

## **BAB V**

### **CARA PENELITIAN**

Pada penelitian Tugas Akhir ini dilakukan percobaan di Laboratorium Jalan Raya jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Pada tahap ini kegiatan yang dilakukan adalah mengumpulkan bahan-bahan dan buku-buku pustaka sebagai penunjang landasan teori. Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah berupa agregat, aspal dan bahan tambah. Agregat yang dipergunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil pemecah batu (*Stone Crusher*) milik PT. Perwita Karya di daerah Clereng Kulon Progo Yogyakarta. Sedangkan aspal yang dipakai adalah jenis AC 60-70 produksi Pertamina yang diperoleh dari PT. Perwita Karya Yogyakarta. Untuk bahan tambah Serat Selulosa berasal dari Amerika Serikat dengan importir PT. Saranaraya Eka Cipta Jakarta. Semua bahan dalam penelitian ini tersedia di Laboratorium Jalan Raya jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Metode penelitian ini selengkapya diperlihatkan dalam diagram alur seperti pada gambar 5.1.

#### **5.1 Persyaratan dan Pengujian Bahan**

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini sebelumnya diuji di laboratorium. Data dari pengujian bahan tersebut digunakan dalam pembuatan benda uji. Adapun pengujian yang dilakukan adalah meliputi.

### 5.1.1 Pemeriksaan Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari lapis perkerasan jalan, kandungan agregat dalam lapis perkerasan berkisar 90 – 95 % persentase berat atau 75 – 85% berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan, dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan pencampuran agregat dengan material lain. Adapun untuk mengetahui kualitas agregat dilakukan pemeriksaan sebagai berikut .

#### 1. Pemeriksaan keausan agregat

Ketahanan agregat terhadap penghancuran diperiksa dengan menggunakan percobaan Abrasi Los Angeles berdasarkan PB-0206-76. Agregat yang disiapakan dimasukkan kedalam mesin Los Angeles bersama-sama dengan bola-bola baja, lalu diputar dengan kecepatan 30/33 rpm selama 500 putaran. Nilai akhir dinyatakan dalam persen yang merupakan hasil perbandingan antara berat benda uji semula dikurang berat benda uji tertahan saringan No. 12 dengan berat benda uji semula. Nilai tinggi menunjukkan banyaknya benda uji yang hancur akibat putaran alat yang mengakibatkan tumbukan dan gesekan antar partikel dengan bola-bola baja. Nilai abrasi  $> 40$  % menunjukkan agregat tidak mempunyai kekerasan cukup untuk digunakan sebagai bahan/material lapisan perkerasan.

#### 2. Pemeriksaan berat jenis

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal karena umumnya direncanakan dengan perbandingan berat

dan juga untuk menentukan banyaknya pori. Agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang banyak. Disamping itu agregat dengan kadar pori yang besar membutuhkan jumlah aspal yang banyak. Adapun pemeriksaan berat jenis ditentukan berdasarkan prosedur pengujian PB-0202-76 dengan persyaratan min 2,5 gr/cc.

### 3. Pemeriksaan kelekatan terhadap aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap seluruh permukaan dan besarnya minimal 95 %. Faktor yang mempengaruhi lekatan aspal dan agregat adalah sifat mekanis dan kimia agregat. Sifat mekanis terdiri atas bentuk dan tekstur permukaan, ukuran butiran, kandungan pori dan absorpsi. Pemeriksaan agregat untuk daya lekatnya terhadap aspal dilakukan dengan percobaan mengikuti prosedur dari PB-0205-76.

### 4. Pemeriksaan peresapan agregat terhadap air

Peresapan agregat terhadap air dilakukan untuk mengetahui besarnya air yang terserap oleh agregat. Besarnya peresapan air yang diijinkan maksimal sebesar 3 %. Air yang telah diserap oleh agregat sukar dihilangkan seluruhnya walaupun melalui proses pengeringan, sehingga mempengaruhi daya lekat aspal dengan agregat.

### 5. Pemeriksaan *Sand Equivalent*

Sand Equivalent Test dilakukan untuk mengetahui kadar debu bahan yang menyerupai lempung pada agregat halus/pasir. Lempung dapat mempengaruhi

mutu campuran agregat dengan aspal karena lempung membungkus partikel-partikel agregat sehingga ikatan antar agregat dengan aspal berkurang, dan adanya lempung mengakibatkan luas daerah yang harus diselimuti aspal bertambah. Sand Equivalent Test dilakukan untuk partikel agregat yang lolos saringan No. 4 sesuai prosedur AASHTO T 176-73. Nilai yang disyaratkan sebesar minimal 50 %.

### 5.1.2 Pengujian Bahan Ikat Aspal

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

#### 1. Pemeriksaan Penetrasi

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0301-76. Pemeriksaan dilakukan dengan memasukan jarum penetrasi berdiameter 1 mm dengan menggunakan beban seberat 50 gr sehingga diperoleh beban gerak seberat 100 gr ( berat jarum + beban ) selama 5 detik pada temperatur 25° C. Besarnya angka penetrasi untuk aspal AC 60 – 70 adalah antara 60 sampai 79.

#### 2. Pemeriksaan Titik Lembek ( *Softening point test* )

Titik lembek aspal adalah suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin yang diletakan horizontal di dalam larutan air atau gliserine yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek karena beban bola baja dengan diameter 9,53 mm seberat 3,5 gr yang diletakan diatasnya sehingga lapisan aspal jatuh kedasar

dengan jarak 1 inchi. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA – 0302 – 76 atau dengan nilai yang disyaratkan sebesar  $48^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $58^{\circ}\text{C}$ .

### 3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Pemeriksaan ini mengikuti prosedur PA-0303-76 yang berguna untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat di permukaan aspal ( titik nyala ) sedangkan titik bakar adalah suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada permukaan aspal. Pemeriksaan dilakukan di ruangan gelap sehingga dapat segera diketahui timbulnya nyala pertama.

### 4. Kelarutan dalam $\text{CCL}_4$

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan jumlah bitumen yang larut dalam Carbon Tetra Chlorida. Jika semua bitumen yang diuji larut dalam  $\text{CCL}_4$  maka bitumen tersebut adalah murni. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA – 0305 – 76.

### 5. Berat jenis

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Titik nyala dan titik bakar perlu diketahui untuk menentukan temperatur maksimum aspal, sehingga dalam pemanasan aspal tidak boleh melampaui titik nyalanya. Pemanasan yang melampaui titik nyalanya atau titik bakarnya akan menyebabkan aspal terbakar sehingga akan mengakibatkan aspal menjadi keras dan getas dan apabila digunakan dalam campuran perkerasan, perkerasan akan mudah retak, kurang flexibel dan mudah pecah. Pemeriksaan berat jenis aspal mengikuti prosedur pemeriksaan PA – 0307 – 76.

## 6. Pemeriksaan Daktalitas (*Ductality Test*)

Pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tertentu. Aspal dengan daktalitas yang lebih besar mengikat butir-butir agregat lebih baik tetapi lebih peka terhadap perubahan temperatur. Pemeriksaan ini mengikuti prosedur PA - 0306 - 76.

### 5.2. Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran adalah meliputi kegiatan sebagai berikut ini.

#### 5.2.1. Perencanaan gradasi agregat campuran

Gradasi agregat yang digunakan pada campuran HRS B mengacu pada spesifikasi dari CQCMU, 1988 seperti pada tabel 3.1. Tahapan persiapan dalam pengujian ini adalah menentukan ukuran gradasi agregat untuk campuran HRS B. Dalam penentuan gradasi agregat hendaknya mengikuti sifat-sifat alamiah dari batuan. Hal ini penting untuk mengetahui perilaku campuran yang akan dibuat. Persentase dari agregat kasar pada campuran HRS B berkisar antara 30% - 55 %.

#### 5.2.2. Kadar Aspal

Kadar aspal dalam penelitian ini dipergunakan 5 variasi kadar aspal dengan kenaikan persentase 0,5 %, yaitu 6,5 %, 7 %, 7,5 %, 8 % dan 8,5 % dari berat total campuran.

### 5.2.3. Bahan Tambah

Bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Serat Selulosa jenis CF-31500 asal Amerika Serikat. Kadar serat yang digunakan sesuai dengan hasil penelitian Serat Selulosa oleh Pusat Litbang Dinas Pekerjaan Umum yaitu sebanyak 0,3 % dari berat total campuran. Persyaratan ini merupakan persyaratan umum dari Serat Selulosa agar dapat digunakan dalam campuran panas. Hasil penelitian Serat Selulosa selengkapnya terdapat pada Tabel 2.2 Laporan hasil penelitian Serat Selulosa oleh Dinas Pekerjaan Umum.

### 5.3. Pengujian Campuran

Pengujian dilakukan pada benda uji yang telah dibuat sesuai dengan perencanaan campuran yang ditetapkan dengan menggunakan peralatan yang tersedia di laboratorium kemudian diuji dengan test Marshall, adapun yang terkait dengan pengujian campuran adalah sebagai berikut ini.

#### 5.3.1. Pembuatan Benda Uji

Berat total campuran satu jenis benda uji adalah 1200 gram, yang terdiri dari aspal, agregat dan filler serta bahan tambah untuk campuran yang memakai serat. Jumlah benda uji untuk masing-masing kadar aspal adalah sebanyak 3 ( tiga ) buah benda uji. Jumlah total untuk mencari kadar aspal optimum adalah  $3 \times 5 = 15$  buah benda uji. Kemudian pada campuran kedua dibuat benda uji dengan variasi temperatur pemadatan sebanyak 5 ( lima variasi ) dengan temperatur pemadatan  $140^{\circ} \text{C}$ ,  $130^{\circ} \text{C}$ ,  $120^{\circ} \text{C}$ ,  $110^{\circ} \text{C}$  dan  $100^{\circ} \text{C}$  dan setiap variasi dibuat 3 buah benda uji . Total benda uji sebanyak 30 buah benda uji yaitu 15 benda uji untuk campuran tanpa Serat Selulosa dan 15 benda uji memakai Serat Selulosa.

Jadi total benda uji yang diperlukan adalah  $15 + 15 + 15 = 45$  buah benda uji.

Contoh perhitungan pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

Perhitungan :

- Berat total campuran agregat : Aspal + Agregat + Filler = 1200 gr
- Berat Aspal =  $6,5 \% \times 1200 = 78$  gr
- Berat Agregat =  $1200 - 78 = 1122$  gr

Sedangkan aspal yang dibutuhkan untuk setiap benda uji adalah sebagai berikut:

- Kadar aspal 6,5 % dibutuhkan aspal  $6,5 \% \times 1200 = 78$  gr
- Kadar aspal 7 % dibutuhkan aspal  $7 \% \times 1200 = 84$  gr
- Kadar aspal 7,5 % dibutuhkan aspal  $7,5 \% \times 1200 = 90$  gr
- Kadar aspal 8 % dibutuhkan aspal  $8 \% \times 1200 = 96$  gr
- Kadar aspal 8,5 % dibutuhkan aspal  $8,5 \% \times 1200 = 102$  gr

Tahapan pembuatan benda uji antara lain sebagai berikut:

1. Agregat dibersihkan dari kotoran yang menempel dan dikeringkan sampai diperoleh berat tetap pada suhu  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ . Agregat tersebut kemudian disaring secara kering kedalam fraksi yang dikehendaki.
2. Penimbangan untuk setiap fraksi dilakukan agar mendapat gradasi agregat ideal pada suatu takaran campuran.
3. Agregat yang telah ditimbang selanjutnya dimasukkan ke dalam panci, kemudian dipanaskan dalam oven. Setelah suhunya dianggap cukup agregat dipanaskan diatas kompor/pemanas sampai pada suhu diatas  $165^\circ \text{C}$ , sedangkan aspal dipanaskan hinga mencapai suhu  $155^\circ \text{C}$ .

4. Setelah agregat dan aspal mencapai suhu yang dikehendaki, dilakukan pencampuran kedua bahan tersebut dengan prosentase kadar aspal yang telah direncanakan.
5. Mengaduk campuran tersebut hingga rata sampai semua agregat terselimuti aspal. Kemudian benda uji dimasukan kedalam silinder cetakan yang sebelumnya silinder tersebut dipanasi di dalam oven dan diolesi *vaselin*, kemudian bagian atas maupun bawah dari silinder cetak benda uji diberi kertas saring dan diberi tanda.
6. Setelah campuran benda uji dimasukkan kedalam silinder cetakan campuran ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali, lima belas kali ditepi silinder dan sepuluh kali dibagian tengahnya.
7. Pemadatan dilakukan dengan *compactor* manual masing-masing sebanyak 75 kali untuk bagian atas dan bawah.
8. Benda uji didinginkan, selanjutnya dikeluarkan dari silinder cetakan dengan *ekstruder* diberi kode pada setiap permukaan benda uji.

### 5.3.2. Peralatan Pengujian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Transportasi Jurusan Teknik

Sipil UII. Alat-alat yang digunakan selama penelitian adalah.

1. Cetakan benda uji, lengkap dengan plat atas dan leher sambung.
2. Mesin penumbuk manual maupun elektrik.
3. Alat untuk mengeluarkan benda uji (*ejektor*).
4. Alat *marshall* lengkap, yaitu :
  - a. Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung

- b. Cincin penguji (*proving ring*), dan
  - c. Arloji pengukur alir (*flow*)
  - d. Oven
5. Bak perendam (*water bath*) dilengkapi dengan pengatur suhu, mulai suhu 20°C - 60°C.
6. Timbangan.
7. Pengukur suhu dari logam (*metal thermometer*)
8. Perlengkapan lain-lain, yaitu :
- a. Panci / kual, dan
  - b. Sendok pengaduk dan satula,
  - c. Kompor pemanas (*hot plate*),
  - d. Kantong plastik, gas elpiji, dan
  - e. Sarung tangan asbes dan karet.

### 5.3.3. Cara Pengujian

Cara pengujian benda uji dilakukan sebagai berikut.

1. Benda uji direndam dalam bak perendam (*water bath*) selama  $\pm 30$  menit dengan suhu perendaman 60°C.
2. Kepala penekan alat *Marshall* dibersihkan dan permukaanya dilumuri dengan *vaselin* agar benda uji mudah dilepaskan. Benda uji diletakkan pada alat *marshall* segera setelah benda uji dikeluarkan dari *water bath*.
3. Pembebanan dimulai dengan posisi jarum diatur sehingga menunjukkan angka nol, sementara selubung arloji dipegang kuat terhadap bagian atas kepala penekan.

4. Kecepatan pembebanan dimulai dengan 50 mm/menit hingga pembebanan maksimum tercapai, yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum ukur. Pembebanan maksimum yang terjadi pada *flow meter* dibaca saat itu.

#### 5.3.4. Anggapan Dasar

Penelitian ini akan diperoleh hasil pengaruh variasi temperatur pemadatan dibawah temperatur pemadatan optimum (  $140^{\circ} \text{C}$  ) terhadap Stabilitas, flow, VITM, VFWA dan *Marshall Qoutient* berdasarkan spesifikasi yang disyaratkan untuk campuran *Hot Rolled Sheet*. Sedangkan Penambahan Serat Selulosa akan dapat meningkatkan nilai-nilai Marshall dan nilai Modulus Kekakukannya.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini dianggap dalam keadaan standart. Selain itu variasi di dalam pekerjaan pembuatan benda uji dianggap relatif kecil atau dapat diabaikan. Bahan-bahan untuk penelitian ini, seperti agregat dan aspal dianggap memiliki kualitas yang homogen, seperti pada hasil pengujian bahan.

#### 5.4. Analisis

Setelah pengujian *Marshall* dilakukan, dilanjutkan dengan analisis data yang diperoleh. Analisis yang dilakukan adalah untuk mendapatkan nilai-nilai *Marshall* guna mengetahui karakteristik campuran sehingga didapat kadar aspal optimum.

Data yang diperoleh dari percobaan dilaboratorium aalah sebagai berikut:

1. Berat benda uji sebelum direndam (gram).

2. Berat benda uji didalam air (gram).
3. Berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gram).
4. Tebal benda uji (mm)
5. Pembacaan arloji stabilitas (lbs)
6. Pembacaan arloji kelelahan atau *flow* (mm)

Untuk mendapatkan nilai VITM (*Void In The Mix*), VFWA (*Void Filled With Asphalt*), Stabilitas (*Stability*), dan *Marshall Quotient* (MQ), diperlukan data-data antara lain:

1. Berat Jenis aspal = (*Berat / Volume*)
2. Berat Jenis agregat, dan
3. Berat Jenis teoritis campuran

Berat jenis agregat merupakan gabungan dari berat jenis agregat kasar, agregat halus dan filler. Untuk memperoleh nilai berat jenis tersebut digunakan rumus sebagai berikut:

$$BJ \text{ agregat} = \frac{100}{(A/F1) + (B/F2)}$$

Keterangan:

A = Prosentase agregat kasar,      F1 = Berat jenis agregat kasar

B = Prosentase agregat halus,      F2 = Berat jenis agregat halus

Data hasil perhitungan diatas dipergunakan untuk mencari nilai-nilai dari karakteristik marshall sebagai berikut ini.

## 1. Stabilitas

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian *Marshall*. Hasil tersebut dicocokkan dengan angka kalibrasi *profing ring* dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi yang dipengaruhi oleh tebal benda uji seperti pada tabel 5.1. nilai stabilitas sesungguhnya diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$S = p \times q$$

Keterangan:

S = Angka stabilitas sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji

Tabel 5.1 koreksi tabel benda uji

TEBAL (mm)	ANGKA KOREKSI	TEBAL (mm)	ANGKA KOREKSI
60	1,095	70	0,845
61	1,065	71	0,835
62	1,035	72	0,825
63	1,015	73	0,810
64	0,960	74	0,791
65	0,935	75	0,772
66	0,900	76	0,762
67	0,885	77	0,752
68	0,865	78	0,742
69	0,855	79	0,733
70	0,845	80	0,724

Sumber : Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII

## 2. Kelelahan ( *Flow* )

*Flow* menunjukkan deformasi benda uji akibat pembebanan (sampai beban batas). Nilai ini langsung dapat dibaca dari pembacaan arloji kelelahan (*flow*) saat pengujian *Marshall*. Nilai *flow* pada arloji dalam satuan *inch*, maka harus dikonversikan dalam satuan milimeter.

## 3. Kepadatan ( *Density* )

Nilai kepadatan / *density* dihitung dengan rumus :

$$BD = q = c / f$$

$$f = d - e$$

Keterangan :  $BD = q =$  Nilai kepadatan (gr/cc)

$d =$  Berat benda uji jenuh air (gr)

$e =$  Berat benda uji dalam air (gr)

$f =$  Volume benda uji (cc)

$c =$  Berat kering / Sebelum Direndam (gr)

## 4. VFWA ( *Void Filled With Asphalt* )

Nilai ini menunjukkan prosentase rongga campuran yang berisi aspal. Nilai VFWA dihitung dengan rumus :

$$VFWA = 100 \cdot (i/l)$$

$$b = \{ a / (100 + a) \} \cdot 100$$

$$i = (b \cdot g) / BJ \text{ aspal}$$

$$j = \{ (100 - b) \cdot g \} / BJ \text{ agregat}$$

$$l = 100 - j$$

Keterangan :

a = Prosentase aspal terhadap batuan (%), i dan j = Rumus substitusi

b = Prosentase aspal terhadap campuran (%) g = Berat isi benda uji.

l = Prosentase rongga terhadap agregat

### 5. VITM ( *Void In The Mix* )

*Void in The Mix* adalah prosentase rongga dalam campuran. Nilainya dihitung dengan rumus :

$$VITM = 100 \cdot \left( 100 - \frac{g}{h} \right)$$

$$h = \frac{100}{[(\% \text{ agregat} / BJ \text{ agregat}) + (\% \text{ aspal} / BJ \text{ aspal})]}$$

Keterangan : h = Berat jenis teoritis Campuran

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

Nilai *Marshall Quotient* diperoleh dengan rumus :

$$MQ = S / R$$

Keterangan : S = Nilai stabilitas

R = Nilai kelelahan (*flow*)

MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

Setelah dilakukan analisis dari pengujian *Marshall*, dan didapat nilai-nilai karakteristik *Marshall*, dibuat grafik hubungan antara kadar aspal terhadap nilai karakteristik tersebut. Berdasarkan grafik dan perbandingan terhadap spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga, ditentukan kadar aspal optimum campuran.

Kemudian analisis dilanjutkan dengan menghitung kekakuan bitumen dengan menggunakan nomogram Van Der Poel dan persamaan yang diturunkan oleh Ullidz serta menghitung kekakuan campuran dengan metode shell dan metode Heukellom dan Klomp.

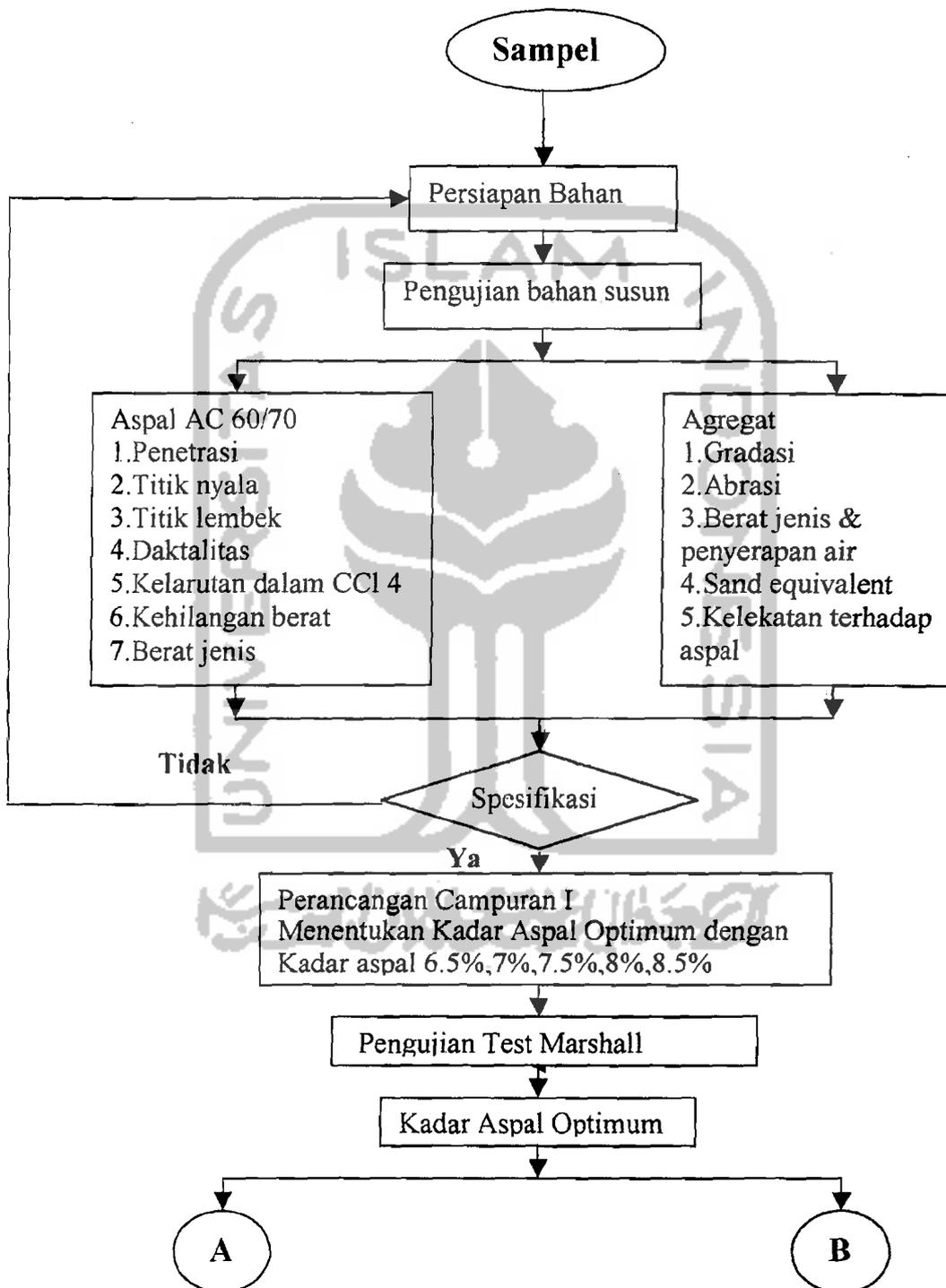
### 5.5 Kesulitan dan Penyelesaiannya

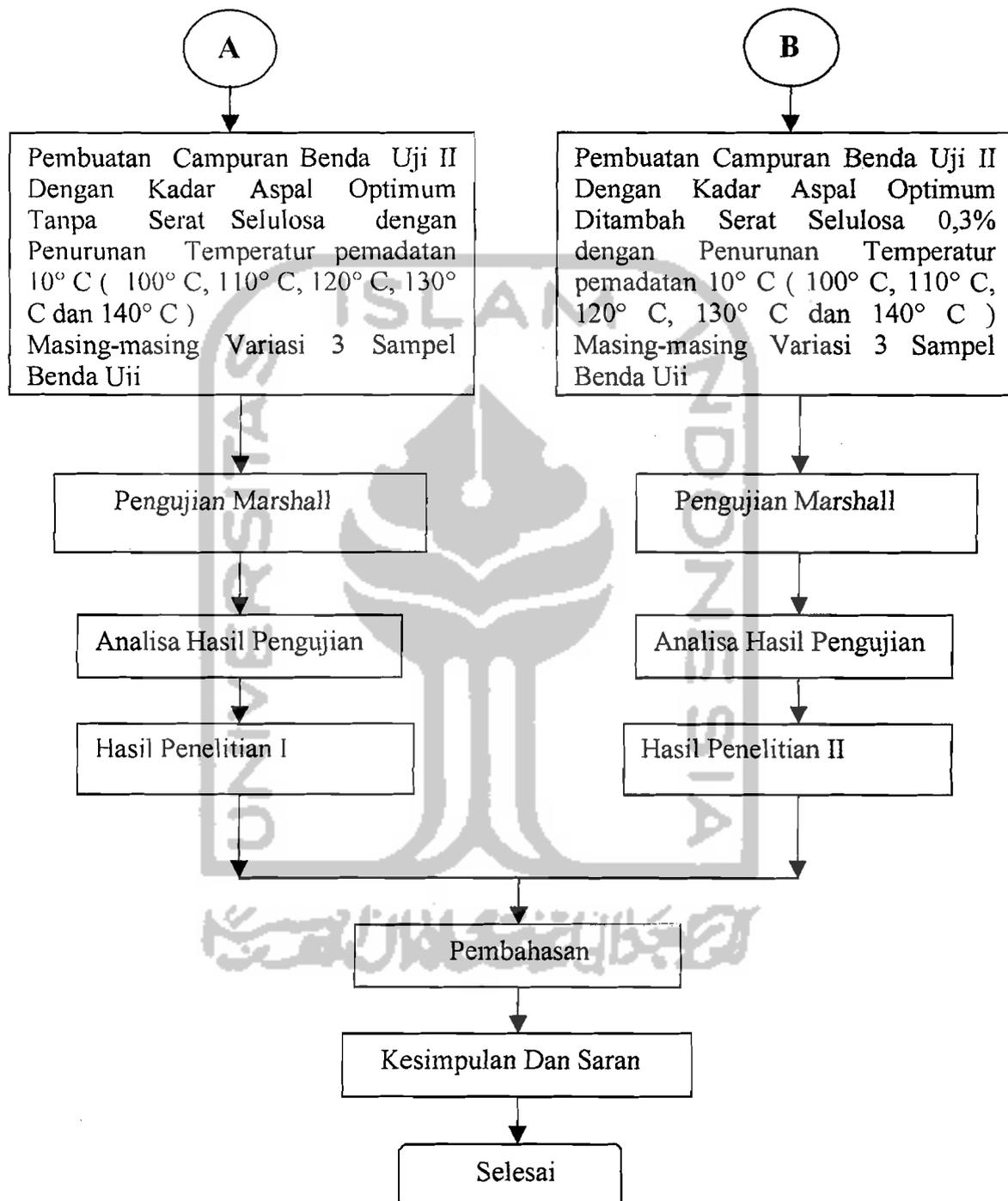
Penelitian yang dilakukan di laboratorium ini tidak terlepas dari kesulitan-kesulitan yang mempengaruhi jalannya penelitian. Apalagi penelitian yang dilakukan ini kualitas akhir diperoleh dari variasi temperatur pematatannya.

Pertama, Sulitnya untuk memperoleh temperatur pematatan yang diinginkan setelah dilakukan pencampuran. Berhubung penurunan temperatur tidak selalu merata pada seluruh permukaannya. Untuk itu cara mengatasinya adalah setelah benda uji dicampur, kemudian dimasukkan kedalam mold dan thermometer dimasukkan sampai setengah kedalamannya. Penurunan temperatur ditunggu sampai pada temperatur yang diinginkan.

Kedua, sulitnya mempertahankan temperatur pematatan yang diinginkan. Berhubung selama proses pematatan temperatur terus menurun. Untuk itu cara mengatasinya adalah dengan menggunakan alat pengatur panas pada pemanasan cetakan yaitu dengan memanasi mold terlebih dahulu kedalam oven, sehingga diperoleh temperatur campuran yang konstan sesuai rencana. Untuk selanjutnya pengukuran temperatur saat pemanasan bahan, pencampuran dan pematatan harus sering dilakukan.

## 5.6 Bagan Alir Penelitian





**Gambar 5.1 Bagan Alir Penelitian**

## BAB VI

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 6.1. Hasil Penelitian Laboratorium

Dari hasil pemeriksaan bahan serta campuran HRS B dengan dan tanpa Serat Selulosa dengan cara Marshall diperoleh hasil sebagai berikut ini.

##### 6.1.1. Hasil Pemeriksaan Bahan

Hasil pemeriksaan terhadap bahan yang digunakan untuk campuran HRS B diperoleh hasil seperti pada tabel 6.1, tabel 6.2 dan tabel 6.3 dibawah ini.

Tabel 6.1. Spesifikasi dan Hasil pemeriksaan Agregat Kasar

No	Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1.	Keausan dengan Mesin Los Angeles (%)	$\leq 40$ %	27.24	Memenuhi
2.	Kelekatan terhadap aspal (%)	$\geq 95$ %	100	Memenuhi
3.	Penyerapan terhadap air (%)	$\leq 3$ %	2.02	Memenuhi
4.	Berat jenis semu	$\geq 2,5$	2.86	Memenuhi

Sumber : Hasil Pemeriksaan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.2. Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

No	Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1.	<i>Sand Equivalent</i> (%)	$\geq 50$ %	84.78	Memenuhi
2.	Penyerapan terhadap air (%)	$\leq 3$ %	2.04	Memenuhi
3.	Berat jenis semu	$\geq 2,5$	2.88	Memenuhi

Sumber : Hasil Pemeriksaan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.3. Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Aspal Keras AC 60/70

No	Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1.	Penetrasi ( 25°C, 5 detik ) ( 0.1 mm )	60 – 79	65	Memenuhi
2.	Titik lembek ( Ring and Ball ) ( °C )	48 – 58	49	Memenuhi
3.	Titik nyala ( Cleve Open Cupl ) °C	≥ 200	340	Memenuhi
4.	Daktalitas ( 25°C, 5 cm/menit ) ( cm )	≥ 100	127.5	Memenuhi
5.	Kelarutan dalam CCL <sub>4</sub>	≥ 99	99.63	Memenuhi
6.	Berat jenis	≥ 1.0	1.054	Memenuhi

Sumber : Hasil Pemeriksaan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII

Setelah itu pengujian dilanjutkan dengan pemeriksaan Marshall Properties terhadap campuran berdasarkan desain ( Job Mix ) pada bahan-bahan tersebut.

#### 6.1.2. Hasil Pengujian Benda Uji

Data hasil pengujian Marshall untuk campuran HRS B terhadap variasi kadar aspal diperoleh nilai-nilai dari Stabilitas, Flow, VITM, VFWA dan Marshall Qoutient yang kemudian dibandingkan dengan persyaratan dari Bina Marga. didapat kadar aspal optimum campuran.

Hasil pengujian marshall untuk menentukan kadar aspal optimum dan persyaratan beton aspal dapat dilihat pada tabel 6.4 dan tabel 6.5 sebagai berikut.



Tabel 6.4. Persyaratan HRS B

Parameter Marshall	Bina Marga
Stabilitas ( kg )	550 - 1250
Flow ( mm )	2 - 4
Marshall Qoutient ( kg/mm )	180 - 500
VITM ( % )	3 - 6
VFWA ( % )	75 - 82
Density ( gr/cc )	-

Sumber : Metode Bina Marga / CQCMU 1988

Tabel 6.5. Hasil Pengujian Marshall untuk Campuran HRS B dengan variasi kadar aspal

Kadar aspal (%)	Kode	Density (gr/cc)	VITM (%)	Flow (mm)	VFWA (%)	Stabilitas (kg)	Marshall Qoutient (kg/mm)
6.5 %	1 - H	2.324	5.586	1.60	71.924	1458.01	911.25
	2 - H	2.288	7.032	2.30	66.715	1004.72	436.83
	3 - H	2.318	5.825	1.60	71.019	972.52	607.82
	Rerata	2.310	6.148	1.83	69.886	1178.78	644.14
7.0 %	1 - H	2.322	4.947	3.70	75.604	1718.98	464.14
	2 - H	2.303	5.717	3.70	72.694	1450.20	391.94
	3 - H	2.303	5.749	1.80	72.578	1380.43	766.90
	Rerata	2.309	5.471	3.06	73.625	1535.92	501.93
7.5 %	1 - H	2.328	4.037	3.40	80.322	1447.76	425.81
	2 - H	2.329	3.982	2.70	80.544	1186.65	439.50
	3 - H	2.331	3.901	2.80	80.876	1548.19	552.92
	Rerata	2.330	3.973	2.96	80.581	1461.17	493.64
8.0 %	1 - H	2.329	3.305	2.35	84.158	1150.76	489.68
	2 - H	2.329	3.332	2.60	84.046	1327.33	510.51
	3 - H	2.337	2.976	2.70	85.536	1341.08	496.69
	Rerata	2.332	3.204	2.55	84.580	1275.67	500.26
8.5 %	1 - H	2.320	3.003	2.70	86.031	1138.59	421.70
	2 - H	2.327	2.700	3.00	87.282	1000.18	333.40
	3 - H	2.321	2.947	2.70	86.260	1052.78	389.91
	Rerata	2.323	2.884	2.80	86.524	1032.23	368.65

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII



Berdasarkan gambar 6.1 diatas, kadar aspal optimum untuk campuran HRS B adalah sebesar 7.375 % . Hasil ini dipakai dalam pembuatan benda uji kedua yang dilakukan terhadap variasi temperatur pemadatan pada campuran dengan dan tanpa ditambah serat selulosa.

Pengujian yang dilakukan untuk masing-masing campuran adalah pengujian *Marshall* serta pengaruh campuran pada Modulus Kekakuannya. Hasil Pengujian *Marshall* tersebut dapat dilihat pada tabel 6.6 dan tabel 6.7 sebagai berikut.

Tabel 6.6 Hasil Pengujian *Marshall* terhadap Penurunan Temperatur Pemadatan Optimum untuk Campuran HRS B tanpa Serat Selulosa

Temp Pemadatan (°C)	Kode	Density (gr/cc)	VITM (%)	Flow (mm)	VFWA (%)	Stabilitas (kg)	MQ (kg/mm)
100	TS-1	2.24	7.756	3.10	66.820	789.54	254.69
	TS-2	2.22	8.789	3.10	63.746	827.10	266.80
	TS-3	2.23	8.044	3.30	65.942	662.74	200.83
	Rerata	2.29	5.947	3.17	72.959	746.11	235.36
110	TS-1	2.29	5.753	3.05	73.475	1217.7	399.24
	TS-2	2.25	7.407	2.70	67.912	708.85	262.53
	TS-3	2.28	6.119	2.70	72.183	786.18	291.17
	Rerata	2.30	5.526	3.02	74.357	880.92	291.69
120	TS-1	2.31	4.905	2.60	76.608	899.43	345.93
	TS-2	2.30	5.293	4.00	75.148	1350.8	337.70
	TS-3	2.28	6.074	2.60	72.342	1272.7	489.50
	Rerata	2.30	5.300	3.03	75.148	1288.4	341.81
130	TS-1	2.30	5.454	2.40	74.555	1410.0	587.50
	TS-2	2.29	5.799	2.40	73.308	1335.9	556.62
	TS-3	2.31	5.076	2.40	75.958	1344.7	560.29
	Rerata	2.30	4.954	2.40	75.317	1340.3	558.45
140	TS-1	2.29	5.666	3.70	73.786	1393.0	376.48
	TS-2	2.31	5.070	2.20	75.982	1392.4	632.90
	TS-3	2.32	4.601	3.20	77.780	736.97	230.30
	Rerata	2.31	4.712	2.92	75.849	1392,7	476,95

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.7 Hasil Pengujian Marshall Terhadap Penurunan Temperatur Pemadatan Optimum untuk Campuran HRS B ditambah Serat Selulosa

Temp Pemadatan (°C)	Kode	Density (gr/cc)	VITM (%)	Flow (mm)	VFWA (%)	Stabilitas (kg)	MQ (kg/mm)
100	S-1	2.187	10.25	3.70	60.280	656.02	177.30
	S-2	2.200	9.720	2.60	61.710	642.54	247.13
	S-3	2.257	7.360	2.80	68.750	853.25	304.73
	Rerata	2.214	9.110	3.03	63.580	717.27	236.48
110	S-1	2.253	7.530	3.70	68.180	889.45	240.39
	S-2	2.220	8.890	2.70	64.060	773.03	286.30
	S-3	2.230	8.460	3.00	65.300	739.02	246.34
	Rerata	2.234	8.290	3.13	65.850	800.50	255.50
120	S-1	2.272	6.740	2.80	70.760	996.07	355.74
	S-2	2.229	8.520	2.30	65.140	914.66	397.67
	S-3	2.270	6.850	3.90	70.430	1007.38	258.30
	Rerata	2.257	7.370	3.00	68.780	972.70	324.23
130	S-1	2.210	9.260	2.30	62.990	958.67	416.81
	S-2	2.249	7.690	1.50	67.680	982.45	654.96
	S-3	2.260	7.170	2.50	69.370	1117.33	446.93
	Rerata	2.240	8.040	2.10	66.680	1019.48	485.46
140	S-1	2.290	5.860	2.30	73.840	1491.13	648.31
	S-2	2.260	7.080	2.40	69.640	1317.23	548.84
	S-3	2.260	6.920	3.00	70.160	1314.63	438.21
	Rerata	2.200	6.620	2.56	71.220	1374.33	536.84

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII

## 6.2 Pembahasan

### 6.2.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan untuk menahan deformasi akibat menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa perkerasan tersebut mampu menahan beban lalu lintas yang besar.

Pada pengujian Marshall di laboratorium, stabilitas adalah kemampuan campuran aspal ( HRS B ) untuk menerima beban sampai terjadinya kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kilogram atau pound. Beberapa hal yang

mendukung stabilitas adalah suhu pemadatan, gradasi agregat, bentuk dan tekstur permukaan butiran serta kadar dan jenis aspal yang digunakan.

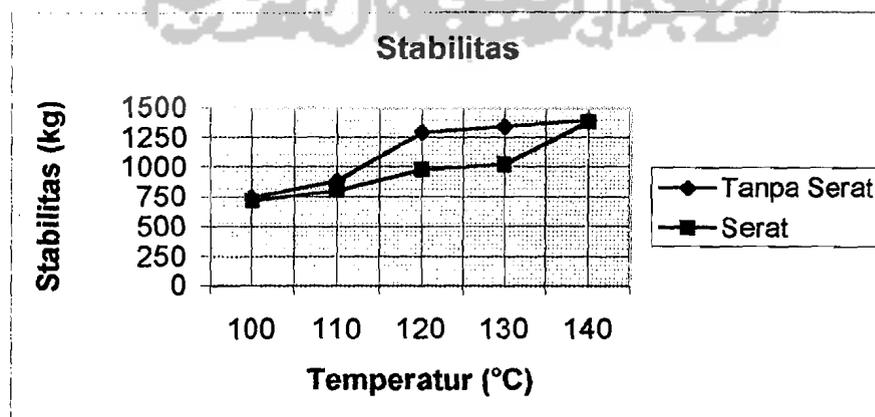
Stabilitas yang tinggi juga dicerminkan oleh adanya kerapatan campuran yang tinggi. Sedangkan kerapatan yang tinggi dapat tercapai apabila campuran dipadatkan pada temperatur pemadatan yang tinggi, karena pada temperatur yang tinggi nilai viskositas aspal rendah sehingga mudah untuk menyelimuti dan mengikat agregat sewaktu dipadatkan sehingga campuran yang dihasilkan menjadi sangat rapat.

Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai stabilitas seperti terdapat pada tabel 6.8 dan gambar 6.2 berikut ini.

Tabel 6.8 Nilai Stabilitas Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Aspal Optimum

Jenis Campuran	Stabilitas (kg)				
	Temperatur pemadatan ( $^{\circ}$ C )				
	100 $^{\circ}$ C	110 $^{\circ}$ C	120 $^{\circ}$ C	130 $^{\circ}$ C	140 $^{\circ}$ C
Tanpa Serat	746.11	880.92	1288.40	1340.30	1392.70
Dengan Serat	717.27	800.50	972.50	1019.48	1374.33

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.2 Grafik hubungan antara stabilitas dan penurunan temperatur pemadatan optimum

Berdasarkan gambar 6.2 terlihat nilai stabilitas semakin naik dengan semakin tingginya temperatur pemadatan baik campuran yang memakai serat selulosa maupun yang tidak menggunakan Serat Selulosa. Hal ini disebabkan karena jika temperatur rendah maka viskositas aspal sudah tinggi sehingga aspal sulit untuk menyelimuti dan mengikat agregat, ikatan antara agregat menjadi berkurang dan kerapatan campuran menurun menyebabkan stabilitas menurun. Setelah temperatur dinaikan terlihat stabilitas pada kedua campuran mengalami kenaikan dan naik terus berlanjut sampai temperatur pemadatan  $140^{\circ}\text{C}$ , dimana nilai stabilitas tertinggi pada campuran tanpa Serat selulosa sebesar 1390.70 kg dan nilai stabilitas tertinggi campuran dengan Serat Selulosa sebesar 1374.33 kg.

Nilai stabilitas pada kedua campuran semuanya mengalami kenaikan nilai stabilitas, tetapi nilai stabilitas yang terjadi pada campuran yang memakai Serat Selulosa lebih rendah dibanding campuran yang tidak memakai Serat Selulosa hal ini disebabkan karena Serat Selulosa dapat menyebabkan kekentalan aspal menjadi tinggi sehingga aspal sulit untuk menyelimuti dan mengikat agregat akibatnya campuran kurang padat, kenaikan stabilitas pada campuran HRS B yang ditambah Serat Selulosa juga mengalami kenaikan yang lambat dibanding dengan campuran HRS B tanpa Serat Selulosa., hal ini karena perubahan viskositas aspal menjadi lambat akibat pengaruh dari Serat Selulosa yang dapat menaikkan titik leleh aspal sehingga menjadi kurang peka terhadap temperatur. Secara umum stabilitas kedua campuran memenuhi semua spesifikasi Bina Marga yaitu mempunyai nilai stabilitas di atas 500 kg.

### 6.2.2. Flow

Kelelahan plastis (*Flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan panjang ( mm ).

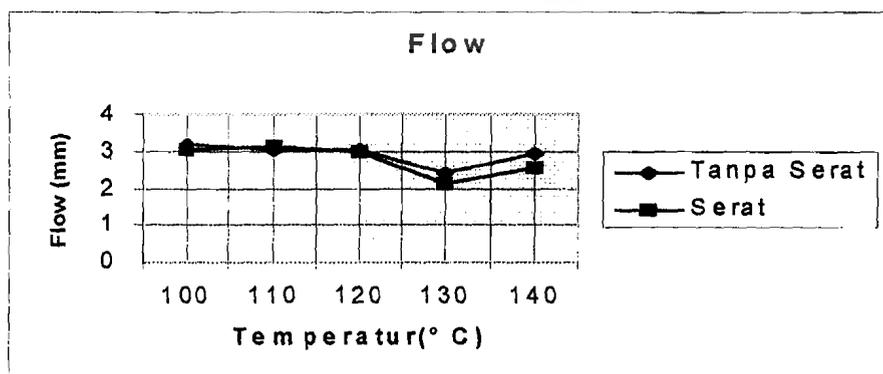
*Flow* menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada konstruksi perkerasan. Campuran yang memiliki *flow* yang rendah dan stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa campuran tersebut bersifat kaku. Sebaliknya nilai *flow* yang tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk akibat beban lalu lintas.

Dari hasil pengujian di laboratorium terhadap nilai *flow*, diperoleh hasil seperti pada tabel 6.9 dan gambar 6.3 berikut ini.

Tabel 6.9 Nilai *Flow* Hasil Pengujian Marshall Pada kadar Aspal Optimum

Jenis Campuran	Flow ( mm )				
	Temperatur pemadatan ( ° C )				
	100° C	110° C	120° C	130° C	140° C
Tanpa Serat	3.17	3.02	3.03	2.40	2.92
Dengan Serat	3.03	3.13	3.00	2.10	2.56

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.3 Grafik Hubungan *Flow* dengan Penurunan Temperatur pemadatan Optimum

Berdasarkan gambar 6.3, terlihat bahwa dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan temperatur pemadatan mengakibatkan penurunan nilai flow, hal ini disebabkan makin tinggi temperatur pemadatan, aspal makin mudah menyusup ke rongga antar butiran agregat sehingga didapat kondisi yang kompak.

Nilai *flow* kedua campuran semuanya mengalami penurunan dan sama-sama optimum pada temperatur  $130^{\circ}\text{C}$  dan kemudian mengalami kenaikan seiring bertambahnya temperatur pemadatan. Hal ini karena fungsi aspal sebagai bahan perekat pada temperatur dibawah  $130^{\circ}\text{C}$  belum maksimum menyelimuti permukaan agregat sehingga kekompakan dalam campuran berkurang yang dapat menyebabkan terjadinya deformasi akan lebih besar. Aspal pada temperatur pemadatan  $130^{\circ}\text{C}$  dapat berfungsi maksimal sebagai bahan perekat yang mampu menyelimuti seluruh permukaan agregat dengan baik dan memberikan kekompakan dalam campuran yang berakibat mengurangi terjadinya deformasi. Pada temperatur yang lebih besar dari  $130^{\circ}\text{C}$  aspal tidak dapat berfungsi dengan maksimal karena daya ikat aspal berkurang akibat proses oksidasi dan polimerisasi.

Nilai *flow* optimum Campuran HRS B yang ditambah Serat Selulosa lebih rendah dibandingkan dengan nilai *flow* pada campuran HRS B yang tidak ditambah dengan Serat Selulosa. Hal ini terjadi karena aspal pada campuran HRS B yang ditambah Serat Selulosa dapat berfungsi maksimal menyelimuti aspal karena memiliki kepekaan temperatur yang rendah sehingga kekentalan aspal lebih dapat terjaga akibatnya lebih banyak yang dapat menyusup ke celah-celah campuran.

Nilai *flow* pada campuran HRS B yang tidak ditambah Serat Selulosa memiliki nilai terendah sebesar 2,40 mm dan tertinggi sebesar 3,17 mm sedangkan nilai *flow* pada campuran dengan Serat Selulosa memiliki nilai terendah sebesar 2,10 mm dan nilai *flow* tertinggi sebesar 3,13 mm sehingga secara umum nilai *flow* hasil penelitian memenuhi persyaratan Bina Marga sebesar 2 – 4 mm.

### 6.2.3. *Void In Total Mix* ( VITM )

VITM adalah banyaknya rongga yang ada pada suatu campuran yang dipengaruhi oleh gradasi agregat, temperatur pemadatan, energi pemadatan dan kadar dan jenis aspal. Nilai VITM juga berpengaruh terhadap kekedapan campuran yaitu kekedapan terhadap udara dan air. Nilai VITM yang besar menunjukkan bahwa rongga yang terjadi dalam campuran semakin besar, akibatnya aspal akan mudah teroksidasi sehingga campuran bersifat getas sehingga dapat mengurangi sifat keawetan terhadap pengaruh air dan udara. Dalam campuran harus tersedia cukup rongga yang terisi udara yang fungsinya untuk menyediakan ruang gerak bagi unsur-unsur dalam campuran sesuai dengan keelastisan bahan penyusunnya. Sebaliknya apabila nilai VITM makin kecil berarti campuran tersebut semakin padat dan rapat dengan nilai kekakuan tinggi. Keadaan ini dapat menyebabkan terjadinya retak-retak pada lapis perkerasan, karena tidak cukup lentur untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas.

Nilai VITM yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah 3 % - 6 %. Lapis Keras yang mempunyai nilai VITM kurang dari 3 % akan mudah terjadi *bleeding*. Semakin tingginya temperatur perkerasan, aspal akan mudah mencair dan pada

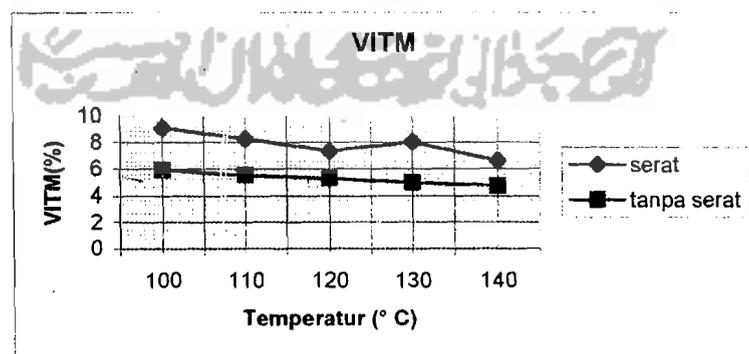
saat perkerasan menerima beban, aspal yang mencair akan mengalir diantara rongga agregat, jika dalam campuran tidak memiliki rongga yang cukup maka aspal akan naik ke permukaan perkerasan yang menyebabkan terjadinya *bleeding*. Sebaliknya nilai VITM yang lebih besar dari 6 % menunjukkan bahwa rongga yang terjadi dalam campuran banyak sehingga campuran tidak rapat dan tidak kedap terhadap udara dan air, hal ini menyebabkan aspal mudah teroksidasi yang berakibat melemahnya ikatan aspal terhadap agregat.

Berdasarkan hasil penelitian didapat nilai VITM seperti terdapat pada tabel 6.10 dan gambar 6.4 berikut ini.

Tabel 6.10 Nilai VITM (%) Hasil Pengujian Marshall

Jenis Campuran	VITM (%)				
	Temperatur pemadatan ( $^{\circ}$ C)				
	100 $^{\circ}$ C	110 $^{\circ}$ C	120 $^{\circ}$ C	130 $^{\circ}$ C	140 $^{\circ}$ C
Tanpa Serat	5.9477	5.5259	5.3000	4.9545	4.7127
Dengan Serat	9.110	8.290	7.370	8.040	6.620

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.4 Grafik Hubungan VITM dengan Temperatur Pemadatan

Berdasarkan gambar 6.4 terlihat bahwa semakin tingginya temperatur pemadatan maka nilai VITM semakin turun. Hal ini disebabkan karena rongga

udara yang terbentuk/terjadi sudah berkurang oleh karena pada saat campuran dipadatkan pada temperatur yang tinggi, aspal semakin mudah mengisi celah-celah antara butiran agregat sehingga didapat kondisi yang rapat dan kompak.

Nilai VITM campuran HRS B menggunakan Serat Selulosa lebih besar dibandingkan dengan campuran HRS tanpa Serat Selulosa. Hal ini disebabkan karena pada campuran yang memakai Serat Selulosa Kekentalan aspal semakin tinggi dan menyebabkan bertambahnya rongga udara yang terbentuk dalam campuran sehingga meningkatkan nilai VITM.

Berdasarkan hasil penelitian ini, nilai VITM campuran HRS B tanpa Serat Selulosa pada setiap temperatur pemadatan memenuhi semua persyaratan Bina Marga ( 3 % - 6 % ), sedangkan pada campuran HRS B ditambah Serat Selulosa memiliki nilai VITM yang tidak memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu mempunyai nilai diatas 6 % sehingga campuran ini tidak dapat dijadikan parameter perencanaan campuran

#### **6.2.4. *Void Filled With Asphalt ( VFWA )***

Nilai VFWA menunjukkan banyaknya persen dari rongga yang terisi aspal. Besarnya nilai VFWA sangat berpengaruh terhadap keawetan suatu perkerasan. Untuk nilai VFWA yang besar berarti banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap udara dan air menjadi tinggi. Akan tetapi nilai VFWA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *Bleeding* karena rongga udara yang tersisa terlalu kecil sehingga jika perkerasan menerima beban, terutama pada saat temperatur yang tinggi dan viskositas aspal turun, maka

sebagian aspal akan mengisi rongga yang kosong dan jika rongga telah penuh maka aspal akan naik ke permukaan perkerasan.

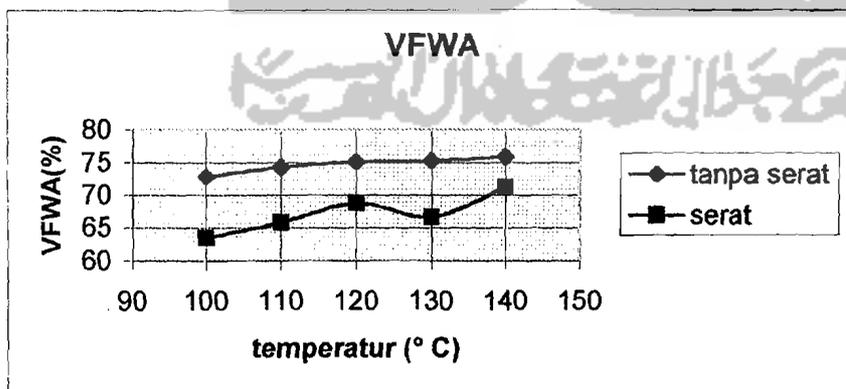
Nilai VFWA yang terlalu rendah menyebabkan kekedapan campuran menjadi berkurang karena banyaknya rongga yang kosong. Hal ini akan memudahkan masuknya udara dan air yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi sehingga daya ikat dan keawetan campuran tersebut berkurang.

Hasil penelitian di laboratorium didapat nilai VFWA seperti pada tabel 6.11 dan gambar 6.5 berikut ini.

Tabel 6.11. Nilai VFWA (%) Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Aspal Optimum

Jenis Campuran	VFWA(%)				
	Temperatur Pemadatan ( $^{\circ}$ C)				
	100 $^{\circ}$ C	110 $^{\circ}$ C	120 $^{\circ}$ C	130 $^{\circ}$ C	140 $^{\circ}$ C
Tanpa Serat	72.959	74.357	75.158	75.317	75.849
Dengan Serat	63.580	65.850	68.780	66.680	71.220

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.5 Grafik hubungan antara VFWA dengan penurunan temperatur pemadatan optimum

Pada gambar 6.5 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur pemadatan maka nilai VFWA semakin tinggi. Pada temperatur pemadatan yang tinggi

kondisi aspal lebih mudah mengisi rongga-rongga dalam campuran, sebaliknya pada temperatur pemadatan yang rendah aspal sulit mengisi rongga-rongga dalam campuran karena pada temperatur rendah viskositas aspal tinggi.

Hasil penelitian di laboratorium diperoleh nilai VFWA campuran HRS B tanpa Serat Selulosa lebih besar jika dibandingkan dengan campuran HRS B dengan Serat Selulosa. Hal ini terjadi karena Serat Selulosa menaikkan kekentalan aspal pada campuran HRS B sedangkan perubahan viskositas aspal pada campuran HRS B dengan Serat Selulosa lebih lambat dibanding dengan Campuran HRS B tanpa Serat Selulosa. Kondisi ini menyebabkan rongga-rongga dalam campuran HRS B ditambah Serat Selulosa kurang terisi oleh aspal sehingga menaikkan nilai VFWA. Pada penelitian ini nilai VFWA yang memenuhi spesifikasi dari Bina marga yaitu sebesar 75 % sampai 82 % adalah temperatur 120°C - 140°C untuk campuran HRS B tanpa Serat Selulosa sedangkan campuran dengan Serat Selulosa tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga karena kurang dari 75 % sehingga tidak dapat dijadikan parameter perencanaan campuran.

#### 6.2.5. *Density*

Nilai kepadatan campuran ( *density* ) menunjukkan derajat kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan nilai *density* yang rendah. Nilai *density* dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusunnya dan pelaksanaan pemadatan, baik temperatur pematatannya maupun jumlah tumbukannya.

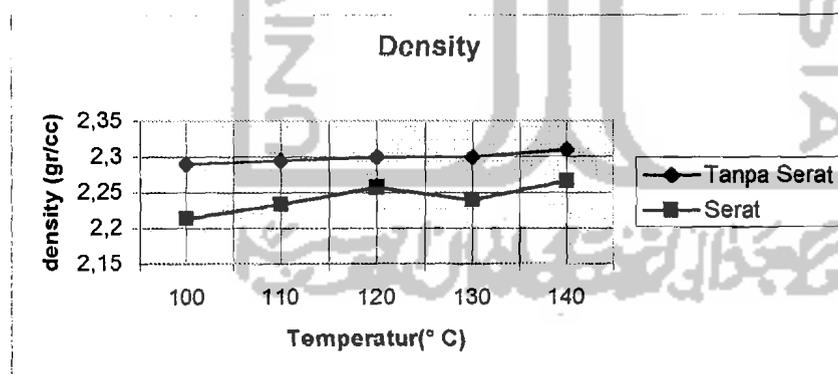
Campuran akan memiliki nilai *density* yang tinggi apabila memakai bahan yang memiliki porositas rendah serta campuran dengan rongga antar agregat yang rendah. Nilai *density* juga akan meningkat jika energi pemadatan tinggi serta pada temperatur pemadatan yang tepat. Peningkatan pemakaian kadar aspal yang cukup juga akan meningkatkan nilai *density* campuran.

Nilai *density* hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.12 dan gambar 6.6 berikut ini.

Tabel 6.12 Nilai *Density* Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Aspal Optimum

Jenis Campuran	Density (gr/cc)				
	Temperatur Pemadatan (° C)				
	100° C	110° C	120° C	130° C	140° C
Tanpa Serat	2.290	2.295	2.300	2.300	2.310
Dengan Serat	2.214	2.234	2.257	2.240	2.266

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.6 Grafik hubungan antara *density* dengan penurunan temperatur pemadatan optimum

Dari gambar 6.6 terlihat bahwa semakin tingginya temperatur pemadatan nilai *density* semakin naik. Hal ini disebabkan karena dengan naiknya temperatur pemadatan akan menyebabkan aspal dalam campuran lebih mudah menyusup/mengisi rongga dalam campuran sehingga campuran lebih padat yang berarti nilai *density* semakin bertambah pula.

Nilai density campuran HRS B yang tidak menggunakan Serat Selulosa lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang ditambah Serat Selulosa. Hal ini disebabkan karena aspal yang ditambah dengan Serat Selulosa mempunyai kekentalan yang tinggi sedangkan titik leleh yang tinggi akan menyebabkan aspal kurang peka terhadap perubahan temperatur. Viskositas aspal yang ditambah Serat Selulosa mengalami perubahan yang lebih lambat dibanding campuran tanpa Serat Selulosa, sedangkan kekentalan yang tinggi aspal kurang dapat mengisi rongga-rongga dalam campuran sehingga campuran kurang rapat dan padat. Hal ini akan menyebabkan nilai density yang lebih besar. Secara umum nilai density masih dapat diterima karena tidak ada persyaratan umum yang ditentukan terhadap nilai density oleh Bina Marga.

#### 6.2.6. *Marshall Qoutient ( MQ )*

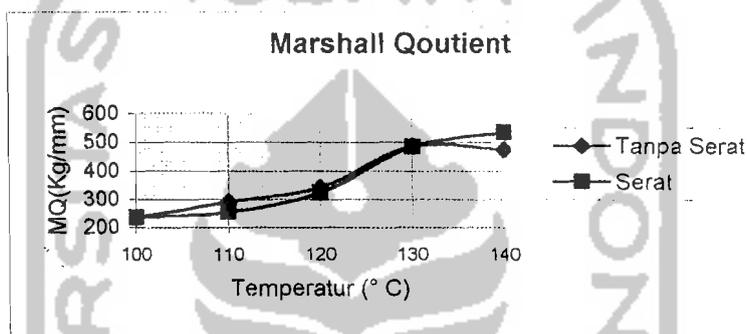
Marshall Qoutient merupakan hasil bagi antara stabilitas dan flow yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran. Stabilitas yang tinggi disertai dengan kelelehan yang rendah akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku dan bersifat getas, sebaliknya stabilitas yang rendah dengan kelelehan yang tinggi menunjukkan campuran yang terlalu plastis yang menyebabkan perkerasan akan mengalami deformasi yang besar, bila menerima beban lalu lintas.

Hasil pengujian di laboratorium didapat nilai Marshall Qoutient seperti pada tabel 6.13 dan gambar 6.7 berikut ini.

Tabel 6.13 Nilai Marshall Qoutient ( kg/mm ) Hasil Pengujian Marshall

Jenis Campuran	Marshall Qoutient ( kg/mm )				
	Temperatur Pematatan(° C)				
	100° C	110° C	120° C	130° C	140° C
Tanpa Serat	235.36	291.69	341.81	486,69	476,95
Dengan Serat	236.48	255.50	324.23	485.46	536.84

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.7 Grafik hubungan antara Marshall Qoutient dengan temperatur pematatan

Dari gambar 6.7 terlihat bahwa variasi temperatur pematatan akan memberikan pengaruh terhadap lapis keras. Dengan naiknya temperatur pematatan memberikan nilai Marshall Qoutient yang semakin besar. Namun dengan penambahan temperatur pematatan tidak berarti memberikan nilai yang baik pada karakteristik perkerasan, karena nilai Marshall Qoutient yang terlalu tinggi akan menjadikan perkerasan menjadi kaku atau getas.

Nilai Marshall Qoutient hasil penelitian di laboratorium menunjukkan bahwa nilai Marshall Qoutient pada campuran HRS B tanpa Serat lebih besar dibanding dengan campuran tanpa Serat Selulosa hal ini disebabkan karena pada campuran HRS B yang tidak ditambah Serat Selulosa stabilitas campuran lebih tinggi karena campuran lebih kompak dan rapat akibat aspal pada campuran HRS B

yang tidak ditambah Serat Selulosa berfungsi maksimum sehingga dapat menyelimuti agregat dengan maksimal, sebaliknya nilai flow lebih rendah akibat nilai kekakuan campuran HRS B yang tidak ditambah Serat Selulosa lebih tinggi sehingga kemungkinan terjadinya deformasi lebih kecil. Nilai *Marshall Qoutient* Pada campuran HRS B yang tidak ditambah Serat selulosa mencapai optimum pada temperatur pemadatan 130° C dengan nilai sebesar 486,69 kg/mm, sedangkan campuran ditambah Serat Selulosa belum mencapai optimum dan semakin membesar dengan nilai maksimum sebesar 536,84 kg/mm. Nilai *Marshall Qoutient* pada spesifikasi memiliki persyaratan umum sebesar 180 kg/mm -- 500 kg/mm sesuai persyaratan Bina marga/CQCMU 1988.

### 6.3. Evaluasi Hasil Laboratorium Terhadap Spesifikasi

Dari hasil penelitian temperatur pemadatan baik pada campuran HRS B yang ditambah dengan Serat Selulosa maupun yang tidak ditambah dengan Serat Selulosa, kemudian disesuaikan dengan spesifikasi dari Bina Marga terhadap persyaratan untuk HRS B yang meliputi nilai stabilitas, *flow*, VITM dan VFWA menunjukkan bahwa pengaruh temperatur pemadatan pada campuran HRS B menyebabkan perubahan nilai-nilai marshall sedangkan penambahan Serat Selulosa pada campuran HRS B tidak dapat dijadikan parameter perencanaan untuk menentukan batasan dalam menentukan temperatur pemadatan, hal ini disebabkan karena nilai ViTM dan VFWA tidak terpenuhi.

Dari hasil penelitian terhadap campuran HRS B tanpa Serat Selulosa, temperatur pemadatan yang masih memenuhi persyaratan Bina Marga adalah seperti terlihat pada tabel 6.14 sebagai berikut ini.

Tabel 6.14. Hasil Test Marshall terhadap Temperatur Pemadatan

Persyaratan BINA MARGA	Variasi Temperatur Pemadatan ( ° C )				
	100	110	120	130	140
Stabilitas ≥ 500 kg					
Flow ( 2 - 4 )					
VITM ( 3% - 6% )					
VFWA ( 75% - 82% )					
MQ (180 -500 kg/mm )					

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UJI

Dari tabel 6.14 di atas dapat dijelaskan bahwa temperatur pemadatan untuk campuran HRS B yang memenuhi persyaratan Bina Marga adalah pada temperatur pemadatan 120° C - 140° C. Hal ini berarti bahwa pemadatan yang dilakukan ( *Breakdown Rolling* ) harus sudah dilaksanakan pada rentang temperatur 120° C hingga 140° C, apabila pemadatan dilaksanakan dibawah temperatur tersebut akan menyebabkan terjadinya penurunan nilai-nilai Marshall sehingga mutu perkerasan tidak memenuhi persyaratan. Hasil ini juga memenuhi temperatur pemadatan minimal untuk campuran HRS B sebesar 120° C.

#### 6.4. Modulus Kekakuan

Nilai kekakuan bitumen ( *Stiffness modulus of bitument* ) tergantung pada lama pembebanan dan temperatur. Kekakuan bitumen akan berpengaruh pada kekakuan campuran yang selanjutnya akan mempengaruhi kemampuan menyebarkan beban lapis perkerasan. Pada bab ini akan ditinjau nilai kekakuan

bitumen dan kekakuan campuran dengan metode Shell dan metode Heukellom and Klomp.

#### 6.4.1 Kekakuan Bitumen ( *Bitumen Stiffness* )

Nilai kekakuan Bitumen ( *Stiffness modulus of bitument* ) yaitu perbandingan antara tegangan dan regangan pada bitumen yang besarnya tergantung pada temperatur dan lama pembebanan. Pada perhitungan nilai kekakuan bitumen digunakan parameter yang disesuaikan dengan kondisi alam dan karakteristik lalu lintas di Indonesia maka dapat ditetapkan berikut ini.

1. Temperatur perkerasan (  $T$  ) yang digunakan adalah temperatur perkerasan rata-rata di Indonesia yaitu  $35^{\circ} \text{C}$ .
2. Panjang jejak roda kendaraan (  $l$  ) diasumsikan sebesar 25 cm.
3. Kecepatan kendaraan (  $v$  ) diasumsikan sebesar 50 km/jam

Metode yang digunakan dalam perhitungan adalah dengan menggunakan nomogram Van Der Pool dan persamaan yang diturunkan oleh Ullidz.

##### 6.4.1.1 Kekakuan Bitumen dengan Menggunakan Nomogram Van Der Pool

Contoh Perhitungan :

- a.  $t = l/v$  ( detik )  
 $= 0,25 \cdot 3600 / 50000$   
 $= 0,018$  detik.
- b. Titik Lembek Aspal =  $49^{\circ} \text{C}$
- c. Penetrasi aspal pada temperatur  $25^{\circ} \text{C}$  (  $P_i$  ) = 65 ( 0,1 mm )
- d. Temperatur antara (  $Trb - T$  ) $^{\circ} = 49 - 35 = 14^{\circ} \text{C}$
- e. *Penetration Index* (  $PI_r$  )

$$PI_r = \frac{27 \log P_i - 21,65}{.76,35 \log P_i - 232,82}$$

$$P_{Pr} = \frac{27 \log 65 - 21,65}{76,35 \log 65 - 232,82}$$

$$P_{Pr} = -0,289$$

Dari data ( a ), ( d ) dan ( e ) dapat dicari nilai kekakuan bitumen dengan menggunakan nomogram Van Der Pool ( gambar 3.1 ) sehingga diperoleh nilai kekakuan bitumen ( S bit ) sebesar  $2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ .

#### 6.4.1.2 Kekakuan Bitumen dengan Menggunakan Persamaan Ullidz

$$P_r = 0,65 P_i$$

$$= 0,65 \cdot 65$$

$$= 42,25 (0,1 \text{ mm})$$

$$S_{Pr} = 98,4 - 26,35 \log P_r$$

$$= 98,4 - 26,35 \log 42,25$$

$$= 55,56 (0,1 \text{ mm})$$

$$S_b = 1,157 \cdot 10^{-7} \cdot t^{-0,368} \cdot 2,718^{-P_{Pr}} \cdot (S_{Pr} - T)^5$$

$$= 1,157 \cdot 10^{-7} \cdot 0,018^{-0,368} \cdot 2,718^{-(-0,289)} \cdot (55,56 - 35)^5$$

$$= 2,488895832 \text{ Mpa}$$

$$= 2,48 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

Dilihat dari kedua hasil tersebut diatas untuk mencari nilai kekakuan bitumen baik yang menggunakan nomogram Van Der Pool maupun dengan menggunakan persamaan Ullidz didapatkan hasil yang tidak jauh berbeda.

Nilai kekakuan bitumen yang didapat akan semakin mengecil apabila dipakai temperatur perkerasan yang semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan sifat dari bitumen yaitu bersifat *thermoplastic* dimana semakin tinggi temperatur bitumen

maka viscositasnya semakin menurun sehingga modulus kekakuan bitumen akan menurun.

Sedangkan pada temperatur yang sama tetapi dipakai kecepatan kendaraan yang berbeda akan menghasilkan nilai yang berbeda pula. Semakin besar kecepatan kendaraan akan semakin besar pula modulus kekakuan yang terjadi. Hal ini berhubungan dengan bitumen yang bersifat *rheologic* yaitu hubungan antara tegangan dan regangan yang dipengaruhi oleh waktu.

#### 6.4.2 Kekakuan Campuran ( *Mix Stiffness* )

Kekakuan campuran adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada campuran aspal beton yang besarnya tergantung pada temperatur dan lamanya pembebanan. Metode yang digunakan dalam menentukan kekakuan campuran pada penelitian ini adalah dengan metode Shell dan metode Heukelom dan Klom.

##### 6.4.2.1 Kekakuan Campuran dengan Metode Shell

Sebagai contoh perhitungan, digunakan data dari sampel benda uji untuk campuran IRS B dengan kadar aspal 6,5 %. Data yang diperlukan tersebut adalah seperti dibawah ini.

- Kekakuan bitumen (  $S_{bit}$  ) =  $2 \cdot 10^6$  N/m<sup>2</sup>
- Perbandingan berat agregat dengan berat total campuran (  $M_A$  ) = 93,5 %
- Perbandingan berat bitumen dengan berat total campuran (  $M_B$  ) = 6,5 %
- Berat jenis campuran agregat (  $G_a$  ) = 2,713
- Berat jenis bahan ikat aspal (  $G_b$  ) = 1,054

- Berat volume campuran padat ( $\gamma_m$ ) = 2,310 T/m<sup>3</sup>
- Berat volume air ( $\gamma_w$ ) = 1,0 T/m<sup>3</sup>

$$\gamma_{\max} = \frac{100 \cdot \gamma_w}{(M_B / G_b) + (M_A / G_a)}$$

$$= \frac{100 \cdot 1,0}{(6,5/1,054) + (93,5/2,713)}$$

$$= 2,461 \text{ T/m}^3$$

$$V_v = \frac{(\gamma_{\max} - \gamma_m) \cdot 100}{\gamma_{\max}}$$

$$= \frac{(2,461 - 2,310) \cdot 100}{2,461}$$

$$= 6,143 \%$$

$$V_b = \frac{(100 - V_v) \cdot (M_B / G_b)}{(M_B / G_b) + (M_A / G_a)}$$

$$= \frac{(100 - 6,143) \cdot (6,5/1,054)}{(6,5/1,054) + (93,5/2,713)}$$

$$= 14,245 \%$$

$$V_v + V_b + V_g = 100 \%$$

$$V_g = 100 \% - 6,143 \% - 14,245 \%$$

$$= 79,611 \%$$

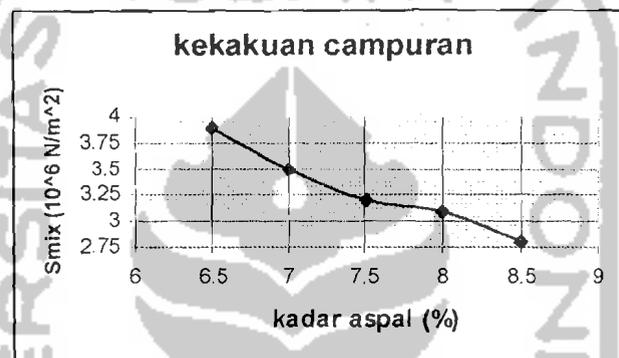
Dari hasil perhitungan diatas, dapat diketahui nilai kekakuan campuran dengan nomogram Shell pada gambar 3.3 maka diperoleh nilai kekakuan campuran ( $S_{mix}$ ) sebesar  $3,90 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

Hasil perhitungan selengkapnya pada kekakuan campuran HRS B terhadap variasi kadar aspal dan campuran HRS B yang menggunakan Serat selulosa

Tabel 6.15 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Metode Shell

Campuran HRS B	Vv (%)	Vb (%)	Vg (%)	Smix ( N/m <sup>2</sup> )
Kadar Aspal 6,5 %	6,143	14,245	79,611	3,90 . 10 <sup>6</sup> N./m <sup>2</sup>
" 7,0 %	5,514	15,335	79,151	3,50 . 10 <sup>6</sup> N./m <sup>2</sup>
" 7,5 %	3,978	16,579	79,441	3,20 . 10 <sup>6</sup> N./m <sup>2</sup>
" 8,0 %	3,219	17,700	79,079	3,10 . 10 <sup>6</sup> N./m <sup>2</sup>
" 8,5 %	2,919	18,733	78,346	2,80 . 10 <sup>6</sup> N./m <sup>2</sup>
7,375 % ( Tanpa Serat )	5,381	16,093	78,254	2,90 . 10 <sup>6</sup> N./m <sup>2</sup>
7,375 % ( Serat )	8,097	15,673	76,228	2,85 . 10 <sup>6</sup> N./m <sup>2</sup>

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.8 Grafik hubungan kekakuan campuran menggunakan metode Shell dengan kadar aspal campuran HRS-B

#### 6.4.2.2 Kekakuan Campuran dengan Metode Heukellom dan Klomp

Metode ini merupakan cara analitis yang diturunkan oleh Heukellom dan Klomp berdasarkan data-data dari suatu campuran. Sebagai contoh perhitungan, digunakan sampel benda uji untuk campuran HRS B dengan kadar aspal 6,5 % dengan data campuran seperti dibawah ini.

- Prosentase volume pori ( Vv ) = 6,143 %
- Prosentase volume bitumen ( Vb ) = 14,245 %
- Prosentase volume agregat ( Vg ) = 79,611 %

$$Cv = \frac{Vg}{Vg + Vb}$$

$$= \frac{79,611}{79,611 + 14,245}$$

$$= 0,848$$

Karena harga  $Vv > 3\%$ , maka dicari harga  $Cv'$

$$Cv' = \frac{Cv}{1 + 0,01(Vv - 3)}$$

$$= \frac{0,848}{1 + 0,01(6,143 - 3)}$$

$$= 0,822$$

$$Cb = \frac{Vb}{Vg + Vb}$$

$$= \frac{14,245}{79,611 + 14,245}$$

$$= 0,151$$

Syarat  $Cb > 2/3 \cdot (1 - Cv')$

$$Cb > 2/3 \cdot (1 - 0,822)$$

$$0,151 > 0,101$$

$$n = 0,83 \log (4 \cdot (10^{10}/S_{bit}))$$

$$= 0,83 \log (4 \cdot \frac{10^{10}}{S_{bit}})$$

$$= 3,070$$

$$S_{mix} = S_{bit} \left[ 1 + \frac{2,5}{n} \cdot \frac{Cv'}{(1 - Cv')} \right]^n$$

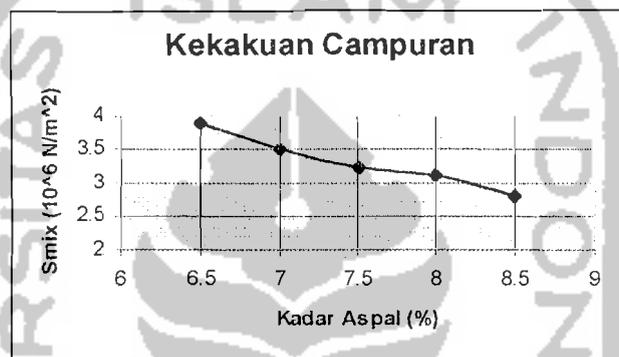
$$= 2 \cdot 10^6 \left[ 1 + \frac{2,5}{3,070} \cdot \frac{0,822}{(1 - 0,822)} \right]^{3,070}$$

$$= 3,85 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

Tabel 6.16 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Metode Heukellom dan Klomp

Campuran HRS B	Cv	Cv'	Cb	Smix ( N/m <sup>2</sup> )
Kadar Aspal 6,5 %	0,848	0,822	0,151	3,90 . 10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup>
" 7,0 %	0,837	0,817	0,162	3,16 . 10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup>
" 7,5 %	0,827	0,819	0,172	2,63 . 10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup>
" 8,0 %	0,817	0,815	0,182	2,22 . 10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup>
" 8,5 %	0,807	0,807	0,192	1,89 . 10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup>
7,375 % ( Tanpa Serat )	0,829	0,810	0,170	2,75 . 10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup>
7,375 % ( Serat )	0,829	0,781	0,170	2,73 . 10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup>

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII



Gambar 3.9 Grafik hubungan kekakuan campuran menggunakan metode Heukellom dan Klomp

Dari tabel 6.15 dan tabel 6.16 terlihat bahwa nilai kekakuan untuk campuran HRS B yang ditambah Serat Selulosa lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran HRS B tanpa Serat Selulosa, hal ini akibat fungsi Serat Selulosa mengakibatkan kekentalan aspal menjadi tinggi atau tingkat kecairan dari aspal menjadi berkurang sehingga apabila dipadatkan akan menjadi lebih sulit dan kurang rapat dengan demikian volume pori dalam campuran menjadi lebih banyak sedangkan disisi lain fungsi Serat Selulosa dapat menyebabkan ketahanan aspal terhadap perubahan temperatur menjadi baik akibatnya kekentalan aspal mengalami perubahan secara lambat.