

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **A. Parameter *Marshall***

##### **1. Stabilitas**

Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk permanen seperti gelombang, alur ataupun *bleeding* (Sukirman, 1999). Stabilitas tergantung dari gesekan *internal friction* (gesekan antar agregat) dan kohesi. Gesekan agregat tergantung dari tekstur permukaan gradasi agregat, bentuk partikel, kepadatan campuran dan tebal film aspal. Pengukuran stabilitas dengan uji Marshall diperlukan untuk mengetahui kekuatan tekan geser dari sampel yang ditahan dua sisi kepala penekan (porsi tahanan kohesi lebih dominan dari porsi tahanan penguncian butir) dengan nilai stabilitas yang cukup tinggi diharapkan perkerasan dapat menahan beban lalu lintas tanpa terjadi kehancuran geser.

##### **2. Kelelehan / *flow***

Kelelehan adalah bentuk keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm. Parameter kelelehan diperlukan untuk mengetahui deformasi (perubahan bentuk) vertikal campuran pada saat dibebani hingga hancur (pada saat stabilitas maksimum). Kelelehan akan meningkat seiring meningkatnya kadar aspal (Lavin,2003).

##### **3. *Void in Mix (VIM)* / Rongga Udara dalam Campuran**

VIM adalah presentase volume rongga terhadap volume total campuran setelah dipadatkan, dinyatakan dalam %. VIM digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran, sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil (menimbulkan *bleeding*) atau terlalu besar (menimbulkan oksidasi/ penuaan aspal dengan masuknya udara). Nilai VIM mengalami penurunan dengan penambahan kadar aspal hingga

dan dalam campuran minimum (Lavin 2003)

#### 4. *Void in the Mineral Agregat (VMA) / Rongga di antara Mineral Agregat*

VMA adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persentase terhadap volume total benda uji. Peran VMA penting di dalamnya untuk membuat ruang yang cukup bagi aspal untuk membuat campuran mempunyai durabilitas yang baik. Jika nilai VMA terlalu besar, akan dibutuhkan aspal dalam jumlah yang berlebihan untuk mengurangi rongga udara sehingga sesuai standar yang disyaratkan. Jumlah aspal yang berlebihan di dalam campuran juga dapat membuat stabilitas campuran terganggu (Lavin, 2003).

#### 5. *Voids Filled with Asphalt (VFA) / Rongga Terisi Aspal*

VFA ditentukan dari jumlah VMA dan rongga udara di dalam campuran. VFA adalah persentase dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Nilai VFA meningkat dengan penambahan kadar aspal (Sukirman, 1999).

#### 6. *Marshall Quotient (MQ)*

MQ adalah hasil bagi dari stabilitas dengan kelelahan yang dipergunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau kelenturan campuran, dinyatakan dalam kg/mm (Sukirman, 1999). Nilai MQ yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapis keras tinggi. Lapis keras yang mempunyai nilai MQ yang terlalu tinggi akan mudah terjadi retak-retak akibat repetisi beban lalu lintas. Sebaliknya nilai MQ yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk bila menahan beban

lalu lintas. Rekomendasi untuk nilai karakteristik Marshall dapat dilihat

Tabel 3.1 Persyaratan sifat campuran untuk Laston-WC

No.	Sifat-Sifat Campuran	Min	Maks	Satuan
1.	Stabilitas	800	-	kg
2.	Kelelehan	3	-	mm
3.	<i>Quotient Marshall</i>	250	-	kg/mm
4.	Rongga dalam campuran (VIM)	3	5	%
5.	Rongga di antara mineral agregat (VMA)	15	-	%
6.	Rongga terisi aspal (VFA)	65	-	%

Sumber : Spesifikasi umum 2010 (Revisi 2) Divisi 6, halaman 42

### B. Perhitungan dalam Campuran

Adapun dasar perhitungan yang menjadi acuan dalam penganalisisan data yaitu mengacu pada Bina Marga (1999) sebagai berikut :

#### 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*). Kedua macam berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut :

Berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dari total agregat ditentukan dari:

$$G_{sb_{total\ agregat}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb_1}} + \frac{P_2}{G_{sb_2}} + \frac{P_3}{G_{sb_3}} \dots + \frac{P_n}{G_{sb_n}}} \dots \dots \dots (3.1)$$

Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dari total agregat dapat dihitung

dari:

$$G_{sa_{total\ agregat}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n}{\dots \dots \dots} (3.2)$$

dengan,

$G_{sb}$ total agregat	= Berat jenis kering agregat gabungan (gr/cc)
$G_{sa}$ total agregat	= Berat jenis semu agregat gabungan (gr/cc)
$G_{sb_1}, G_{sb_2}, G_{sb_n}$	= Berat jenis kering masing-masing agregat 1, 2, 3... n (gr/cc)
$G_{sa_1}, G_{sa_2}, G_{sa_n}$	= Berat jenis semu masing-masing agregat 1, 2, 3... n (gr/cc)
$P_1, P_2, P_n$	= Persentase berat dari masing-masing agregat (%)

## 2. Berat Jenis Efektif Total Agregat

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini yang digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

Berat jenis efektif dari total agregat dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$G_{se\text{total agregat}} = \frac{G_{sb} - G_{sa}}{2} \dots \dots \dots (3.3)$$

$$G_{se\text{total agregat}} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{nn}}{G_{mm}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (3.4)$$

dengan,

$G_{sb}$ (gr/cc)	= Berat jenis kering/ <i>bulk specific gravity</i>
$G_{sa}$ (gr/cc)	= Berat jenis semu/ <i>apparent specific gravity</i>
$G_b$	= Berat jenis aspal (gr/cc)
$G_{se}$ total agregat	= Berat jenis efektif agregat gabungan (gr/cc)

$G_{se_1}, G_{se_2}, G_{se_n}$  = Berat jenis efektif dari masing-masing

$G_{mm}$	= Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)
$P_{mm}$	= Persen berat total campuran (=100)
$P_b$	= Persentase kadar aspal terhadap total campuran (%)

### 3. Volume Campuran dan Berat Jenis Campuran Setelah Pemadatan

Volume campuran setelah pemadatan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{bulk} = V_{SSD} - W_w \dots\dots\dots (3.5)$$

Berat jenis campuran setelah pemadatan dapat ditentukan dengan perhitungan berikut:

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \dots\dots\dots (3.6)$$

Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan ( $G_{mm}$ )

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se_{total\ agregat}}} + \frac{P_b}{G_{sb_{total\ agregat}}}} \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan,

$V_{bulk}$	= Volume campuran setelah pemadatan (cc)
$P_{mm}$	= Persen berat total campuran (=100)
$P_s$	= Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran
$P_b$	= Kadar aspal, persen terhadap berat total campuran
$W_a$	= Berat dalam air (gr)
$G_{mb}$	= Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
$G_{mm}$	= Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

### 4. Stabilitas dan Kelelahan

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai yang ditunjukkan oleh

jarum dial harus dikonversikan terhadap alat *Marshall*. Pada umumnya alat *Marshall* yang digunakan satuannya adalah Lbf (*pound force*), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut harus disesuaikan terhadap angka koreksi akibat ketebalan benda uji. Untuk alat uji jarum dial kelelahan biasanya sudah dalam satuan milimeter (mm), sehingga tidak perlu dikonversi lebih lanjut.

### 5. Rongga Udara (*Air Voids*)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang/volume pori di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, 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. Perhitungan VMA terhadap campuran dinyatakan sebagai berikut :

Rongga udara dalam mineral agregat (*Void in the Mineral Aggregate/VMA*) dihitung dengan persamaan berikut:

$$VMA = 100 - \left[ (100 - P_b) \times \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \right] \dots\dots\dots (3.8)$$

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

Rongga dalam campuran (*Void in the Mix/VIM*) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$VIM = 100x - \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots (3.9)$$

Rongga terisi aspal atau *Volume of voids Filled with Asphalt* (VFA) adalah persen rongga yang terdapat di antara butir agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang terasorpsi oleh agregat.

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (3.10)$$

dengan,

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

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

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

$G_{mm}$  = Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

$P_b$  = Prosentase kadar aspal terhadap total campuran (%)

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

### 6. Marshall Quotient

Marshall Quotient dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

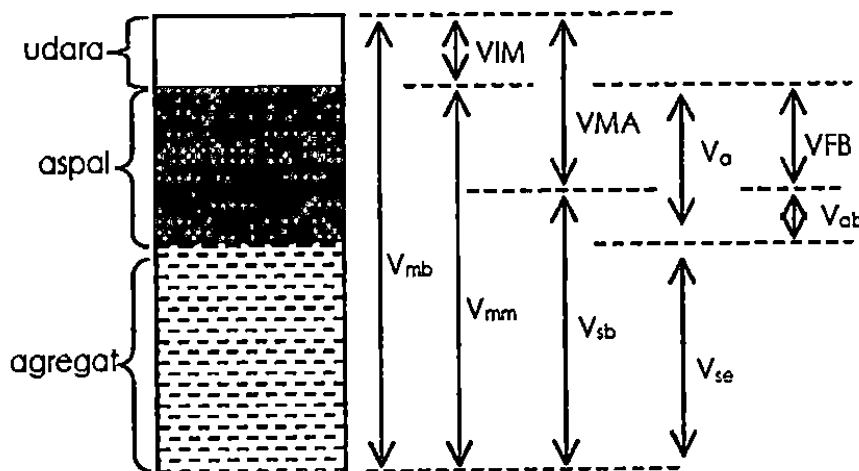
$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (3.11)$$

dengan,

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

MS = Marshall Stability (kg)

MF = Flow Marshall (mm)



Gambar 2.1. Komponen campuran beraspal secara volumetrik

Dengan :

**Vma** = Volume rongga di antara mineral agregat (VMA)

**Vb** = Volume aspal

**Vmb** = Volume bulk campuran Padat

**Vba** = Volume aspal yang diserap agregat

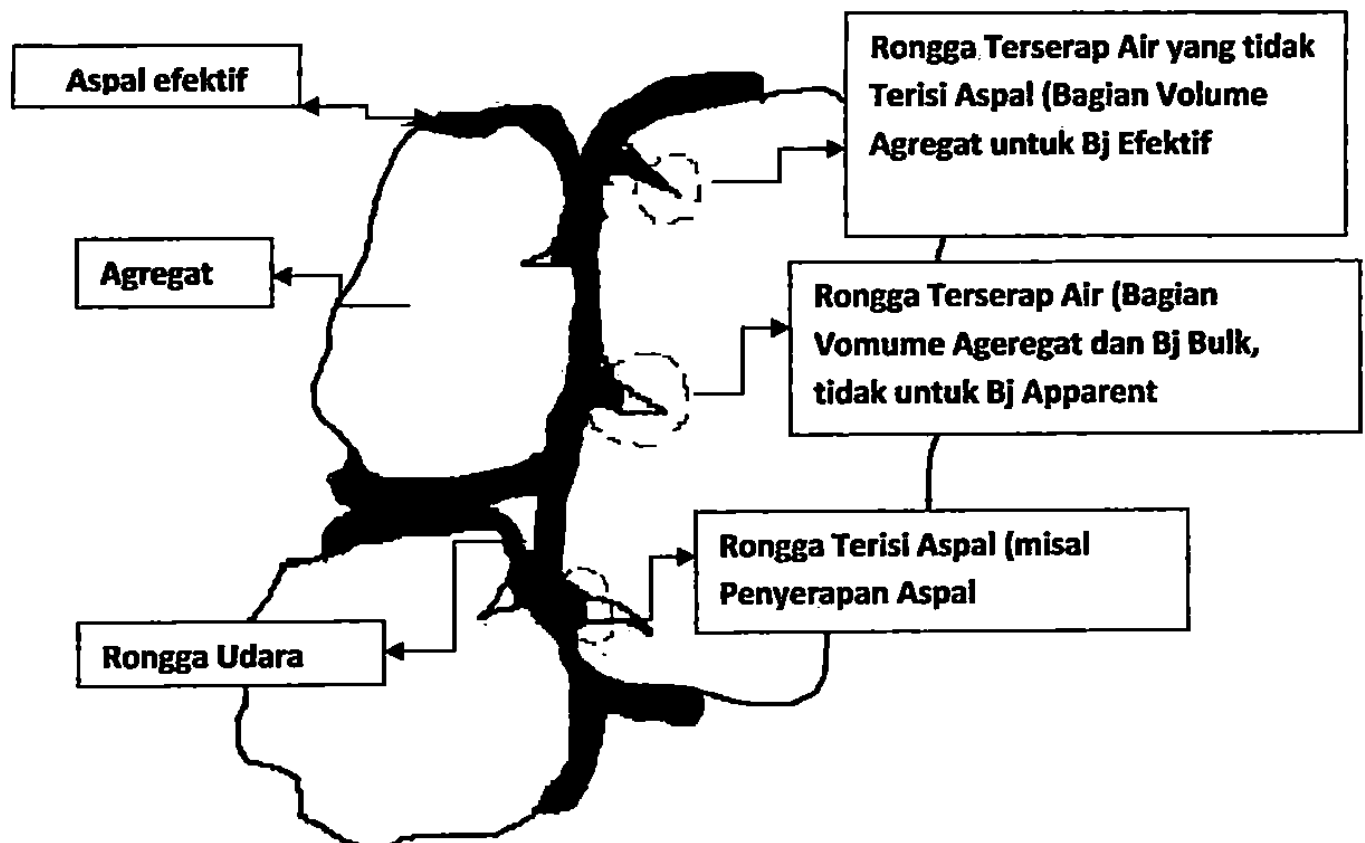
**Vmm** = Volume campuran padat tanpa rongga

**Vsb** = Volume agregat (berdasarkan berat jenis bulk)

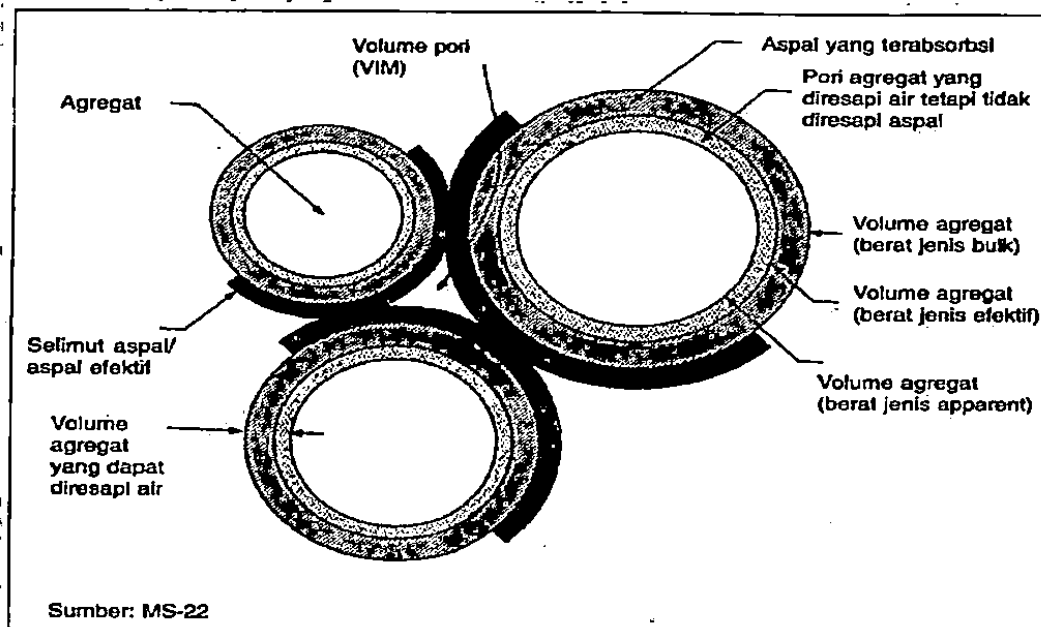
**Vfa** = Volume rongga terisi aspal (VFA)

**Vse** = Volume agregat (berdasarkan berat jenis efektif)

**Va** = Volume rongga dalam campuran (VIM)



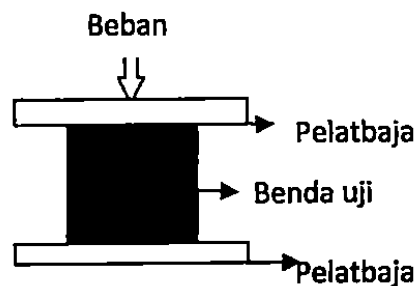




Gambar 3.3. Ilustrasi tentang VIM (asphalt institute 1984)

### C. Kuat Tekan Normal

Kekuatan tekan pada beton diartikan sebagai perbandingan beban terhadap luas penampang. Kuat tekan silinder dapat dihitung dengan persamaan 3.12 (Tjokrodimuljo dalam Pratiwi, 2013). Pada aspal pengujian yang dilakukan menggunakan pengujian *Marshall*, namun pada penelitian ini digunakan pengujian kuat tekan normal untuk mengetahui beban maksimum secara vertikal yang dapat ditahan oleh lapisan perkerasan. Dari pengujian kuat tekan normal ini akan didapatkan data tegangan dan regangan yang akan digunakan untuk menghitung modulus elastisitas. Untuk contoh pengujian kuat tekan normal akan ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut.



$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.12)$$

dengan,

$f_c'$  = Kuat tekan (MPa)

P = Beban tekan maksimum (N)

A = Luas bidang tekan ( $\text{mm}^2$ )

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \dots\dots\dots(3.13)$$

dengan,

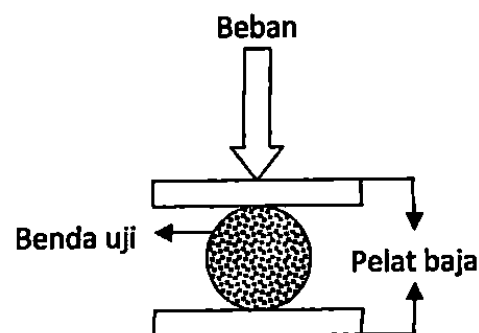
E = Modulus elastisitas (KPa)

$\tau$  = Tegangan ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

$\varepsilon$  = Regangan (%)

#### D. Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah biasanya digunakan dalam pengujian beton. Pada pengujian beton, nilai dari kuat tarik sangat kecil dan kuat tarik belah beton berpengaruh terhadap kemampuan beton dalam mengatasi retak awal sebelum dibebani. Pada penelitian ini selain dilakukan pengujian Marshall, juga dilakukan pengujian kuat tarik belah. Berdasarkan SNI 03-2491-2002 kuat tarik belah digunakan untuk mengetahui tahanan geser dari benda uji. Tahapan dari pengujian beton dengan penelitian ini disamakan. Pengujian terhadap kekuatan tarik dilakukan dengan cara pengujian tarik belah dengan menggunakan *split cylinder test*, dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut :



Berdasarkan SNI 03-2491-2002, kuat tarik belah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(3.11)$$

dengan,

$f_{ct}$  = Kuat tarik belah (MPa)

$P$  = Beban uji maksimum (benda belah/hancur) (N)

$L$  = Panjang benda uji (mm)

$D$  = Diameter benda uji (mm)

### **E. Hasil Penelitian Terdahulu**

Penelitian tentang penambahan polipropilena dalam campuran Laston pernah diteliti Rama Rizana (2012) melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah plastik Polipropilena sebagai pengganti agregat. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa plastik Polipropilena pada jenis yang digunakan meningkatkan nilai stabilitas dan nilai VIM, namun plastik PP jenis tersebut tidak dapat digunakan sebagai pengganti agregat dikarenakan