_{24}}{24 - 0.5} + \frac{S_{24} - S_{48}}{48 - 24} \dots\dots\dots(2.3)$$

b) Indeks durabilitas kedua

Indeks kedua didefenisikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis So = 100 persen (100%). Indeks (a) ini dinyatakan sebagai berikut :

$$a = \frac{I}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \dots\dots\dots(2.4)$$

Indeks keawetan kedua didefenisikan sebagai luas kehilangan kekuatan satu hari. Nilai positif dari (a) menunjukkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negative sebagai peningkatan kekuatan. Menurut defenisinya, a<100. Karena itu, memungkinkan untuk menyatakan presentase kekuatan sisa satu hari (Sa).

2.7.4 Impermeabilitas (Kedap air)

Impermeabilitas atau kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film atau selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedap air campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbalik terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

2.7.5 Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat pepetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi.

Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

1. *VIM* yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan menyebabkan kelelahan yang lebih cepat.
2. *VMA* yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan perkerasan aspal menjadi fleksibel.

2.7.6 Mudah Dilaksanakan (*Workability*)

Workability atau mudah dilaksanakan adalah kemampuan beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahn dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghampran dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur dan gradasi serta kondisi agregat. Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kusukuran dalam pelaksanaan.

2.7.7 Kekesatan atau Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Tahanan geser (*Skid Resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir agregat, luas bidang kontak antara butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

2.8 Parameter-Parameter Marshall

Karakteristik campuran aspal panas agregat aspal dapat diukur dengan sifat-sifat *Marshall* yang ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut :

1. Kerapatan (*Density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatan semakin baik. Nilai *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi campuran, jenis dan kualitas bahan penyusun, faktor pemadatan yang baik jumlah pemadatan maupun temperature pemadatan, penggunaan kadar aspal dan penambahan bahan aditif dalam campuran. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang memiliki *density* rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kontak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antar butiran agregat lebih besar. Selain itu *density* juga mempengaruhi kedekatan campuran, semakin besar kedap terhadap campuran, semakin kedap terhadap air dan udara.

2. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan yang lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Kestabilias yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Hal ini akan menghasilkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitas rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar pertikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Agregat bergradasi baik, bergradasi rapat dapat memberikan rongga antar butiran agregat (*VMA*) yang kecil. Keadaan ini dapat menghasilkan stabilitas yang tinggi tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. *VMA* yang kecil mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat terbatas yang menghasilkan film

aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mudah lepas yang menyebabkan lapis tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi dan lapis perkerasan menjadi rusak. Pemakaian aspal yang banyak lapis tidak lagi menyelimuti agregat dengan baik karena *VMA* kecil dan juga menghasilkan rongga antar campuran *VIM* yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar yang dinamakan *bleeding*.

3. *Void in the mineral Aggregate (VMA)*

Void in the mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara antara butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas rongga udara pengaruh terhadap kinerja suatu campuran kinerja jika *VMA* terlalu besar maka campuran akan memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu data dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai *VMA* berpengaruh pada sifat kedap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai *VMA* menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai *VMA* yang disyaratkan adalah minimum 15%.

4. *Void in the Mix (VIM)*

Void in the Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai *VIM* berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai *VIM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang mengakibatkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*reveling*) dan pengelupasan permukaan (*Stripping*) pada lapis perkerasan.

Nilai *VIM* yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding* karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Pada saat itu apabila lapis perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal untuk melakukan penetrasi dalam lapisan perkerasan. Nilai *VIM* yang lebih dari ketentuan akan mengakibatkan

berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi.

5. *Void Filled with Asphalt (VFA)*

Void Filled with Asphalt (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai *VFA* berpengaruh pada sifat kedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat campuran elastisitas campuran. Dengan kata lain *VFA* menentukan stabilitas fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai *VFA* berarti semakin banyak rongga dalam campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai *VFA* terlalu tinggi akan mengakibatkan bleeding. Nilai *VFA* yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak akan lama.

6. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*Flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga durabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat *Marshall* yang lain seperti stabilitas, *VIM* dan *VFA*. Nilai *VIM* yang besar menyebabkan berkurangnya *interlocking resistance* campuran dan berakibat timbulnya deformasi. Nilai *VFA* yang berlebihan juga menyebabkan aspal dalam campuran berubah konsistensinya menjadi pelican antar batuan. Nilai *Flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat jumlah dan temperatur pemadatan. Campuran yang memiliki angka kelelahan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelahan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Kerapatan campuran yang baik, kadar aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh penurunan nilai *flow*.

Nilai *flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan

menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*ruting*).

7. Hasil Bagi Marshall (*MQ*)

MQ merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *MQ* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin nilai *MQ* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya makanya campuran semakin lentur. Nilai *MQ* dipengaruhi oleh stabilitas dan *flow*. Nilai *MQ* disyaratkan minimal 250 kg/mm. nilai *MQ* dibawah 250 kg/mm mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *wasboarding*, *ruting*, dan *bleeding*.

2.8.1 Hubungan Antara Aspal dengan Parameter Marshall

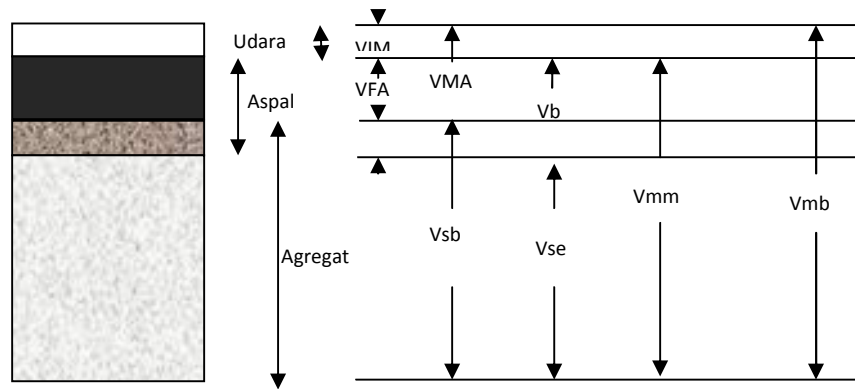
Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antar kadar aspal dengan parameter *Marshall* adalah :

1. Stabilitas akan meningkatkan jika kadar aspal bertambah, sampai nilai maksimum, dan setelah nilai stabilitas itu menurun.
2. Kelelahan atau *flow* akan terus meningkat dengan meningkat kadar aspal.
3. Lengkung berat volume identik dengan lengkung stabilitas, tetapi nilai stabilitas tercapai pada kadar aspal yang sedikit lebih tinggi dari kadar aspal untuk mencapai *VMA* stabilitas maksimum.
4. Lengkung *VIM* akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.
5. Lengkung *VMA* akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambahnya kadar aspal.
6. Lengkung *FVA* akan bertambah dengan bertambahnya kadar aspal, karena dalam hal ini makin banyak terisi oleh aspal.

2.8.2 Volumetrik Campuran Beraspal

Kinerja campuran beraspal sangat ditentukan oleh volumetrik campuran dalam keadaan padat terdiri dari rongga udara dalam campuran (*VIM*), rongga udara antara agregat (*VMA*), rongga terisi aspal (*VFA*).

Volumetrik campuran beraspal diilustrasikan sebagaimana diperhatikan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Volumetrik Campuran Beraspal

Sumber : Manual Campuran Aspal Panas, 2003

2.9 Pengujian analisa Campuran Laston AC-WC

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal sebagai berikut :

2.9.1 Parameter Perhitungan Metode *Marshall* :

1. Perkiraan Kadar aspal Rencana (P_b)

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + \text{Konstanta} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

P_b = Kadar aspal perkiraan, (%)

CA = Ageragt Kasar tertahan saringan No. 8, (%)

FA = Agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200, (%)

FF = Agregat halus lolos saringan No. 200, (%)

Konstanta dengan nilai antar 0,5-1,0 untuk campuran Laston dan 2,0 -3,0 untuk campuran Lataston.

2. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

a. Berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) = $\frac{Bk}{(Bj - Ba)}$(2.7)

b. Berat jenis kering-permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) = $\frac{Bj}{(Bj - Ba)}$(2.8)

c. Berat Jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) = $\frac{Bk}{(Bk - Ba)}$(2.9)

d. Penyerapan air (*Absorption*) = $\frac{(Bj - Bk)}{(Bk)} \times 100\%$(2.10)

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven, (gram)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh, (gram)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air, (gram)

3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

a. Berat jenis curah = $\frac{Bk}{(B + 500 - Bt)}$(2.11)

b. Berat jenis kering-permukaan jenuh = $\frac{500}{(B + 500 - Bt)}$(2.12)

c. Berat jenis semu = $\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$(2.13)

d. Penyerapan air = $\frac{(500 - Bk)}{Bk}$(2.14)

Keterangan :

B = Berat Picnometer berisi air, (gram)

Bt = Berat Piknometer berisi benda uji dan air, (gram)

500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, (gram)

4. Pemeriksaan Keausan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Keausan = $\frac{(a - b)}{a} \times 100\%$(2.15)

Keterangan :

a = Berat benda uji, (gram)

b = Berat benda uji tertahan saringan No. 12, (gram)

5. Berat Jenis Agregat *Bulk*

$$Gsb = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots + \frac{Pn}{Gn}} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan :

Gsb = Berat jenis bulk total agregat

P1,P2,Pn = prosentase masing-masing fraksi agregat, (%)

G1,G2,Gn = Berat jenis masing-masing fraksi agregat

6. Berat Jenis Efektif Agregat

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan :

Gse = Berat jenis efektif agregat

Gmm = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol

Pmm = Persen berat total campuran (=100)

Pb = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum yang diuji dengan *ASTM* 2014, persen terhadap berat total campuran.

Gb = Berat jenis aspal.

7. Berat Jenis Maksimum Campuran dengan Aspal Berbeda

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} - \frac{Pb}{Gb}} \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan :

Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

8. Penyerapan Aspal

$$Pba = 100 \frac{Gse - Gsb}{Gsb \times Gse} Gb \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

Pba = Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)

9. Kadar Aspal Efektif

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} Ps \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

Pbe = Kadar aspal efektif, persen total campuran, (%)

10. Kerapatan atau *Density*

$$Density = \left(\frac{100}{B/R + (100 - B)/Gsb} \right) \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

B = Kadar aspal, (%)

R = Berat jenis curah aspal

11. Rongga diantara Mineral Agregat (*VMA*)

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} + \frac{100}{(100 + Pb)} 100 \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

VMA = Rongga di antara mineral agregat, persen volume bulk, (%)

Gmb = berat jenis bulk campuran padat

Pb = Kadar aspal, persen total campuran, (%)

12. Rongga didalam Campuran (*VIM*)

$$VIM = 100 \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

VIM = Rongga di dalam campuran setelah pemadatan, % total campuran

13. Rongga Terisi Aspal (VFA)

$$VFA = \frac{100 \times (VMA - VIM)}{Gmm} \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan :

VFA = Rongga udara terisi aspal, persentase dari VMA, (%)

14. Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *Marshall*. Selain itu pada umumnya alat *Marshall* yang digunakan bersatuan *Lbf (poun force)*, sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga disesuaikan dengan angka koreksi uji.

15. Flow

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti diatas nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan dalam jarum dial. Hanya saja alat untuk uji jarum dial *flow* biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter), sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

2.9.2 Hasil Bagi *Marshall*

Hasil bagi *Marshall* / *Marshall Quetient* (MQ) merupakan hasil pembagian dari stabilitas dan kelelehan. Sifat *Marshall* tersebut dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan :

MQ = *Marshall Quetient*, (kg/mm)

MS = *Marshall Stabilitas*, (kg/mm)

MF = *Flow Marshall* (mm)

2.9.3 Hubungan Antara *Wetfix-Be* dengan Durabilitas *Marshall*

Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antar *wetfix-be* dengan durabilitas *Marshall* adalah :

1. Stabilitas akan meningkat jika kadar *wetfix-be* bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah nilai stabilitas itu menurun maka nilai durabilitas pun akan mengikuti perubahan stabilitas.
2. Kelelahan atau *flow* akan terus menurun dengan meningkatkan kadar *wetfix-be*.
3. Lengkung berat volume identik dengan lengkung stabilitas, tetapi nilai stabilitas mencapai pada kadar *wetfix-be* yang sedikit lebih tinggi dari kadar *wetfix-be* untuk mencapai *VMA* stabilitas maksimum.
4. Lengkung *VIM* akan terus menurun dengan bertambahnya kadar *wetfix-be* sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.
5. Lengkung *VMA* akan terus sampai mencapai nilai minimum dengan bertambahnya kadar *wetfix-be*.
6. Lengkung *FVA* akan bertambah dengan bertambahnya kadar *wetfix-be*, karena dalam hal ini makin banyak terisi oleh *wetfix-be*.

Standar Rujukan :

1. SNI – 03 – 1968 – 1990 Analisis saringan agregat halus dan kasar (AASTHO T 27-88)
2. SNI – 03 – 1968 – 1990 Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (AASTHO T 85-88)
3. SNI – 03 – 1970 – 1990 Berat jenis dan penyerapan air agregat halus (AASTHO T 84-88)
4. SNI – 03 – 2417 – 1991 Keausan agregat dengan mesin Los Angeles (AASTHO T 96-87)
5. SNI – 06-2456-1991 Penetrasi bahan-bahan aspal (AASTHO T 49-89)
6. SNI – 06-2432-1991 Daktilitas bahan-bahan aspal (AASTHO T 51-89)
7. SNI – 03-2439-1991 Kelekatan agregat dengan aspal (AASTHO T 182-1970)
8. SNI – 03-2441-1991 Berat jenis aspal padat (AASTHO T 228-89)
9. SNI – 03-2434-1991 Titik lembek aspal dan ter (AASTHO T 53-89)
10. SNI–03-2489-1991 Pengujian campuran beraspal dengan alat *Marshall* (AASTHO T 245-78)
11. SNI M-2456-1991 Pengujian durabilitas dengan *Marshall* (AASTHO T 242-78)