

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003). Perkerasan jalan adalah suatu konstruksi yang terdiri dari beberapa lapisan konstruksi jalan yang memikul dan menyebarkan beban lalu-lintas di atasnya ke tanah dasar. Jenis konstruksi perkerasan jalan pada umumnya ada dua jenis, yaitu:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*Portland cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan

atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton (*slab* beton).

## **B. Lapis Aspal Beton (Laston)**

Lapis beton aspal (*Laston*) adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu (Silvia Sukirman, 1999). Material agregatnya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus dan *filler* yang bergradasi baik yang dicampur dengan *penetration grade* aspal. Laston dikenal pula dengan nama AC (*Asphalt Concrete*). Tebal nominal minimum Laston adalah 4 - 6 cm, sesuai fungsinya Laston mempunyai 3 macam campuran yaitu:

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 4 cm.
2. Laston sebagai lapisan pengikat, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 5 cm.
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*), dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm.

Lapisan aspal beton (*laston*) yang secara umum digunakan secara luas diberbagai negara dalah direncanakan untuk memperoleh kepadatan yang tinggi, nilai struktural tinggi dan kadar aspal yang rendah. Hal ini biasanya mengarah menjadi suatu bahan yang relatif kaku, sehingga konsekuensi ketahanan rendah dan keawetan yang terjadi rendah pula. Ketentuan tentang sifat-sifat campuran laston AC-WC dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston AC-WC

Sifat-Sifat Campuran		Laston					
		Lapis Aus		Lapis Antara		Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif (%)		5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah tumbukan per bidang		75				112	
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,5					
	Maks.	5,0					
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	800				1800	
	Maks.	-				-	
Pelelehan (mm)	Min.	3				4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250				300	
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam. 60 °C	Min.	90					
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal	Min.	2,5					

Sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.3.(1c)

### C. Bahan Penyusun Konstruksi Perkerasan Jalan

Bahan lapis aspal beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal keras. Berikut bahan penyusun konstruksi perkerasan jalan yang digunakan:

#### 1. Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun buatan. Fungsi dari agregat dalam campuran aspal adalah sebagai kerangka yang memberikan stabilitas campuran jika dilakukan dengan alat pemadat yang tepat.

Agregat sebagai komponen utama atau kerangka dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% – 85% agregat berdasarkan persentase volume (Silvia Sukirman, 2003).

Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: gradasi, kekuatan, bentuk butir, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dan sifat kimia. Jenis dan campuran agregat sangat mempengaruhi daya tahan atau stabilitas suatu perkerasan jalan. Berdasarkan ukuran butirannya *aggregate* dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yaitu :

a. Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan di saringan 2,36 mm, atau sama dengan saringan standar ASTM No. 8. Dalam campuran agregat - aspal, agregat kasar sangat penting dalam membentuk kinerja karena stabilitas dari campuran diperoleh dari *interlocking* antar agregat. Fungsi agregat kasar adalah untuk memberikan kekuatan pada campuran dan memperluas mortar, sehingga campuran menjadi lebih ekonomis. Selain memperkecil biaya, tingginya kandungan agregat kasar juga memberi keuntungan berupa meningkatkan tahanan gesek lapis perkerasan. Tingginya kandungan agregat kasar membuat lapis perkerasan lebih permeabel. Hal ini menyebabkan rongga udara meningkat, sehingga air mudah masuk dan menurunnya daya lekat bitumen, maka terjadinya pengelupasan aspal dari batuan.

Agregat kasar pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Berikut ini adalah Tabel 2 yang berisi tentang ketentuan untuk agregat kasar.

Tabel 2. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3407:2008	Maks.12 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC bergradasi kasar	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 03-2439-1991	Min. 95 %
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)		DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No.621	95/90 1
Angularitas (kedalaman dari permukaan 10 cm)			80/75 1
Partikel Pipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1 :5	Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks. 1 %

Sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.2.(1a)

#### b. 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 *interlocking* dan gesekan antar partikel. Bahan ini dapat terdiri dari butiran-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus Min 70% untuk AC bergradasi kasar
Material Lolos Ayakan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423 : 2008	Maks 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	AASHTO TP-33 atau ASTM C1252-93	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan 10 cm)		Min. 40

*Sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.2.(2a)*

#### c. Bahan Pengisi (*Filler*)

Mineral pengisi (*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.

#### d. Sifat Agregat

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya pelekatan dengan aspal (Silvia Sukirman, 2003). Adapun sifat agregat yang perlu diperiksa antara lain:

## 1) Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan campuran dari berbagai diameter butiran agregat yang membentuk susunan campuran tertentu. Gradasi agregat ini diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan (dengan ukuran saringan 19,1 mm; 12,7 mm; 9,52 mm; 4,76 mm; 2,38 mm; 1,18 mm; 0,59 mm; 0,149 mm; 0,074 mm), dimana saringan yang paling kasar diletakkan diatas dan yang paling halus terletak paling bawah. Satu saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup (Silvia Sukirman, 1999). Gradasi agregat dapat dibedakan sebagai berikut:

### a) Gradasi seragam

Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau ruang kosong antar agregat.

### b) Gradasi rapat

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapis perkerasan dengan stabilitas tinggi, kedap air, berat volume besar.

### c) Gradasi senjang

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat

yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Campuran agregat dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari kedua gradasi yang disebut diatas.

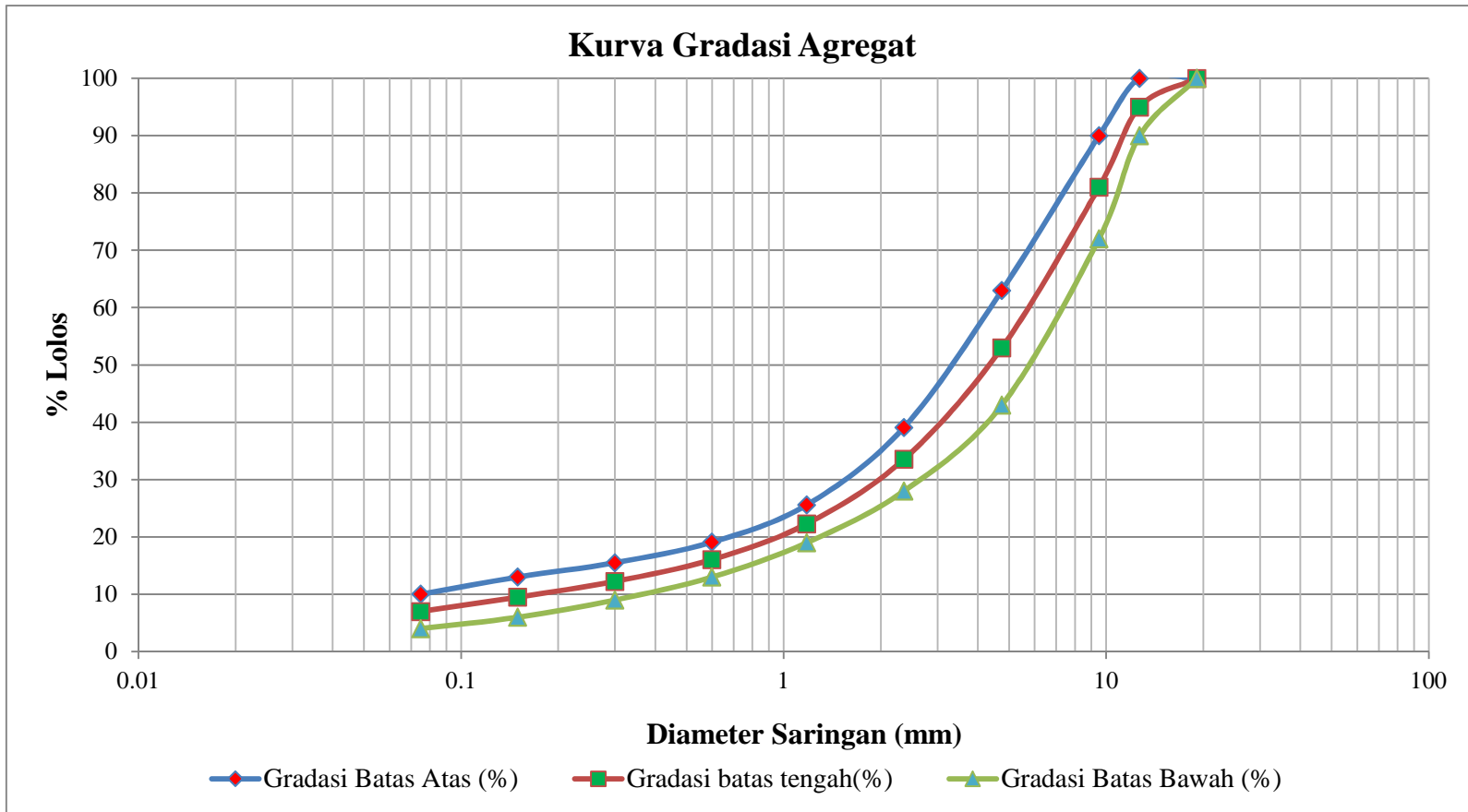
Tabel 4. Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos LASTON (AC)					
		Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
(Inci)	(mm)	AC-WC	AC-BC	AC-Base	AC-WC	AC-BC	AC-Base
1½"	37,5	-	-	100	-	-	100
1"	25	-	100	90 - 100	-	100	90 - 100
¾"	19	100	90 - 100	73 - 90	100	90 - 100	73 - 90
½"	12.5	90 - 100	74 - 90	61 - 79	90 - 100	71 - 90	55 - 76
⅜"	9.5	72 - 90	64 - 82	47 - 67	72 - 90	58 - 80	45 - 66
No.4	4.75	54 - 69	47 - 64	39,5 - 50	43 - 63	37 - 56	28 - 39,5
No.8	2.36	39,1 - 53	34,6 - 49	30,8 - 37	28 - 39,1	23 - 34,6	19 - 26,8
No.16	1.18	31,6 - 40	28,3 - 38	24,1 - 28	19 - 25,6	15 - 22,3	12 - 18,1
No.30	0.6	23,1 - 30	20,7 - 28	17,6 - 22	13 - 19,1	10 - 16,7	7 - 13,6
No.50	0.3	15,5 - 22	13,7 - 20	11,4 - 16	9 - 15,5	7 - 13,7	5 - 11,4
No.100	0.15	9 - 15	4 - 13	4 - 10	6 - 13	5 - 11	4,5 - 9
No.200	0.075	4 - 10	4 - 8	3 - 6	4 - 10	4 - 8	3 - 7

Sumber: Dokumen pevelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.2.3



Grafik gradasi agregat campuran Laston AC-WC bergradasi kasar dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Grafik gradasi campuran Laston AC-WC bergradasi kasar Spesifikasi Bina Marga 2010

## 2. Aspal

Menurut Silvia Sukirman (2003), Aspal merupakan material perekat yang berwarna hitam atau coklat tua yang berasal dari bekas penyulingan minyak bumi dengan unsur utama bitumen. Pada temperatur ruang tertentu akan berbentuk padat dan bersifat termoplastis, pada suhu dinaikkan atau dipanaskan akan mencair dan dapat digunakan untuk membungkus partikel agregat pada saat pencampuran aspal. Aspal merupakan material *visco elastic* dan *termoplastis*, berarti sifatnya bervariasi dari kental sampai elastis atau mencair tergantung pada waktu pembebanan dan temperatur selama pencampuran serta pepadatan dari campuran aspal. Sifat aspal dapat dinyatakan sebagai viskositas tetapi pada kebanyakan kondisi pelayanan aspal *visco-elasticity* dan sifatnya dapat dinyatakan dalam modulus kekakuan.

Aspal pada lapis keras jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dari kekuatan agregat. Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan aspal keras hasil penyulingan minyak mentah produksi *Shell*. Jenis-jenis aspal buatan hasil penyulingan minyak bumi terdiri dari:

### a. Aspal keras

Aspal keras merupakan aspal hasil destilasi yang bersifat *viskoelastis* sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Aspal yang digunakan dapat berupa aspal keras

penetrasi 60 atau penetrasi 80 yang memenuhi persyaratan aspal keras.

Jenis-jenisnya:

- 1) Aspal penetrasi rendah 40/55, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan daerah dengan cuaca iklim panas.
- 2) Aspal penetrasi rendah 60/70, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas sedang atau tinggi, dan daerah dengan cuaca iklim panas.
- 3) Aspal penetrasi rendah 80/100, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas sedang/rendah dan daerah dengan cuaca iklim dingin.
- 4) Aspal penetrasi rendah 100/110, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas rendah dan daerah dengan cuaca iklim dingin.

b. Aspal cair

Aspal cair merupakan aspal hasil dari pelarutan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak. Aspal cair digunakan untuk keperluan lapis resap pengikat (*prime coat*).

c. Aspal emulsi

Aspal emulsi dihasilkan melalui proses pengemulsian aspal keras. Pada proses ini partikel-partikel aspal padat dipisahkan dan didispersikan dalam air.

Berikut ini adalah Tabel 5 yang berisi spesifikasi dari aspal keras penetrasi 60/70.

Tabel 5. Spesifikasi aspal keras pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1	Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5 detik; 0,1	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	Viskositas 135°C	SNI 06-6441-1991	385
3	Titik Lembek ( °C)	SNI 06-2434-1991	48
4	Indeks Penetrasi	-	- 1,0
5	Daktalitas pada 25 °C, (cm)	SNI 06-2432-1991	100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	232
7	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	1,0
8	Berat yang Hilang	SNI 06-2440-1991	0.8

Sumber: Dokumen pevelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.2.5

#### D. Karakteristik Campuran Beraspal

Menurut Silvia Sukirman (2003), terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser (*skid resistance*), kedap air dan kemudahan pelaksanaan (*workability*). Di bawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut :

1. Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan mayoritas kendaraan berat membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah :
  - a. Gesekan internal yang dapat berasal dari kekasaran permukaan butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi

agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal.

- b. Kohesi yang merupakan gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat.
2. Durabilitas lapis keras jalan adalah kemampuan untuk mencegah terjadinya perubahan pada bitumen, kehancuran agregat, dan mengelupasnya selaput aspal pada batuan agregat. Faktor eksternal yang mempengaruhi durabilitas adalah cuaca, air, suhu udara dan keausan akibat gesekan dengan roda kendaraan.
3. 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 terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas ataupun akibat beban sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli.
4. Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue Resistance*) adalah kemampuan beton aspal untuk menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.
5. Kekesatan/tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya esek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir atau slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas

bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal.

6. Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.
7. *Workability* adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Kemudahan pelaksanaan menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur dan gradasi serta kondisi agregat.

#### **E. Kadar Aspal Rencana**

Perkiraan awal kadar aspal optimum dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan pengabungan pada tiga fraksi agregat. Sedangkan perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

$P_b$  = Perkiraan kadar aspal optimum

$CA$  = Nilai presentase agregat kasar

$FA$  = Nilai presentase agregat halus

$FF$  = Nilai presentase *Filler*

$K$  = konstanta (kira-kira 0,5 - 1,0)

Hasil perhitungan  $P_b$  dibulatkan ke 0,5% ke atas terdekat.

## F. Volumetrik Campuran Aspal Beton

Volumetrik campuran beraspal yang dimaksud adalah volume benda uji campuran yang telah dipadatkan. Komponen campuran beraspal secara volumetrik tersebut adalah: Volume rongga diantara mineral agregat (VMA), Volume bulk campuran padat, Volume campuran padat tanpa rongga, Volume rongga terisi aspal (VFA), Volume rongga dalam campuran (VIM), Volume aspal yang diserap agregat.

### 1. Rongga Udara dalam Campuran / *Voids In Mix* (VIM)

*Voids In Mix* atau disebut juga rongga dalam campuran digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen. Rongga udara yang dihasilkan ditentukan oleh susunan partikel agregat dalam campuran serta ketidakseragaman bentuk agregat. Rongga udara merupakan indikator durabilitas campuran beraspal sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Rongga udara dalam campuran yang terlalu kecil dapat menimbulkan *bleeding*. *Bleeding* disebabkan oleh penurunan rongga udara yang tidak diikuti oleh penurunan kadar aspal, jika penurunan rongga udara seiring dengan penurunan kadar aspal maka campuran tersebut mempunyai kemampuan menahan deformasi permanen sekaligus memberikan durabilitas yang baik. Semakin kecil rongga udara maka campuran beraspal akan makin kedap terhadap air, tetapi udara tidak dapat masuk kedalam lapisan beraspal sehingga aspal menjadi rapuh dan getas. Semakin tinggi rongga udara dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan lebih cepat.

Volume rongga udara dalam persen dapat ditentukan dengan rumus:

$$\text{VIM} = 100 \times \frac{G_{\text{mm}} \times G_{\text{mb}}}{G_{\text{mm}}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

VIM = Rongga udara campuran, persen total campuran

$G_{\text{mm}}$  = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara 0 (Nol)

$G_{\text{mb}}$  = Berat jenis *bulk* campuran padat

## 2. Rongga pada Campuran Agregat / *Void Mineral Aggregate* (VMA)

Rongga pada campuran agregat adalah rongga antar butiran agregat dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan serta aspal efektif yang dinyatakan dalam persentase volume total campuran.

Agregat bergradasi menerus memberikan rongga antar butiran VMA yang kecil dan menghasilkan stabilitas yang tinggi tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. VMA yang kecil menyebabkan aspal menyelimuti agregat terbatas, sehingga menyebabkan lapisan perkerasan tidak kedap air jadi oksidasi mudah terjadi dan menyebabkan terjadinya kerusakan. VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka. Seluruh jenis campuran aspal mempunyai cukup aspal menyelimuti partikel agregat dan juga cukup rongga udara dalam campuran (VIM) untuk mencegah adanya bentuk kerusakan alur plastis. Perhitungan VMA terhadap campuran total dengan persamaan:



## a. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk

$G_{sb}$  = Berat jenis *bulk* agregat

$G_{mb}$  = Berat jenis *bulk* campuran padat

$P_s$  = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

## b. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk

$G_{sb}$  = Berat jenis bulk agregat

$G_{mb}$  = Berat jenis bulk campuran padat

$P_b$  = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran

3. Rongga Terisi Aspal / *Void Filled with Asphalt* (VFA)

Rongga terisi aspal / *Void Filled with Asphalt* (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat VMA yang terisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Untuk mendapatkan rongga terisi aspal (VFA) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{G_{mm}} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

VFA = Rongga terisi aspal

VMA = Rongga diantara mineral agregat

VIM = Rongga udara campuran, persen total campuran

$G_{mm}$  = Berat jenis maksimum campuran

#### 4. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis yang diuji terdiri dari tiga jenis yaitu berat jenis *bulk (dry)*, berat jenis bulk campuran (*density*), berat jenis maksimum (*theoritis*). Perbedaan ketiga istilah ini disebabkan karena perbedaan asumsi kemampuan agregat menyerap air dan aspal.

##### a. Berat Jenis *Bulk* Agregat

Berat jenis *bulk* adalah perbandingan antara berat bahan di udara (termasuk rongga yang cukup kedap dan yang menyerap air) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air suling serta volume yang sama pada suhu tertentu pula. Karena agregat total terdiri dari atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda maka berat jenis bulk ( $G_{sb}$ ) agregat total dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan berat jenis *bulk aggregate*:

$G_{sb}$  = Berat jenis *bulk* total agregat

$P_1, P_2 \dots P_n$  = Persentase masing-masing fraksi agregat

$G_1, G_2 \dots G_n$  = Berat jenis bulk masing-masing fraksi agregat

b. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif adalah perbandingan antara berat bahan di udara (tidak termasuk rongga yang menyerap aspal) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air destilasi dengan volume yang sama dan suhu tertentu pula, yang dirumuskan:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

$G_{se}$  = Berat jenis efektif agregat

$P_{mm}$  = Persentase berat total campuran (100%)

$G_{mm}$  = Berat jenis maksimum campuran

$P_b$  = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum (%)

$G_b$  = Berat jenis aspal

c. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ) pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Berat jenis maksimum campuran secara teoritis dapat dihitung dengan rumus :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

$G_{mm}$  = Berat jenis maksimum campuran

$P_{mm}$  = Persentase berat total campuran (100%)

$P_b$  = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum

$P_s$  = Kadar agregat persen terhadap berat total campuran

$G_{se}$  = Berat jenis efektif agregat

$G_b$  = Berat jenis aspal

### **G. Suhu / Temperatur**

Aspal pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau masuk kedalam pori-pori saat penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam ataupun peleburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis).

Setiap jenis aspal mempunyai kepekaan terhadap temperatur berbeda – beda, karena kepekaan tersebut dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspalnya, walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Pemeriksaan sifat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur perlu dilakukan sehingga diperoleh informasi tentang rentang temperatur yang baik untuk pelaksanaan pekerjaan. Pada tabel 6 memperlihatkan nilai viskositas aspal dan batasan suhu selama pencampuran, penghamparan dan pemadatan.

Tabel 6. Ketentuan Viskositas dan Temperatur Aspal Untuk Pencampuran dan Pematatan

No.	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas aspal (PA.S)	Suhu Campuran (°C)
			Pen 60/70
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,2	155 ± 1
2	Pematatan benda uji Marshall	0,4	145 ± 1
4	Pencampuran rentang temperatur sasaran	0,2 – 0,5	145 – 155
5	Menuangkan campuran dari AMP ke dalam truk	± 0,5	135 – 150
6	Pasokan ke alat penghamparan ( <i>paver</i> )	0,5 – 1,0	130 – 150
7	Penggilasan awal (roda baja)	1 – 2	125 – 145
8	Penggilasan kedua (roda karet)	2 – 20	100 – 125
9	Penggilasan akhir (roda baja)	< 20	> 95

Sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.5.1

## H. Metode *Marshall*

Metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce Marshall. Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*flow*). Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *Proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *Marshall standart* berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm).

Hasil uji akan menunjukkan karakteristik *Marshall* dan karakteristik akan dipengaruhi oleh sifat-sifat campuran yaitu: kepadatan, rongga diantara agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM),

rongga dalam campuran pada kepadatan mutlak, stabilitas kelelahan serta hasil bagi *Marshall/Marshall Quotient* (MQ) yaitu merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelahan dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

- MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)  
 S = nilai stabilitas terkoreksi (kg)  
 F = nilai flow (mm)

## I. Penelitian yang relevan

Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini, yaitu :

Tabel 7. Beberapa Penelitian Terdahulu Yang Relevan Dengan Penelitian Ini

No	Nama	Topik	Rekomendasi
1	Nu'man Apandi	Pengaruh Temperatur Pemadatan Pada Aspal Modifikasi (Aspal Polymer) Terhadap Nilai Struktural Berdasar Uji <i>Marshall</i>	Penelitian ini menggunakan jenis campuran beton aspal dengan type gradasi AC-WC, jenis aspal penetrasi 60/70, dengan variasi suhu 165 <sup>0</sup> C, 145 <sup>0</sup> C, 125 <sup>0</sup> C, 105 <sup>0</sup> C, 85 <sup>0</sup> C. Hasil uji didapat nilai: VIM mengalami peningkatan dari 4,771% sampai 7,03%, VMA meningkat dari 18,435% sampai 20,704%, VFA menurun dari 74,196% sampai 64,267%, stabilitas menurun dari 1057,155kg sampai 849,785kg, flow meningkat dari 4,1 mm sampai 5,4 mm dan kepadatan menurun dari 2,285 gr/cm <sup>3</sup> sampai 2,194 gr/cm <sup>3</sup> .
2	Sutaryo	Pengaruh Variasi Temperatur Pemadatan Terhadap Sifat <i>Marshall</i> Dan Indek Stabilitas Sisa Berdasarkan Spesifikasi Baru Beton Aspal Pada Laston (AC-BC) Menggunakan jenis aspal pertamina dan aspal <i>Esso</i> penetrasi 60/70	Penelitian ini menggunakan jenis aspal pertamina dan aspal <i>Esso</i> penetrasi 60/70 ditunjukkan bahwa nilai stabilitas aspal jenis <i>Esso</i> sampai akhir pelayanan lebih besar, nilai flow lebih kecil, nilai MQ lebih besar dan nilai indek stabilitas sisa pada masa pelayanan yang lebih besar dari jenis pertamina, menjadikan nilai aspal jenis <i>Esso</i> kinerjanya lebih baik dibandingkan dengan menggunakan aspal jenis pertamina. Hasil analisis rongga dan pengujian <i>Marshall</i> , direkomendasikan temperatur pemadatan antara 110 <sup>0</sup> C - 160 <sup>0</sup> C untuk hal tersebut, temperatur pencampuran AMP antara 160 <sup>0</sup> C - 170 <sup>0</sup> C, temperatur pemadatan awal, dengan menggunakan Tandem Roller dilaksanakan 2 lintasan, temperatur lapangan 120 <sup>0</sup> C sampai 150 <sup>0</sup> C untuk menghindari nilai stabilitas yang terlalu tinggi dan nilai flow

			yang terlalu rendah.
3	M.Zainul Arifin, Achmad Wicaksono dan Ken Pawestri	Pengaruh Penurunan Suhu (Dengan Dan Tanpa Pemanasan Ulang) Terhadap Parameter <i>Marshall</i> Campuran Aspal Beton	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai suhu optimum untuk campuran tanpa pemanasan ulang adalah 104,81°C untuk campuran dengan pemanasan ulang 75°C. Campuran tanpa pemanasan ulang memiliki nilai VIM sebesar 11,794%, VMA sebesar 23,224%, Stabilitas sebesar 633,111 kg, <i>flow</i> sebesar 2,968 mm dan MQ sebesar 232,934 kg/mm. Sedangkan campuran dengan pemanasan ulang memiliki nilai VIM sebesar 7,334%, VMA sebesar 19,985%, Stabilitas sebesar 1317,713 kg, <i>flow</i> sebesar 2.201 mm dan MQ sebesar 583,643 kg/mm. Campuran tanpa pemanasan ulang tidak memiliki stabilitas optimum sedangkan campuran dengan pemanasan ulang memiliki stabilitas optimum pada suhu 80,139°C dengan nilai stabilitas 1329,423 kg. Berdasarkan penelitian ini terlihat bahwa campuran yang dipanaskan ulang mempunyai nilai stabilitas yang lebih besar daripada campuran yang tidak dipanaskan ulang.



4	RE. Sugiarto	Pengaruh Variasi Tingkat Kepadatan terhadap Sifat <i>Marshall</i> Dan Indeks Kekuatan Sisa Berdasarkan Spesifikasi Baru Beton Aspal Pada Laston(AC-WC) Menggunakan Jenis Aspal Pertamina Dan Aspal <i>Esso</i> Penetrasi 60/70	Pada penelitian ini pengaruh variasi tingkat kepadatan terhadap sifat <i>Marshall</i> berdasarkan spesifikasi pada AC-WC dengan menggunakan aspal Pertamina dan aspal Esso memenuhi persyaratan untuk konstruksi lapisan lentur dengan lalu lintas berat, dimana untuk menghasilkan kinerja konstruksi jalan yang baik untuk volume lalu-lintas tinggi harus dipilih gradasi agregat gabungan yang lewat didaerah penolakan
5.	Joko Susilo	Pengaruh variasi suhu pencampuran dan pematatan campuran beraspal panas menggunakan aspal retona blend 55	Dari hasil pengujian karakteristik <i>Marshall</i> standar dan rendaman dengan menggunakan nilai KAO masing-masing variasi, diperoleh variasi suhu optimum yaitu pada variasi suhu II, dengan suhu pencampuran 170°C dan suhu penumbukan/pematatan 156°C.
6.	Akem	Pengaruh suhu pematatan pada lapis perkerasan laston (HRS –WC) yang menggunakan bahan pengikat 55	Hasil pemeriksaan awal nilai <i>Pb</i> yang diperoleh ialah 6,5% maka didapat variasi kadar aspal yaitu 5,5%–6,0%–6,5%–7,0%–7,5%. Hasil pengujian di laboratorium dengan parameter <i>Marshall</i> diketahui pengaruh suhu pematatan pada suhu 135°C, 140°C, 145°C memenuhi syarat, sedangkan pematatan pada suhu 125°C, 130°C tidak memenuhi syarat <i>Marshall</i> .

7.	Syarwan	Kajian suhu variasi pemadatan pada beton aspal menggunakan aspal retona blend 55	Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan suhu pemadatan sangat mempengaruhi parameter Marshall dan nilai durabilitas campuran beton aspal AC-BC. Suhu pemadatan yang masih memenuhi persyaratan untuk campuran beton aspal AC-BC menggunakan aspal Retona Blend 55 adalah pada suhu 130°C sampai dengan 150°C, sedangkan untuk suhu di bawah suhu 130°C tidak memenuhi lagi persyaratan. Suhu pemadatan yang terbaik adalah pada suhu 150°C yang menghasilkan kinerja campuran yang lebih baik.
----	---------	----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------