

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Bahan Campuran Beton Aspal**

Campuran aspal adalah kombinasi material bitumen dengan agregat yang merupakan permukaan perkerasan yang biasa dipergunakan akhir-akhir ini. Material aspal dipergunakan untuk semua jenis jalan raya dan merupakan salah satu bagian dari lapisan beton aspal jalan raya kelas satu hingga di bawahnya.

Harold N. Atkins, PE. (1997) : Material bitumen adalah hidrokarbon yang dapat larut dalam karbon disulfat. Material tersebut biasanya dalam keadaan baik pada suhu normal dan apabila kepanasan akan melunak atau berkurang kepadatannya. Ketika terjadi pencampuran antara agregat dengan bitumen yang kemudian dalam keadaan dingin, campuran tersebut akan mengeras dan akan mengikat agregat secara bersamaan dan membentuk suatu lapis permukaan perkerasan.

##### **2.1.1 Agregat**

Silvia Sukirman, (2003) : Agregat merupakan butir – butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen – fragmen.

Seringkali agregat diartikan pula sebagai suatu bahan yang bersifat keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan pengisi campuran. Agregat dapat berupa berbagai jenis butiran atau pecahan batuan, termasuk di dalamnya antara lain : pasir, kerikil, agregat pecah, abu/debu agregat dan lain-lain.

Pembagian Agregat berdasarkan ukuran menurut *The Asphalt Institute* (1993) dalam *Manual Series No. 2 (MS-2)* adalah sebagai berikut :

- 1) Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.8 (=2,36 mm).
- 2) Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.8 (=2,36 mm).
- 3) Bahan pengisi (filler), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No.30 (=0,60 mm)

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalulintas karena dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban di atasnya dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.

## **2.2. Karakteristik Beton Aspal**

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, kedap air dan kemudahan pelaksanaan (*workability*).

Di bawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut.

- 1) Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalulintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalulintas 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) Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi 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 temperatur. Durabilitas aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kadar airnya campuran.
  - 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 ataupun 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, kepekatan aspal terhadap perubahan temperatur dan gradasi serta kondisi agregat.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu campuran. Sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas ringan seperti mobil penumpang sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang mempunyai sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi daripada memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi.

### **2.3. Lapis Aus Permukaan (*Asphalt Concrete – Wearing Course*)**

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika semen aspal, maka pencampuran umumnya antara 145-155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal dengan hotmix. (Silvia Sukirman, 2003).

Material utama penyusun suatu campuran aspal sebenarnya hanya dua macam, yaitu agregat dan aspal. Namun dalam pemakaiannya aspal dan agregat bisa menjadi bermacam-macam, tergantung kepada metode dan kepentingan yang dituju pada penyusunan suatu perkerasan.

Salah satu produk campuran aspal yang kini banyak digunakan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga adalah AC-WC (*Asphalt Concrete - Wearing Course*) / Lapis Aus Aspal Beton. AC-WC adalah salah satu dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-WC, AC-BC dan AC-Base. Ketiga jenis Laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan oleh Bina Marga bersama-sama dengan Pusat Litbang Jalan. Dalam perencanaan spesifikasi baru tersebut menggunakan pendekatan kepadatan mutlak.

Penggunaan AC-WC yaitu untuk lapis permukaan (paling atas) dalam perkerasan dan mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis laston lainnya. Pada campuran laston yang bergradasi menerus tersebut mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya dibandingkan dengan

campuran bergradasi senjang. Hal tersebut menyebabkan campuran AC-WC lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran.

Gradasi agregat gabungan untuk campuran AC-WC yang mempunyai gradasi menerus tersebut ditunjukkan dalam persen berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan harus berada di luar daerah larangan (*restriction zone*) yang diberikan dalam Tabel 2.1. di bawah ini dengan membandingkan dengan AC-BC yang mempunyai ukuran butir agregat maksimum 25 mm atau 1" dan AC-Base 37,5 mm atau 1½". Sedangkan AC-WC mempunyai ukuran butir agregat maksimum 19 mm atau ¾".

Tabel 2.1 Gradasi Agregat Untuk Campuran Lapis Aspal Beton

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1½"	37,5	-	-	100
1"	25	-	100	90 - 100
¾"	19	100	90 - 100	maks. 90
½"	12,5	90 - 100	maks.90	
3/8"	9,5	maks.90		
No. 8	2,36	28 - 58	23 - 49	19 - 45
No. 16	1,18	-	-	-
No. 30	0,6	-	-	-
No. 50	0,3	-	-	-
No. 100	0,15	-	-	-
No. 200	0,075	4-10	4-8	3-7
Daerah Larangan				
No. 4	4,75	-	-	39,5
No. 8	2,36	39,1	34,6	26,8 - 30,8
No. 16	1,18	25,6 - 31,6	22,3 - 28,3	18,1 - 24,1
No. 30	0,6	19,1 - 23,1	16,7 - 20,7	13,6 - 17,6
No. 50	0,3	15,5	13,7	11,4

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2007)

Tabel 2.2 Dibawah ini merupakan ketentuan sifat-sifat campuran beraspal panas di Indonesia yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga. Hal tersebut merupakan acuan penelitian ini.

Tabel 2.2. Ketentuan Sifat-sifat Campuran

Sifat - Sifat Campuran		Laston		
		WC	BS	Base
<b>Penyerapan Aspal %</b>	<b>Max</b>	<b>1,2</b>		
Jumlah Tumbukan Perbidang		75		112
Rongga dalam campuran %	Min		3,5	
	Max		5,5	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1500
Kelelahan (mm)	Min	3		5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min		7,5	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min		2,5	
<p>Catatan :</p> <p>(1). Modifikasi Marshall, diameter cetakan benda uji 152,4mm. Untuk kondisi kepadatan mutlak digunakan alat penumbuk getar agar terhindar dari kemungkinan adanya agregat yang pecah.</p> <p>(2). Untuk Menentukan Kepadatan Membal (refusal), penumbuk bergetar (<i>Vibratory Hamer</i>) disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya butiran agregat dalam campuran. Jika digunakan penumukan manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 inch dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inch.</p> <p>(3). Berat jenis efektif agregat dihitung berdasarkan pengujian bj. Maksimum agregat (Gmmtest, AASHTO T-209).</p> <p>(4). Direksi pekerjaan dapat menyetujui prosedur pengujian AASHTO T-283 sebagai alternatif pengujian kepekaan kadar air. Pengondisian beku cair (<i>freeze thaw coditioning</i>) tidak diperlukan Standar minimum untuk diterimanya prosedur T-283 harus 80% kuat tarik sisa.</p>				

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (2007)

#### 2.4. Perencanaan Gradasi Campuran

Selanjutnya dapat dilakukan pemilihan gradasi agregat campuran. Jenis campuran yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji adalah campuran aspal panas AC untuk lapisan *wearing course* dengan spesifikasi gradasi menurut Direktorat Jenderal Bina Marga 2007, seperti terlihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal AC - WC

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos			% Contoh Target Gradasi	
ASTM	(mm)	Batasan	Daerah	Fuler	Lolos	Tertahan
1½"	37,5	-	-	-	-	-
1"	25	-	-	-	-	-
¾"	19	100	-	100	100	-
½"	12,5	90 - 100	-	82,8	93,0	7,0
3/8"	9,5	maks. 90	-	73,2	80,0	13,0
No.4	4,75	-	-	53,6	55,0	25,0
No.8	2,36	28 - 58	39,1	39,1	36,0	19,0
No.16	1,18	-	25,6 - 31,6	28,6	24,0	12,0
No.30	0,6	-	19,1 - 23,1	21,1	17,0	7,0
No.50	0,3	-	15,5	15,5	12,0	5,0
No.100	0,15	-	-	11,3	8,0	4,0
No.200	0,075	4-10	-	8,3	6,0	2,0
						6,0

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga 2007

Untuk campuran AC – WC, Kombinasi gradasi agregat dianjurkan tidak berhimpit dengan kurva *Fuller*. Kurva *Fuller* disajikan dalam Tabel 2.6. untuk campuran AC – WC digunakan dalam spesifikasi ini diperoleh dari rumus berikut :



$$P = 100 \left[ \frac{d}{D} \right]^{0,45} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

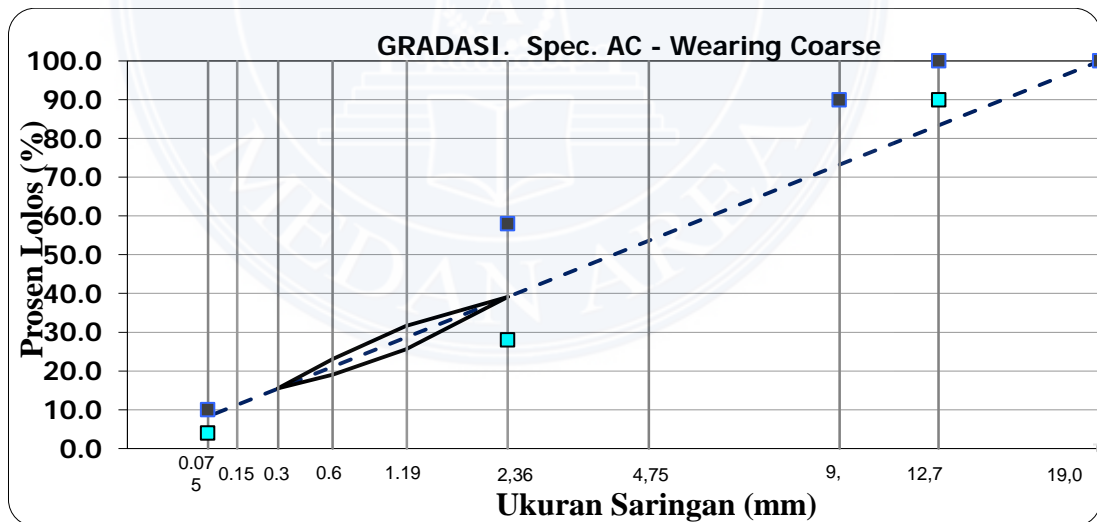
$p$  : persentase bahan yang lolos saringan  $d$  (%)

$D$  : ukuran butir terbesar (mm)

$d$  : ukuran saringan yang ditinjau (mm)

Gradasi kombinasi agregat untuk campuran aspal diharuskan menghindari daerah larangan (*restriction zone*).

Kurva gradasi AC-WC ditunjukkan dalam Gambar 2.1 di mana terlihat bagaimana gradasi ini menghindari daerah larangan melalui bagian bawah daerah tersebut. Namun dapat juga daerah larangan tersebut dihindari melewati bagian atas.



Gambar 2.1 Kurva Gradasi Spesifikasi AC-WC

Untuk memperoleh gradasi gabungan cara yang digunakan oleh penulis dengan cara analitis. Kombinasi agregat dari tiga fraksi yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler* dapat digabungkan dengan persamaan dasar di

bawah ini .

$$P = A.a + B.b + C.c \dots\dots\dots (2.2)$$

$$1 = a + b + c \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

P : Persen lolos agregat campuran dengan ukuran tertentu (%)

A,B,C: Persen bahan yang lolos saringan masing-masing ukuran ( %)

A,b,c : Proporsi masing-masing agregat yang digunakan, jumlah total 100%  
(%)

$$a = \frac{P-B}{A-B} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$c = \frac{B.a - P}{B-C} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$b = 1 - a - c \dots\dots\dots (2.6)$$

Setelah didapatkan nilai a, b, c maka proporsi masing-masing fraksi agregat dalam campuran dapat dievaluasi.

## 2.5. Kadar Aspal Rencana

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

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

P<sub>b</sub> : Perkiraan kadar aspal optimum

CA : Nilai prosentase agregat kasar

FA : Nilai prosentase agregat halus

FF : Nilai prosentase *Filler*

K : Konstanta (kira-kira 0,5 - 1,0)

Hasil perhitungan Pb dibulatkan ke 0,5% ke atas terdekat.

## 2.6. Parameter Dan Formula Perhitungan

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas adalah sebagai berikut :

### 2.6.1. Berat Jenis *Bulk* dan *Apparent Total Agregat*

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/*filler* yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent gravity*). Setelah didapatkan Kedua macam berat jenis pada masing-masing agregat pada pengujian material agregat maka berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut :

1. Berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dari total agregat

$$G_{sbtot} \text{ agregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan:

$G_{sbtot}$  agregat : Berat jenis kering agregat gabungan, (gr/cc)

$G_{sb1}, G_{sb2}..G_{sbn}$  : Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1,2,3..n,  
(gr/cc)

$P_1, P_2, P_3, \dots$  : Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

2. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dari total agregat

$$G_{satot} \text{ agregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

Gsb<sub>tot</sub> agregat :Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

Gsa<sub>1</sub>, Gsa<sub>2</sub>..Gsa<sub>n</sub> :Berat jenis semu dari masing-masing agregat 1,2,3..n, (gr/cc)

P1, P2, P3, ... :Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

### 2.6.2. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis maksimum campuran (G<sub>mm</sub>) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran (G<sub>se</sub>), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

$$G_{se} = \frac{\frac{P_{mm} - P_b}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

G<sub>se</sub> : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

G<sub>mm</sub> : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

P<sub>mm</sub> : Persen berat total campuran (=100)

P<sub>b</sub> : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

P<sub>s</sub> : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

G<sub>b</sub> : Berat jenis aspal

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan juga dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

Gsb : Berat jenis kering agregat / *bulk spesific gravity*, (gr/cc)

Gsa : Berat jenis semu agregat / *apparent spesific gravity*, (gr/cc)

### 2.6.3. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, Gmm pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T.209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat). Selanjutnya Berat Jenis Maksimum (Gmm) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (Gse) rata-rata sebagai berikut :

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

Gmm : Berat jenis maksimum campuran,(gr/cc)

Pmm : Persen berat total campuran (=100)

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

Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal,(gr/cc)

#### 2.6.4. Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Perhitungan berat jenis bulk campuran setelah pemadatan ( $G_{mb}$ ) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut :

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

$G_{mb}$  : Berat jenis campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

$V_{bulk}$  : Volume campuran setelah pemadatan, (cc)

$W_a$  : Berat di udara, (gr)

#### 2.6.5. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal ( $P_{ba}$ ) adalah sebagai berikut :

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} G_b \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

$P_{ba}$  : Penyerapan aspal, persen total agregat (%)

$G_{sb}$  : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

$G_{se}$  : Berat jenis efektif agregat, (gr/cc)

$G_b$  : Berat jenis aspal, (gr/cc)

### 2.6.6. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif ( $P_{be}$ ) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus Kadar aspal efektif adalah :

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

$P_{be}$  : Kadar aspal efektif, persen total campuran, (%)

$P_b$  : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

$P_{ba}$  : Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)

$P_s$  : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

### 2.6.7. Rongga Diantara Mineral Agregat ( *Void in The Mineral Agregat/VMA* )

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* ( $G_{sb}$ ) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran adalah dengan rumus berikut :

1) Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

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

2) Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+Pb)} \times 100 \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

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

**2.6.8. Rongga di dalam campuran (*Void In The Compacted Mixture/ VIM*)**

Rongga udara dalam campuran ( $V_a$ ) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:



$$VIM = 100 - \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

**2.6.9. Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Bitumen/ VFA*)**

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus adalah sebagai berikut:

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

VFA : Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA, (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)

**2.6.10. Stabilitas**

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-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 (*pound force*), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

#### **2.6.11. Flow**

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

#### **2.6.12. Hasil Bagi Marshall**

Hasil Bagi Marshall / *Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelahan. Sifat Marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan:

MQ : *Marshall Quotient, (kg/mm)*

MS : *Marshall Stabilit,y (kg)*

MF : *Flow Marshall, (mm)*

### **2.7. Durabilitas Standar**

Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-1990. Uji perendaman dilakukan pada temperatur  $60\pm 1^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam. Masing-masing

golongan terdiri dari 2 sampel yang direndam pada bak perendaman untuk semua variasi kadar aspal. Spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian Marshall perendaman di dalam air pada suhu 60°C selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (IRS), dan dihitung sebagai berikut :

$$IRS = \frac{MSi}{MSs} \times 100\% \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan:

IRS : Indeks Kekuatan Sisa (*Index Retained Strength*) (%)

MSi : Stabilitas *Marshall* setelah perendaman 24 jam suhu ruang 60±1°C, (kg)

MSs : Stabilitas *Marshall* standar pada perendaman selama 30±1 menit suhu 60°C,(kg)