

## BAB V

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahap, mulai dari persiapan, pemeriksaan mutu bahan yang berupa agregat dan aspal, perencanaan campuran sampai tahap pelaksanaan pengujian dengan Marshall Test.

#### 4 5.1 Bahan

##### 4 5.1.1 Asal Bahan

Bahan agregat dan aspal yang dipakai untuk penelitian ini diperoleh dari PT. Perwita Karya Yogyakarta. Aspal yang digunakan adalah jenis AC 60-70 produksi Pertamina Cilacap diperoleh dari PT. Perwita Karya Yogyakarta, sedangkan agregat pengisi (filler) yang berupa batu cadas berasal dari daerah Kudus (lintas Pantura), Jawa Tengah dan batu kapur diperoleh dari daerah Gunung Kidul.

##### 4 5.1.2 Persyaratan dan Pemeriksaan Bahan

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian sebelumnya diuji di Laboratorium untuk mendapatkan bahan penelitian yang memenuhi spesifikasi. Pengujian yang dilakukan sebelumnya meliputi :

## 1. Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat atau batuan merupakan komponen utama dari perkerasan jalan yang mengandung 90-95% agregat berdasarkan prosentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan prosentase volume. Adapun untuk mengetahui kualitas agregat dilakukan pemeriksaan sebagai berikut :

- a. Tingkat keausan, ketahanan agregat terhadap penghancuran diperiksa dengan percobaan Abrasi yang menggunakan mesin Los Angeles berdasarkan PB.0206-76. Nilai Abrasi menunjukkan banyaknya benda uji yang hancur akibat tumbukan dan gesekan antar partikel dengan bola-bola baja pada saat terjadinya putaran. Nilai Abrasi  $> 40$  % menunjukkan agregat tidak mempunyai kekerasan cukup untuk digunakan sebagai bahan lapis perkerasan.
- b. Daya lekat terhadap aspal, diperiksa sesuai prosedur PB.0205-76. Kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam prosentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap keseluruhan luas permukaan dan besarnya minimal 95 %.
- c. Gradasi, untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan peraturan dan persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, gradasi agregat ini diperiksa dengan saringan. Didalam penelitian ini saringan yang dipakai adalah 3/4", 1/2", 3/8", no.4, no.8, no.30, no.50, no.100, no.200, pan.

- d. Peresapan agregat terhadap air, dilakukan untuk mengetahui besarnya air yang terserap oleh agregat. Besarnya peresapan agregat yang diijinkan mempunyai nilai maksimum 3 %. Air yang telah diserap oleh agregat sukar dihilangkan seluruhnya walaupun melalui proses pengeringan, sehingga mempengaruhi daya lekat aspal terhadap agregat.
- e. Berat jenis (specific gravity), adalah perbandingan berat volume agregat dan berat volume air. Pemeriksaan berat jenis mengikuti prosedur PB.0202-76 dengan persyaratan minimum 2,5 gr/cc. Besarnya berat jenis agregat penting untuk diketahui karena perencanaan campuran agregat dengan aspal direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori.
- f. Sand equivalent test, dilakukan untuk mengetahui kadar debu/bahan yang menyerupai lempung pada agregat halus. Sand equivalent test dilakukan untuk agregat yang lolos saringan no. 4 sesuai prosedur AASTHO T-176-73. Nilai yang disyaratkan minimum 50 % adanya lempung dapat mempengaruhi mutu campuran agregat dengan aspal, karena lempung membungkus partikel-partikel agregat sehingga ikatan antara agregat dengan aspal berkurang, juga dengan adanya lempung mengakibatkan luas daerah yang harus diselimuti aspal bertambah.

## 2. Pemeriksaan Filler berdasarkan Bina Marga

Filler merupakan bagian dari agregat yang mempunyai fraksi sangat halus. Filler dapat berupa abu batu, abu kapur, semen dan sebagainya.

Khusus dalam penelitian ini filler yang digunakan adalah batu kapur dan batu cadas yang lolos saringan no. 200. Sedangkan Petunjuk Pelaksanaan Laston No. 13/PT/B1983, Depaartemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jen-dral Bina Marga, gradasi dari mineral filler berada dalam batas-batas seperti terlihat dalam tabel 5.1 berikut ini :

Tabel 5.1 Gradasi Mineral Filler

UKURAN SARINGAN No. (mm)	FILLER % LOLOS	HASIL (%)
No. 30 (0,59 mm)	100	100
No. 50 (0,279 mm)	95 - 100	100
No. 100 (0,149 mm)	90 - 100	100
No. 200 (0,074 mm)	70 - 100	100

Sumber : Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON )  
No. 13/PT/B/1983.

## 3. Pemeriksaan Bahan ikat Aspal

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa di laboratorium. Aspal yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan dapat digunakan sebagai bahan pengikat perke-rasan. Pemeriksaan yang dilakukan untuk aspal keras adalah sebagai berikut :

- a. Penetrasi, pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0301-76 atau AASHTO T-49-68. Biasanya angka penetrasi untuk aspal AC 60-70 adalah antara 60 sampai dengan 79.
- b. Titik lembek, pemeriksaan ini dilakukan untuk mencari temperatur pada saat dimana aspal mulai menjadi lunak. Pemeriksaan ini menggunakan cincin yang terbuat dari kuningan dan bola baja dengan diameter 9,53 mm seberat 3,5 gram. Titik lembek adalah suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin yang diletakkan horisontal didalam larutan air atau gliserin yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek dan jatuh pada ketinggian 1 inci (25,4 mm) dari plat dasar. Pemeriksaan mengikuti PA-0302-76 atau AASHTO T-53-74 dengan nilai yang disyaratkan 48°C sampai dengan 58°C.
- c. Titik nyala dan titik bakar, pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan suhu pada saat terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal (titik nyala) dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada suatu titik di atas permukaan aspal (titik bakar). Pemeriksaan ini mengikuti prosedur PA-0303-76 atau AASHTO T-48-74, dengan besar nilai yang disyaratkan minimum 200°C.
- d. Kelarutan dalam CCL<sub>4</sub>, pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar bitumen yang larut dalam

karbon tetraklorida/karbon bisulfida. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0305-76 atau AASHTO T-44-70, dengan persyaratan minimum 99%.

- e. Daktilitas aspal, tujuan pemeriksaan ini untuk mengetahui, sifat kohesi dalam aspal itu sendiri dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras belum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pemeriksaan ini mengikuti prosedur PA-0306-76 atau AASHTO T-51-74. Besar nilai daktilitas aspal yang disyaratkan minimal 100 cm.
- f. Berat jenis, adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Prosedur pelaksanaan mengikuti PA-0306-76 atau AASHTO T-228-68, dengan nilai yang disyaratkan sebesar 1 gr/cc. Berat jenis aspal diperlukan untuk perhitungan dalam analisis campuran.

### 5.1.3 Hasil Pemeriksaan

Hasil dari pemeriksaan agregat dan aspal yang dilakukan di laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia diatas dibandingkan dengan persyaratan yang harus dipenuhi untuk masing-masing nilai menurut spesifikasi dari Laston No. 13/PT/B/1983, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, seperti terlihat pada tabel 5.2, 5.3, dan 5.4 berikut ini :

Tabel 5.2 Persyaratan agregat kasar dan hasil pemeriksaan Laboratorium

JENIS PEMERIKSAAN	SYARAT	HASIL
1. Keausan dengan mesin Los Angeles	Max 40%	37,56 %
2. Kelekatan terhadap aspal	> 95%	> 95 %
3. Peresapan terhadap air	Max 3%	2,0002 %
4. Berat jenis	Min 2,5 gr/cc	2,5037 gr/cc

Sumber : Laston No. 13/PT/B/1983 dan hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya JTS-FTSP UII.

Tabel 5.3 Persyaratan agregat halus dan hasil pemeriksaan laboratorium

JENIS PEMERIKSAAN	SYARAT	HASIL
1. Nilai Sand Equivalent	Min 50%	73,6842 %
2. Peresapan terhadap air	Max 3%	0,4016 %
3. Berat jenis	Min 2,5 gr/cc	2,8766 gr/cc

Sumber : Laston No. 13/PT/B/1983 dan hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya JTS-FTSP UII.

Tabel 5.4 Persyaratan Aspal AC 60-70 dan hasil pemeriksaan laboratorium.

JENIS PEMERIKSAAN	SYARAT		HASIL	SATUAN
	Min	Max		
1. Penetrasi	60	79	62,0	0,1 mm
2. Titik Lembek	48	58	51,5	°C
3. Titik Nyala dan Titik Bakar	200	-	336 & 360	°C
4. Kehilangan Berat	-	0,4	0,037	% berat
5. Kelarutan dalam CCL4	99	-	99,0	% berat
6. Daktilitas	100	-	115,5	cm
7. Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	75,60	% semula
8. Berat Jenis	1	-	1,042	gr/cc

Sumber : Laston No. 13/PT/B/1983 dan hasil penelitian di laboratorium Jalan Raya JTS-FTSP UII.

Dari hasil pemeriksaan bahan seperti tersebut diatas, bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan sebagai bahan penelitian. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Sedangkan untuk masing-masing agregat filler yang digunakan, diperiksa berat jenisnya. Dari hasil pemeriksaan di laboratorium didapat :

- Berat jenis abu batu kapur = 2,470 gr/cc
- Berat jenis abu batu cadas = 2,000 gr/cc

## 5.2 Perencanaan Campuran Ideal

### 5.2.1 Gradasi Agregat Ideal

Mengacu pada peraturan dan persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, maka gradasi agregat ideal untuk beton aspal adalah seperti pada tabel 5.5 dibawah ini :

Tabel 5.5 Gradasi agregat ideal dari beton aspal

UKURAN	SARINGAN	LOLOS SARINGAN	IDEAL
19,10	mm	100	100
12,70	mm	80 - 100	90
9,52	mm	70 - 90	80
4,76	mm	50 - 70	60
2,38	mm	35 - 50	42,5
0,59	mm	18 - 29	23,5
0,279	mm	13 - 23	18
0,149	mm	8 - 16	12
0,074	mm	4 - 10	7

Sumber : Laston no. 13/PT/B/1983.

### 5.2.2 Penggunaan Kadar Aspal

Berdasarkan Peraturan dan Persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, untuk klasifikasi volume lalu lintas berat maka aspal yang di-



gunakan sebagai perencanaan adalah aspal keras (asphalt cement) Pen 60-70 yang memenuhi SKBI-2.4.26-1987, kadar aspal menurut peraturan tersebut untuk campuran beton aspal berkisar antara 4 % sampai 7 % terhadap berat campuran. Dalam penelitian ini digunakan kadar aspal 5,5 %.

### 5.3 Pemeriksaan Benda uji Campuran Beton Aspal

#### 5.3.1 Alat yang Digunakan

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Jalan Raya, JTS - FTSP, Universitas Islam Indonesia, dengan menggunakan alat-alat sebagai berikut :

1. Alat tekan Marshall yang terdiri dari :
  - a. Kepala penekan yang berbentuk lengkung.
  - b. Cincin penguji berkapasitas 2500 kg (5000 lbs) dengan ketelitian 12,5 kg (25 lbs), dilengkapi dengan arloji tekan dengan ketelitian 0.0025 cm (0,0001").
  - c. Arloji penunjuk kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01").
2. Cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, tinggi 7,5 cm (3") lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
3. Ejector untuk melepas benda uji setelah dipadatkan.
4. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai  $(200 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ .

5. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg (10 lbs) dan tinggi jatuh beban 45,7 cm (18").
6. Landasan pematik terdiri dari balok kayu (jati atau yang sejenis), berukuran kira-kira 20x20x45 cm (8"x8"x18") yang dilapisi dengan pelat baja berukuran 30x30x2,5 cm (12"x12"x1") dan diikatkan pada lantai beton dengan empat bagian siku.
7. Bak perendam (water bath) dilengkapi dengan suhu minimum 20°C.
8. Perlengkapan :
  - a. Panci-panci untuk memanasi agregat, aspal dan campuran aspal.
  - b. Pengukur suhu berkapasitas 250°C dan 100°C dengan ketelitian 0,5 atau 1 % dari kapasitas.
  - c. Timbangan yang harus dilengkapi penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gr dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr.
  - d. Kompor.
  - e. Sarung tangan.
  - f. Spatula.
  - g. Sendok pengaduk dan perlengkapan lain.

### 5.3.2 Prosedur Penelitian

#### 1. Persiapan Benda uji

Pada penelitian ini kadar filler yang dipakai berjumlah masing-masing 2 %, 4 %, 6 % dan 8 % dari berat agregat. Sedangkan jenis filler yang digunakan ada dua macam yaitu debu batu kapur dan debu batu cadas.

Untuk memperoleh hasil gradasi yang diinginkan (sesuai dengan spesifikasi yang akan digunakan), maka saringan yang digunakan adalah 3/4", 1/2", 3/8", no.4, no.8, no.30, no.50, no.100, no.200, pan. Hasil penyaringan tersebut dipisah-pisahkan sesuai dengan nomor saringan dan dihitung kebutuhannya sesuai persen berat tertahan. Berat total campuran agregat dan aspal untuk satu benda uji sebesar 1200 gram, yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler serta aspal.

Adapun spesifikasi gradasi agregat yang digunakan pada penelitian ini, seperti pada tabel 5.6 dibawah ini :

Tabel 5.6 Gradasi campuran agregat ideal berdasarkan spesifikasi Bina Marga Laston

UKURAN SARINGAN	SPESIFIKASI % LOLOS	GRADASI IDEAL	
		% lolos	% tertahan
3/4 (19,1 mm)	100	100	0
1/2 (12,7 mm)	80 - 100	90	10
3/8 ( 9,52 mm)	70 - 90	80	20
no. 4 ( 4,76 mm)	50 - 70	60	40
no. 8 ( 2,36 mm)	35 - 50	42,5	57,5
no. 30 ( 0,59 mm)	18 - 29	23,5	76,5
no. 50 (0,279 mm)	13 - 23	18	82

Lanjutan tabel 5.6

UKURAN SARINGAN	SPESIFIKASI % LOLOS	GRADASI IDEAL	
		% lolos	% tertahan
no.100 (0,149 mm)	13 - 23	18	82
no.200 (0,007 mm)	4 - 10	7	93
Pan	0	0	100

Benda uji dibuat berdasarkan variasi formulasi kadar filler dengan jumlah filler tertentu dari dua jenis filler yang direncanakan. Benda uji dibuat masing-masing 3 (tiga) buah (triplo). Jadi untuk 4 (empat) macam komposisi filler dan 2 (dua) jenis formulasi kadar filler, akan dibuat benda uji sebanyak :  $3 \times (4 \times 2) = 24$  benda uji.

Mula-mula dibuat 12 buah campuran dengan kadar filler yang bervariasi (2 %, 4 %, 6 %, 8 %) dengan masing-masing campuran memakai kadar aspal 5,5 %, kemudian campuran tersebut dicetak dan ditumbuk sebanyak  $2 \times 75$  kali, diukur tinggi benda ujinya. Benda uji direndam selama 24 jam pada suhu dan dilakukan penimbangan dalam air serta kering permukaan (SSD), kemudian benda uji dimasukkan kedalam Water Bath selanjutnya diperiksa dengan tes Marshall. Hasil pengujian ini dibandingkan dengan persyaratan untuk lapis beton aspal (Laston). Adapun persyaratannya adalah sebagai berikut :

1. Stabilitas (Kg) : 750 minimum
2. Kelelehan (mm) : 2 - 4
3. Rongga dalam campuran (%) : 3 - 5
4. Rongga terisi aspal (%) : 75 - 82

## 2. Pembuatan Benda uji

Cara pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :  
diambil sebagai contoh pembuatan benda uji dengan kadar filler 2 %, maka komposisinya adalah :

- Berat sample = 1200 gram
- Berat aspal =  $5,5 \% \times 1200 \text{ gram} = 66 \text{ gram}$
- Berat agregat =  $1200 - 66 = 1134 \text{ gram}$

Misal pada kadar filler 2 %, maka :

- Berat filler =  $2 \% \times 1134 = 22,68 \text{ gram}$
- Berat agregat kasar =  $1134 - 22,68 = 1111,32 \text{ gram}$

Maka berat total campuran =  $1111,32 + 22,68 + 66$   
= 1200 gram

Kemudian urutan kerja selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Agregat sebanyak 1134 gram dipanaskan sampai mencapai suhu  $\pm 170^{\circ}\text{C}$ , demikian juga aspalnya hingga mencapai  $\pm 150^{\circ}\text{C}$ .
2. Setelah itu aspal dan agregat dicampur didalam pemanas dengan suhu pencampuran  $\pm 160^{\circ}\text{C}$ .
3. Cetakan benda uji disiapkan, dibersihkan dan diberi vaselin.
4. Setelah bagian bawah dari cetakan diberi selemba kertas, campuran dituangkan kedalam cetakan sambil ditusuk-tusuk dengan spatula agar benda uji tidak terlalu berongga dan bagian atasnya juga diberi kertas sebelum dilakukan pemadatan.

5. Selanjutnya dilakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak  $\pm$  75 kali, kemudian posisi benda uji dibalik dan ditumbuk pula sebanyak 75 kali sehingga satu benda uji dilakukan sebanyak 2 x 75 kali.
6. Setelah selesai penumbukan benda uji didinginkan dan dikeluarkan dari cetakan dengan bantuan ejector.



### 3. Cara Pengujian

Benda uji yang telah dibuat, diuji dengan test Marshall. Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut :

1. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel.
2. Benda uji diberi tanda pengenal.
3. Setiap benda uji diukur tingginya 3 kali pada tempat yang berbeda kemudian diambil rata-ratanya dengan ketelitian 0,1 mm.
4. Benda uji ditimbang dalam keadaan kering.
5. Benda uji direndam  $\pm$  24 jam agar menjadi jenuh.
6. Setelah jenuh, ditimbang dalam air guna mendapatkan volume/isi benda uji.
7. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam kemudian dikeringkan dengan kain hingga menjadi kering permukaan (SSD) lalu ditimbang.
8. Benda uji direndam dalam Water Bath selama 30 menit, dengan suhu perendaman 60°C.
9. Kepala penekan alat Marshall dibersihkan dan permukaannya dilumasi dengan vaselin atau oli agar benda uji mudah dilepas.
10. Setelah benda uji dikeluarkan dari Water Bath, segera diletakkan pada alat uji Marshall yang dilengkapi dengan arloji kelelehan (flow meter) dan arloji pembebanan (stabilitas).
11. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit hingga mencapai maksimum, yaitu saat

pembebanan berhenti dan berbalik arah, saat itu pula dibaca flow meternya.

12. Benda uji dikeluarkan dari alat uji Marshall setelah pembebanan selesai.
13. Kemudian benda uji berikutnya siap diuji seperti diatas.

#### **5.4 Anggapan Dasar**

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh penggunaan batu kapur dan batu cadas sebagai filler pada campuran beton aspal dan perilakunya. Yang dimaksud terhadap perilaku beton aspal disini adalah pengaruh terhadap nilai-nilai density, VITM, VFWA, stability, flow dan Marshall quotient.

Dalam pelaksanaan penelitian ini dianggap bahwa peralatan yang digunakan selama berlangsungnya penelitian dalam keadaan standar. Sedangkan bahan-bahan untuk penelitian seperti agregat dan aspal dalam keadaan yang sama, maksudnya bahwa kualitas bahan dianggap sama seperti pada hasil pengujian bahan-bahan.

#### **5.5 Cara Analitis**

Dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium diperoleh data antara lain sebagai berikut :

1. Persen aspal terhadap batuan (a).
2. Persen aspal terhadap campuran (b).



3. Berat benda uji sebelum direndam air (gram).
4. Berat benda uji didalam air (gram).
5. Berat benda uji kering permukaan/SSD (gram).
6. Tebal benda uji (mm).
7. Pembacaan arloji stabilitas (Kg).
8. Pembacaan arloji flow (mm).

Dari data diatas dapat dihitung nilai-nilai dari density, VITM, VFWA, stability, flow, Marshall quotient. Cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Berat jenis maksimum teoritis (h), dipakai rumus :

$$h = \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{BJ \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{BJ \text{ aspal}}}$$

2. Density, nilai density (BD) dihitung dengan rumus :

$$BD = g = c/f$$

$$f = d - e$$

dengan :

c = berat benda uji sebelum direndam (gr)

d = berat benda uji jenuh air (gr)

e = berat benda uji dalam air (gr)

f = isi benda uji (ml)

g = berat isi benda uji (gr/ml)

### 3. VFWA (Void Filled With Asphalt)

Untuk memperoleh nilai VFWA (% rongga dalam terisi aspal) terlebih dahulu menghitung nilai-nilai dari :

- a. Prosentase aspal terhadap campuran, dengan rumus :

$$b = \frac{a}{100 + a} \times 100 \%$$

dengan :

a = prosen aspal terhadap batuan (%)

b = prosen aspal terhadap campuran (%)

- b. Isi benda uji, dengan rumus :

$$f = d - e$$

dengan :

d = berat dalam keadaan jenuh (gram)

e = berat dalam air (gram)

f = isi (ml)

- c. Berat isi benda uji, dengan rumus :

$$g = \frac{c}{f}$$

dengan :

c = berat uji sebelum direndam (gram)

f = isi (ml)

g = berat isi benda uji (gr/ml)

- d. Persen rongga terhadap agregat, dengan rumus :

$$l = 100 - j$$

dengan :

$$j = \frac{(100 - b) \times g}{bj \text{ agregat}}$$

Dari data diatas maka dapat dihitung nilai VFWA sebagai berikut :

$$V = 100 \times \frac{i}{l}$$

dengan :

$$i = \frac{b \times g}{bj \text{ agregat}}$$

l = prosentase rongga terhadap agregat (%)

#### 4. VITM (Void In Total Mix)

Untuk mendapatkan nilai VITM (% rongga dalam campuran), digunakan rumus :

$$V = 100 - (100 \times g/h)$$

dengan :

g = berat isi benda uji

h = berat jenis maksimum teoritis

#### 5. Stabilitas (stability)

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari hasil pembacaan arloji stabilitas alat tekan Marshall. Nilai stabilitas ini masih harus dirubah kedalam satuan Kg dengan kalibrasi proving ring dan kemudian dikalikan dengan koreksi ketebalan benda uji. Untuk merubah dari angka yang terbaca dalam arloji stabilitas ke dalam satuan Kg, dapat dipergunakan rumus :

$P = O \times \text{kalibrasi proving ring}$

dan

$g = P \times \text{koreksi tebal sample}$

dengan :

$O = \text{pembacaan arloji (stabilitas)}$

#### 6. Kelelehan (flow)

Nilai kelelehan didapat dari pembacaan arloji flow yang menyatakan besarnya kelelehan plastis benda uji. Nilai ini harus dikalikan dengan angka 0,01 (dalam satuan inchi) dan kemudian dirubah kedalam satuan mm.

#### 7. Marshall quotient (QM)

Nilai Marshall quotient diperoleh dengan rumus :

$$QM = \frac{s}{r}$$

dengan :

QM = nilai Marshall quotient (Kg/mm)

r = nilai kelelehan (mm)

s = nilai stabilitas terpakai Kg)

### 5.6 Kesulitan-kesulitan dan Penyelesaiannya

Pada penelitian di laboratorium, ada beberapa kesulitan-kesulitan yang menghambat jalannya penelitian. Kesulitan tersebut terutama disebabkan karena keterbatasan alat yang dimiliki oleh laboratorium seperti mesin penggi-

las mild untuk menghaluskan filler batu cadas dan batu kapur, sehingga peneliti harus menumbuk secara manual agar batu cadas dan batu kapur tersebut bisa lolos saringan no. 200.

Kemudian alat timbangan yang terdapat di laboratorium kebanyakan sudah kurang tepat, sehingga peneliti kesulitan untuk mendapatkan hasil timbangan yang betul-betul teliti. Tetapi hal tersebut dapat teratasi dengan mengadakan pengecekan setiap melakukan penimbangan, meskipun akan menyita waktu yang cukup banyak dan setelah dilakukan pengecekan dianggap timbangan telah dalam kondisi baik.

Kesulitan lain adalah alat pemadat (compactor) yang penggunaannya masih secara manual. Hal ini cukup menyulitkan peneliti untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih akurat karena semua penumbukan dilakukan dengan tenaga manusia, maka faktor kelelahan akan berpengaruh sehingga menyebabkan tinggi jatuh bebas dari alat penumbuk akan berlainan dan menyebabkan kekuatan tumbukan akan berbeda pula. Selain itu peneliti juga harus menghitung jumlah tumbukan agar tidak melebihi dari jumlah yang telah ditentukan.

Namun secara keseluruhan kesulitan-kesulitan tersebut dapat teratasi walaupun kurang dari sempurna.