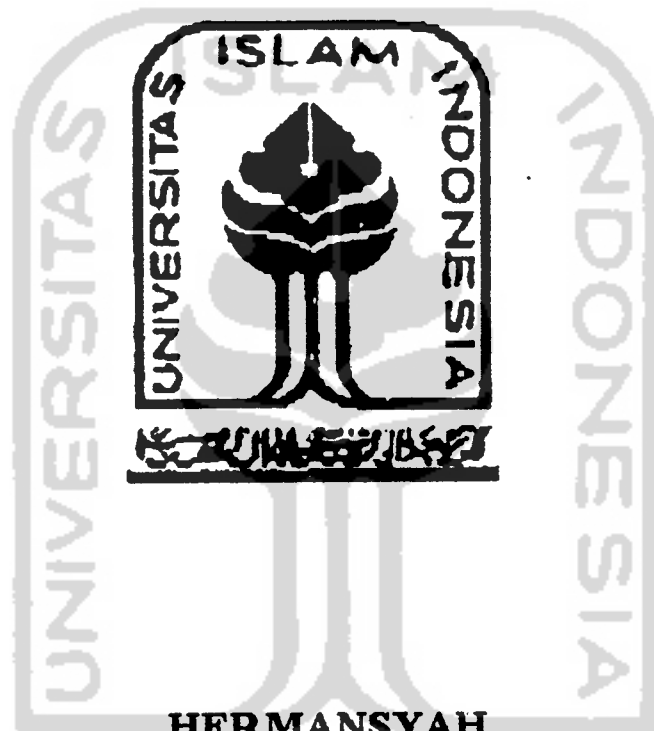


**TUGAS AKHIR  
PENELITIAN LABORATORIUM**

**PENGARUH VARIASI PEMADATAN  
TERHADAP PERILAKU SPLIT MASTIC ASPHALT  
DITAMBAH SERAT SELULOSA (SMA + S)  
DENGAN GRADASI IDEAL**



**HERMANSYAH  
No. Mhs. 90310096  
NIRM. 900051013114120081**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
1996**



TUGAS AKHIR  
PENELITIAN LABORATORIUM

**PENGARUH VARIASI PEMADATAN  
TERHADAP PERILAKU SPLIT MASTIC ASPHALT  
DITAMBAH SERAT SELULOSA (SMA + S)  
DENGAN GRADASI IDEAL**



DISUSUN OLEH :

HERMANSYAH  
90 310 096

TIM PENGUJI :

1. IR. H. WARDHANI S, MSc
2. IR. H. BACHNAS, MSc
3. IR. ENDANG TANTRAWATI, MT

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
1996**

TUGAS AKHIR  
PENELITIAN LABORATORIUM

# PENGARUH VARIASI PEMADATAN TERHADAP PERILAKU SPLIT MASTIC ASPALT DENGAN GRADASI IDEAL

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji dalam ujian pendadaran  
pada tanggal : 23 Agustus 1996 dan dinyatakan Lulus  
Yogyakarta 23 Agustus 1996



Disusun Oleh :

HERMANSYAH  
90 310 096

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Wardhani S, MSc.

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Bachnas, MSC.

Dosen Pembimbing II

Tanggal : 28

Tanggal : 29-8-96

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Yang Maha Pengasih atas segala karunia yang telah dilimpahkan kepada penyusun, sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Pengaruh Variasi Pematatan Terhadap Perilaku Split Mastic Asphalt Ditambah Serat Selulosa (SMA+S) Dengan Gradasi Ideal.

Tugas Akhir merupakan kewajiban bagi para mahasiswa yang telah mendapat persetujuan pihak jurusan sesuai dengan syarat-syarat yang berlaku, guna melengkapi tugas-tugas serta mencapai gelar Sarjana pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam menyusun laporan ini, tentu akan ditemukan kekurangan-kekurangan yang disebabkan terbatasnya penyusun, baik kemampuan berupa ilmu dan wawasan serta kemampuan menuangkan ide kedalam bentuk tulisan.

Oleh karena itu, segala koreksi yang bertujuan memperbaiki laporan ini, akan penyusun terima dengan senang hati.

Dalam proses Tugas Akhir ini, penyusun banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, baik moril maupun teknis. Sehubungan dengan itu penyusun menghaturkan terima kasih, khususnya kepada :

1. Bapak dan Ibu sekeluarga, yang dengan tulus ikhlas mendoakan dan mengantarkan pendidikan anaknya.

2. Bapak Ir. Susastrawan, MS, Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. H. Wardani Sartono, MSc, Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. H. Bachnas, MSc, Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
6. Seluruh staf dan karyawan dilingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
7. Berbagai pihak yang tak dapat penyusun sebut satu persatu.

Mudah-mudahan segala amal bapak dan ibu serta berbagai pihak yang telah membantu, mendapatkan nilai ibadah yang saleh dari Allah SWT. Yang Maha Adil lagi Luas Ilmunya.

Yogyakarta, Juli 1996

Penyusun

1. Hermansyah

2. M. Suharto

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	viii
INTISARI .....	ix
BAB I : PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Manfaat Penelitian .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1. Aspal .....	3
2.2. Agregat .....	4
2.2.1. Ditinjau dari asal kejadiannya..	5
2.2.2. Berdasarkan proses pengolahannya	6
2.2.3. Berdasarkan besar partikel-parti	
kel agregat .....	8
2.3. Filler .....	9
2.4. Bahan Tambah .....	13
2.5. Split Mastic Asphalt (SMA) .....	16
2.6. Modulus Kekakuan .....	18
2.6.1. Kekakuan bitumen .....	18
2.6.2. Kekakuan campuran .....	21
BAB III : LANDASAN TEORI .....	26
3.1. Konstruksi Perkerasan .....	26

	3.2.	Karakterisrik Campuran Split Mastic Asphalt dengan bahan tambah serat Selulosa (SMA+S) .....	28
	3.2.1.	Stabilitas .....	29
	3.2.2.	Keawetan .....	30
	3.2.3.	Kelenturan .....	31
	3.2.4.	Kekesatan .....	31
	3.2.5.	Tahanan kelelahan .....	31
	3.2.6.	Kemudahan pelaksanaan .....	32
	3.3.	Syarat-syarat Kekuatan/ Struktur ..	32
	3.4.	Split Mastic Asphalt .....	33
	3.4.1.	Pengertian umum .....	33
	3.4.2.	Spesifikasi teknik .....	33
	3.4.3.	Sifat-sifat SMA .....	34
	3.4.4.	Bahan pendukung .....	35
BAB	IV :	HIPOTESA .....	44
BAB	V :	CARA PENELITIAN .....	45
	5.1.	Bahan .....	45
	5.1.1.	Asal bahan .....	45
	5.1.2.	Persyaratan dan pengujian bahan .....	45
	5.2.	Perencanaan Campuran Ideal .....	50
	5.2.1.	Gradasi agregat ideal .....	50
	5.2.2.	Kadar serat selulosa optimum ..	50
	5.2.3.	Kadar aspal optimum .....	51
	5.3.	Tahap Pelaksanaan Pengujian .....	51
	5.3.1.	Persiapan benda uji .....	51

5.3.2. Peralatan .....	53
5.3.3. Persiapan pengujian .....	54
5.3.4. Cara pengujian .....	55
5.3.5. Anggapan dasar .....	55
5.3.6. Cara analisis .....	56
BAB VI : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	60
6.1. Hasil Penelitian .....	60
6.1.1. Hasil pengujian bahan .....	60
6.1.2. Hasil pengujian kadar aspal optimum .....	61
6.1.3. Hasil pengujian .....	63
6.2. Pembahasan .....	65
6.2.1. Pengaruh terhadap kepadatan ...	65
6.2.2. Pengaruh terhadap VIM .....	66
6.2.3. Pengaruh terhadap VFWA .....	67
6.2.4. Pengaruh terhadap stabilitas ..	69
6.2.5. Pengaruh terhadap flow .....	70
6.2.6. Pengaruh terhadap nilai QM ....	70
6.2.7. Modulus kekakuan bitumen .....	71
6.2.8. Modulus kekakuan campuran .....	73
BAB VII : KESIMPULAN DAN SARAN .....	76
7.1. Kesimpulan .....	76
7.2. Saran-saran .....	77
PENUTUP .....	79
DAFTAR PUSTAKA .....	80
LAMPIRAN-LAMPIRAN	



## DAFTAR TABEL

1. Tabel 3.1. Gradasi agregat Split Mastic Asphalt dengan bahan tambah serat Selulosa ...	36
2. Tabel 3.2. Hasil pemeriksaan aspal AC 60-70 .....	38
3. Tabel 3.3. Gradasi material filler .....	41
4. Tabel 3.4. Hasil pengujian serat Selulosa .....	43
5. Tabel 5.1. Gradasi Split Mastic Asphalt dari Bina Marga .....	50
6. Tabel 5.2. Angka koreksi tebal benda uji .....	59
7. Tabel 6.1. Persyaratan agregat kasar dan hasil pengujian laboratorium .....	60
8. Tabel 6.2. Persyaratan agregat halus dan hasil pengujian laboratorium .....	60
9. Tabel 6.3. Persyaratan aspal AC 60-70 dan hasil penelitian laboratorium .....	61
10. Tabel 6.4. Hasil tes Marshall dengan variasi aspal .....	62
11. Tabel 6.5. Hasil tes Marshall variasi tumbukan ..	65
12. Tabel 6.6. Perhitungan campuran dari nomogram Shell .....	75

## DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1.	Nomogram untuk menetapkan kekakuan bitumen (S bit) .....	19
2. Gambar 2.2.	Nomogram penentuan kekakuan campuran .....	25
3. Gambar 3.1.	Grafik analisa gradasi campuran Split Mastic Asphalt .....	37
4. Gambar 6.2.	Nilai variasi pemadatan dengan Density .....	66
5. Gambar 6.2.	Nilai variasi pemadatan dengan VIM .....	67
6. Gambar 6.3.	Nilai variasi pemadatan dengan VFWA .....	68
6. Gambar 6.4.	Nilai variasi pemadatan dengan Stabilitas .....	69
7. Gambar 6.5.	Nilai variasi pemadatan dengan Flow .....	70
8. Gambar 6.6.	Nilai variasi pemadatan dengan Quotient Marshall .....	71

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Pemeriksaan keausan agregat.
- Lampiran 2 : Pemeriksaan berat jenis agregat kasar.
- Lampiran 3 : Pemeriksaan berat jenis agregat halus.
- Lampiran 4 : Pemeriksaan berat jenis aspal.
- Lampiran 5 : Pemeriksaan penetrasi aspal.
- Lampiran 6 : Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar aspal.
- Lampiran 7 : Pemeriksaan titik lembek aspal.
- Lampiran 8 : Pemeriksaan daktilitas.
- Lampiran 8 : Pemeriksaan kelekatan aspal.
- Lampiran 8 : Pemeriksaan kelarutan dalam CCL<sub>4</sub>.
- Lampiran 8 : Pemeriksaan sand equivalent.
- Lampiran 9 & 10 : Hasil tes Marshall.

## INTISARI

Untuk memenuhi tuntutan lalu lintas yang semakin kompleks dewasa ini terutama di bidang peningkatan kualitas jalan yang kuat, awet, efisien, ekonomis, maka diperlukan suatu teknologi yang mampu mengatasi kelemahan-kelemahan pada kualitas konstruksi perkerasan jalan raya. Teknologi Split Mastic Asphalt dengan bahan tambah serat Selulosa (SMA+S) dianggap mampu mengatasi kelemahan-kelemahan yang terjadi pada struktur lapis permukaan jalan raya.

Penelitian ini bermaksud meneliti kemungkinan tersebut dengan cara menganalisa perilaku campuran Split Mastic Asphalt dengan gradasi Ideal apabila digunakan pada variasi pemadatan dengan semen portland sebagai fillernya. Perilaku campuran Split Mastic Asphalt tersebut diukur dari nilai-nilai kepadatan (density), persentase rongga dalam campuran (VIM), persentase rongga terisi asphalt (VFWA), stabilitas, kelelahan (flow), dan QM (quotient marshall), yang diketahui dengan melakukan pengujian marshall ("Marshall Test") terhadap benda uji campuran Split Mastic Asphalt.

Dari hasil penelitian variasi pemadatan pada SMA+S dengan 50x, 60x, 70x dan 80x pukulan pada kadar aspal optimum yaitu 6,65 %, menunjukkan bahwa nilai optimum adalah berada diantara 54 sampai dengan 74 pukulan untuk lalu lintas berat.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dalam pelaksanaan pembangunan jalan raya dewasa ini ternyata dihadapkan pada tantangan peningkatan kualitas, baik terhadap jalan yang akan dibangun ataupun pemeliharannya.

Selain kendala terhadap kebutuhan yang terus meningkat, tetapi juga menghadapi dana yang terbatas, maka harus dipilih suatu cara paling efisien dan ekonomis untuk memperoleh suatu hasil yang optimum.

Salah satu teknologi yang tengah dikembangkan saat ini untuk menjawab tantangan tersebut adalah teknologi Split Mastic Asphalt (SMA). Setelah diadakan berbagai percobaan dan penerapan ternyata split mastic asphalt (SMA) dapat mengatasi kelemahan pada lapisan laston (aspal beton) atau laston (HRS) yang umumnya dipakai di Indonesia.

Teknologi ini berasal dari Jerman dan saat ini telah berkembang menjadi teknologi konstruksi yang kehandalannya telah diakui para pakar dan praktisi jalan hampir diseluruh dunia.

Oleh pemerintah Indonesia melalui Direktorat Jendral Bina Marga telah mengembangkan salah satu dari split mastic asphalt, yakni SMA grading 0/11.

Seperti halnya konstruksi beton aspal yang lainnya, split mastic asphalt juga dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusunnya yang berupa agregat dan aspal. Untuk mempengaruhi suatu lapis keras yang berkualitas tinggi selain kualitas bahan, faktor perencanaan dan pelaksanaan penting untuk diperhatikan, baik pada saat pencampuran, penghamparan, maupun pemadatan.

Pemadatan di lapangan sangat perlu diperhatikan untuk memenuhi suatu spesifikasi oleh karena itu diperlukan suatu penelitian pemadatan yang optimal sehingga didapatkan suatu hasil pemadatan yang optimum, efisien dan ekonomis.

### **1.2. Manfaat Penelitian**

Memberikan gambaran seberapa jauh pengaruh pemadatan terhadap perilaku split mastic asphalt sehingga dapat digunakan sebagai bahan masukan pada pelaksanaan pemadatan split mastic asphalt yang tergolong baru saat ini.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh yang terjadi terhadap perilaku split mastic asphalt yang disebabkan oleh variasi jumlah pukulan terhadap tes Marshall.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Aspal**

Aspal yang juga disebut bitumen didefinisikan sebagai bahan berwarna coklat tua atau hitam, yang pada temperatur ruang berbentuk semi padat atau padat. Aspal tersusun dari asphaltenes dan maltenes, sedangkan maltenes terdiri dari resins dan oils. Jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada saat penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam.

Aspal yang digunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai :

1. Daya tahan/keawetan (durability), adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan lain sebagainya.
2. Adhesive dan cohesive, Adhesive adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan agregat yang baik antara agregat dengan

aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat agar tetap ditempatnya setelah terjadi pengikatan.

3. Kepekaan terhadap temperatur, aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental bila temperatur berkurang dan akan lebih lunak atau lebih cair bila temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap temperatur.
4. Kekerasan aspal, aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal atau aspal panas disiramkan kepermukaan agregat yang telah disiapkan pada proses peleburan. Pada waktu proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi). Jadi selama masa pelayanan aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis aspal semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi.

## 2.2. Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, pasir atau mineral lainnya baik berupa agregat hasil pengolahan maupun agregat alam. Pemilihan jenis agregat



yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi parkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor: tekstur permukaan, porositas, kelekatan terhadap aspal dan kebersihan.

Secara umum agregat diklasifikasikan menurut :

### 2.2.1. Ditinjau dari asal kejadiannya

Agregat ditinjau dari asal kejadiannya dibedakan atas batuan beku (igneus rock), batuan sedimen dan batuan metamorf (batuan malihan).

- a. **Batuan beku**, adalah batuan yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Dibedakan atas batuan beku luar (extrusive igneous rock) dan batuan beku dalam (intrusive igneous rock). Batuan beku luar dibentuk dari material yang keluar ke permukaan bumi disaat gunung berapi meletus. Akibat pengaruh cuaca akan mengalami pendinginan dan membeku. Umumnya berbutir halus seperti batu apung, andesit, basalt, obsidian dan lain-lain. Batuan beku dalam dibentuk dari magma yang tidak dapat keluar ke permukaan bumi. Magma mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan, bertekstur kasar dan mudah ditemui dipermukaan bumi karena proses erosi dan gerakan bumi. Batuan beku jenis ini antara lain granit, gabbro, diorit dan lain-lain.
- b. **Batuan sedimen**, batuan ini dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan

tanaman. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan kulit bumi, hasil endapan di danau, laut. Berdasarkan cara pembentukannya batuan sedimen dapat dibedakan atas :

1. Batuan sedimen yang dibentuk secara mekanik, seperti lempung. Batuan ini banyak mengandung silica.
  2. Batuan sedimen yang dibentuk secara organis seperti batuan gamping, batu bara, opal dan lain-lain.
  3. Batuan sedimen yang dibentuk secara kimiawi seperti batu gamping, garam, gips, flint dan lain-lain.
- c. **Batuan metamorf**, batuan ini berasal dari batuan sedimen ataupun batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur dari kulit bumi. Berdasarkan struktur dapat dibedakan atas batuan metamorf yang masif seperti marmer, kwarsit dan batuan metamorf yang berfoliasi/berlapis batu sabak, filit, sekis.

#### 2.2.2. Berdasarkan proses pengolahannya

Agregat yang berdasarkan proses pengolahannya pada perkerasan lentur dapat dibedakan atas agregat alam, agregat yang mengalami proses pengolahan terlebih dahulu dan agregat buatan.

- a. **Agregat alam**, agregat yang dapat digunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit proses pengolahan dinamakan agregat alam. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi dan degradasi. Bentuk partikel dari agregat alam ditentukan dari proses pembentukannya. Aliran air sungai membentuk partikel-partikel bulat dengan permukaan yang licin. Degradasi agregat di bukit-bukit membentuk partikel-partikel yang bersudut dengan permukaan yang kasar. Dua bentuk agregat alam yang sering dipergunakan yaitu kerikil dan pasir. Kerikil adalah agregat dengan ukuran partikel  $> 1/4$  inch (6,25 mm), pasir adalah agregat dengan ukuran partikel  $< 1/4$  inch tetapi lebih besar dari 0,075 mm (saringan 200). Sedang berdasarkan tempat asalnya agregat alam dapat dibedakan atas pitrun yaitu agregat yang diambil dari tempat terbuka di alam dan bankrun yaitu agregat yang berasal dari sungai/endapan sungai.
- b. **Agregat yang melalui proses pengolahan**, di gunung-gunung atau bukit-bukit sering ditemui agregat masih berbentuk batu gunung, sehingga diperlukan proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dapat dipergunakan sebagai agregat konstruksi perkerasan jalan. Di sungai sering juga diperoleh

agregat dalam bentuk besar-besar melebihi ukuran yang diinginkan.

Agregat ini harus melalui proses pemecahan terlebih dahulu supaya diperoleh :

1. Bentuk partikel bersudut, diusahakan berbentuk kubus.
2. Permukaan partikel kasar sehingga mempunyai gesekan yang baik.
3. gradasi sesuai yang diinginkan.

c. Agregat buatan, adalah agregat yang merupakan mineral filler/pengisi (partikel dengan ukuran  $< 0,075$  mm), diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen dan mesin pemecah batu.

#### 2.2.3. Berdasarkan besar partikel-partikel agregat

Agregat berdasarkan ukuran partikel dapat dibedakan :

1. Agregat kasar, agregat  $> 4,75$  mm menurut ASTM atau 2 mm menurut AASHTO.
2. Agregat halus, agregat  $< 4,75$  mm menurut ASTM atau  $< 2$  mm dan  $> 0,075$  mm menurut AASHTO.
3. Debu batu/mineral filler, agregat halus yang umumnya lolos saringan no. 200.

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam mendukung beban lalu lintas. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan bawahnya. Sifat agregat yang menentukan kualiti-

tasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dikelompokkan menjadi :

1. Kekuatan dan keawetan (strength and durability) lapisan perkerasan, dipengaruhi oleh :
  - a. Gradasi
  - b. Ukuran maksimum
  - c. Kadar lempung
  - d. Kekerasan dan ketahanan
  - e. Bentuk butiran
  - f. Tekstur permukaan
2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, dipengaruhi oleh :
  - a. Porositas
  - b. Kemungkinan basah
  - c. Jenis agregat
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh :
  - a. Tahanan geser (skid resistance)
  - b. Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan

### 2.3. Filler

Filler adalah bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai butir pengisi pada pembuatan campuran beton aspal. Filler didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan no.200 (0,074 mm) bisa berupa : debu batu, debu

dolomit, atau semen. Filler harus dalam keadaan kering (kadar air maximum 1 %).

Menurut Crauss J. and Ishai vol.46, pada awalnya pengaruh filler ke dalam aspal adalah dengan membentuk mastik yaitu campuran aspal dan filler, sedangkan mastik biasanya menambah/mempengaruhi viskositas (kekentalan/ kekakuan) aspal murni. Pengaruh dari filler adalah dalam adhesi, dalam hal ini menambah kekentalan aspal murni. Mekanisme pengaruh dari filler dalam mendukung adhesi antara aspal dan agregat adalah secara mekanik dan kimia (phsycoche-chal)

Efek penggunaan filler dalam campuran beton aspal adalah :

1. Dampak penggunaan filler terhadap karakteristik campuran aspal filler.

Hal ini masih digolongkan menjadi :

- a. Dampak pengaruh filler terhadap viskositas campuran yang menyebabkan semakin besar permukaan filler akan menaikkan viskositas campuran
  - Efek penggunaan berbagai jenis filler terhadap viskositas campuran.
  - Luas permukaan filler yang semakin besar menaikkan viskositas campuran dibanding dengan yang berluas permukaan kecil.

- Adanya daya affinitas menyebabkan aspal yang diserap oleh filler cukup bervariasi. Pada keadaan dimana viskositas naik, jumlah aspal yang diserap semakin besar.

b. Efek penggunaan filler terhadap daktilitas dan penetrasi campuran :

- Kadar filler yang semakin tinggi akan menurunkan daktilitas, hal ini juga terjadi pada berbagai suhu.

- Jenis filler yang akan menaikkan viskositas aspal, akan menurunkan penetrasi aspal.

c. Efek Suhu dan pemanasan :

Jenis dan kadar filler akan memberikan pengaruh yang berbeda pada berbagai campuran.

2. Dampak penggunaan filler terhadap karakteristik campuran beton aspal :

Kadar filler dalam campuran akan mempengaruhi dalam proses pancampuran, penggelaran dan pemadatan. Disamping itu kadar dan jenis filler akan berpengaruh terhadap sifat elastik campuran dan sensitifitas terhadap air.

Hasil penggunaan filler terhadap campuran beton aspal adalah :

1) Filler diperlukan untuk meningkatkan kepadatan, kekuatan dan karakteristik lain beton aspal.

- 2) Filler bisa berfungsi ganda dalam campuran aspal :
- a. Sebagai bagian dari agregat, filler akan mengisi rongga dan menambah bidang kontak antar butir agregat sehingga akan meningkatkan kekuatan campuran.
  - b. Bila campuran dengan aspal, filler akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama-sama.
- 3) Sifat aspal (daktilitas, penetrasi, viskositas) diubah secara drastis oleh filler, walaupun kadarnya relatif rendah dibanding pada campuran beton aspal. Penambahan filler pada aspal akan meningkatkan konsistensi aspal.
- 4) Pada kadar filler yang umum digunakan pada campuran beton aspal, duktilitas campuran aspal filler akan mencapai nol. Sedangkan pada suhu dan kadar filler yang sama, nilai penetrasi campuran aspal filler akan turun sampai  $< 1/3$  dari penetrasi semula.
- 5) Viskositas aspal filler pada suhu tinggi sangat bervariasi pada kisaran yang lebar, tergantung pada jenis filler dan kadarnya. Perbedaan ini menjadi kecil pada suhu yang lebih rendah.



- 6) Ada hubungan antara stabilitas campuran dan tahanan aspal pada pemadatan campuran dengan kadar void yang sama.
- 7) Ada hubungan antara viskositas aspal dan usaha pemadatan campuran. Disarankan suhu perlu dinaikkan bila memadatkan campuran dengan jumlah pukulan yang lebih besar.
- 8) Sensitivitas campuran terhadap air pada tipe dan kadar filler yang berbeda menunjukkan bahwa sensitivitas terhadap air dapat diturunkan dengan mengurangi kadar filler yang peka terhadap air.

#### 2.4. Bahan Tambah

Menurut Crauss J. and Ishai tahun 1982 vol.52, salah satu alasan utama kerusakan dan kemerosotan kekuatan perkerasan lentur jalan raya, adalah rendahnya kekuatan dan keawetan di dalam lapis aspal dan bahan ikat konstruksi perkerasan jalan. Kemampuan keawetan dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai perlawanan campuran terhadap pengaruh merusak yang terus-menerus yang kombinasinya dari air dan temperatur. Kemampuan keawetan yang tinggi biasanya ditunjukkan oleh proses mekanik dalam campuran sehingga daya tahan didalam lapis keras selama umur rencana, pelayanan konstruksinya menjadi lama. Pada masa

lalu banyak dijumpai depletion (penipisan) agregat yang berkualitas tinggi dibanyak tempat di dunia ini. Sedangkan kebanyakan jalan raya (highways) dan proyek-proyek bandara sekarang ini, hanya didapatkan agregat di bawah standar. Dengan kondisi seperti ini, maka perkerasan dihadapkan pada cepatnya kerusakan akibat kepekaannya yang tinggi terhadap kombinasi pengaruh air dan temperatur.

Karena penggunaan bahan setempat tidak dapat dihindarkan sehingga harus dibuat modifikasi untuk menjamin keawetan adhesi. Modifikasi yang dimaksud biasanya dibuat dalam 2 kelompok yaitu :

1. Modifikasi sifat adhesi aspal dengan tensio-active additives (tegangan aktif bahan tambah).
2. Modifikasi sifat adhesi permukaan agregat dengan cara mekanis menggunakan air semen atau larutan kapur bakar.

Dari kedua modifikasi tersebut modifikasi pertama yang banyak digunakan dalam teknologi perkerasan.

Bahan tambah yang digunakan adalah serat selulosa, dengan alasan teknis, ekonomis dan mengacu pada kelestarian lingkungan. Serat selulosa juga dikenal sebagai teknologi yang toleran terhadap deviasi pelaksanaan, memberikan skid resistance yang baik, serta menaikkan titik leleh aspal, sehingga pada gilirannya memberikan umur teknis yang lebih panjang.

Serat selulosa didapat dari tumbuhan yang bisa menghasilkan protein dan asam amino. Untuk mengambil protein dan asam amino pada tumbuhan digunakan cara ekstraksi. Dari hasil ekstraksi yang berupa larutan protein dan asam amino kemudian didestilasi (disuling) untuk diambil protein dan asam amino yang murni. Kemudian diendapkan, diekstruksi dalam keadaan basa ke dalam larutan coagulating (penggumpalan) untuk dijadikan serat selulosa.

Mekanisme stabilisasi serat selulosa secara mikro terjadi melalui 2 proses sebagai berikut :

1. Absorpsi aspal oleh serat selulosa.

Proses ini akan menyebabkan sifat-sifat kinetis (mobilitas) dari partikel-partikel aspal sehingga meningkatkan integritas dari bulk aspal tanpa mengurangi sifat kelenturan dan adhesinya.

2. Jembatan hidrogen antara serat selulosa dengan aspal.

Selulosa dapat menunda aging melalui mekanisme. Ditinjau dari sudut pandang campuran, aspal digolongkan sebagai koloid dari fasa kontinue minyak yang non polar dan fasa diskrit asphaltenes yang polar. Koloid tersebut menjadi stabil oleh adanya pengaruh berbagai macam resin yang bersifat semi polar dan mengelilingi fraksi asphaltenes. Selulosa bersifat semi polar (lebih kuat dari

resin) dan mampu menyerap fraksi-fraksi tersebut sehingga mampu memperlambat proses oksidasi dan polymerisasi. Preferensi pengikatan diantara ketiga resin dapat ditelusuri melalui probabilitas sebagai berikut. Basa N mempunyai gugus aktif hidrosil sehingga bersifat tidak suka terhadap selulosa yang mempunyai gugus aktif yang sama. Acidaffins kedua lebih suka terhadap selulosa dibandingkan dengan Acidaffins kesatu, sebab memiliki berat molekul yang lebih kecil (mobilitas lebih besar) dan letak gugus diujung molekul.

Dengan demikian dapat dimengerti bahwa preferensi pengikatan atau penstabilan oleh selulosa terjadi terhadap komponen Acidaffins kedua, sehingga akan mampu mempertahankan komponen tersebut lebih lama dalam sistem, sehingga pada gilirannya akan mampu menunda proses aging.

## 2.5. Split Mastic Asphalt

Split Mastic Asphalt adalah aspal beton terdiri atas campuran agregat, aspal dan bahan additive yang dicampur di AMP dalam keadaan panas. Dengan ciri-ciri sebagai berikut :

1. Prosentase fraksi kasar (MA) yang tinggi (70% s/d 80% volume total) dan memiliki kualitas baik gradasi terbuka (open graded).



2. Kadar aspal dan kekentalan dari aspal tinggi (6,2% s/d 7,1% berat total), sehingga tebal film aspal cukup tebal.
3. Memerlukan agregat filler yang cukup banyak.
4. Memerlukan bahan tambah untuk stabilisasi bitumen berupa serat selulosa sebesar 0,3% dari berat total.

Dan memiliki 3 type menurut ukurannya, yaitu :

1. SMA 0/11, ialah SMA dengan menggunakan ukuran agregat antara 0 mm sampai 11 mm yang biasa untuk wearing course jalan baru.
2. SMA 0/8, ialah SMA dengan menggunakan ukuran agregat antara 0 mm sampai 8 mm biasanya digunakan untuk pelapisan ulang (overlay) pada jalan lama.
3. SMA 0/5, ialah SMA dengan menggunakan ukuran agregat antara 0 mm sampai 5 mm biasanya digunakan untuk pemeliharaan dan perbaikan setempat seperti perbaikan deformasi pada jalur roda atau ban (rutting), akibat konsentrasi muatan pada satu tempat.

Di Indonesia, SMA 0/11 sudah dilaksanakan dan dikembangkan dengan spesifikasi teknisnya mengacu pada Ztv-bit STB 84 dan SKBI 1987. Dimana campuran split mastic aspalnya mempunyai durabilitas yang tinggi karena kadar aspal yang tinggi.

## 2.6. Modulus Kekakuan

### 2.6.1. Kekakuan Aspal (Asphalt Stiffness)

Kekakuan aspal adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada aspal yang besarnya tergantung temperatur dan lama pembebanan yang diterapkan. Nilai kekakuan aspal dapat ditentukan dengan nomogram Van der Poel's, yang penggunaannya memerlukan data :

1. Temperatur rencana perkerasan (T) dalam (° C).
2. Titik lembek atau Softening Point (SPr) dari tes Ring and Ball (° C).
3. Waktu pembebanan (t) dalam (detik) yang tergantung pada kecepatan kendaraan.
4. Penetration Index (PIr).

Untuk menghitung nilai kekakuan aspal digunakan nomogram Van der Poel's seperti terlihat pada gambar 2.1.

Waktu pembebanan untuk tebal lapis perkerasan antara 100-350 mm dapat diperkirakan dari hubungan empiris yang sederhana seperti berikut :

$$t = \frac{L}{v} \dots \dots \dots (1) [1,138]$$

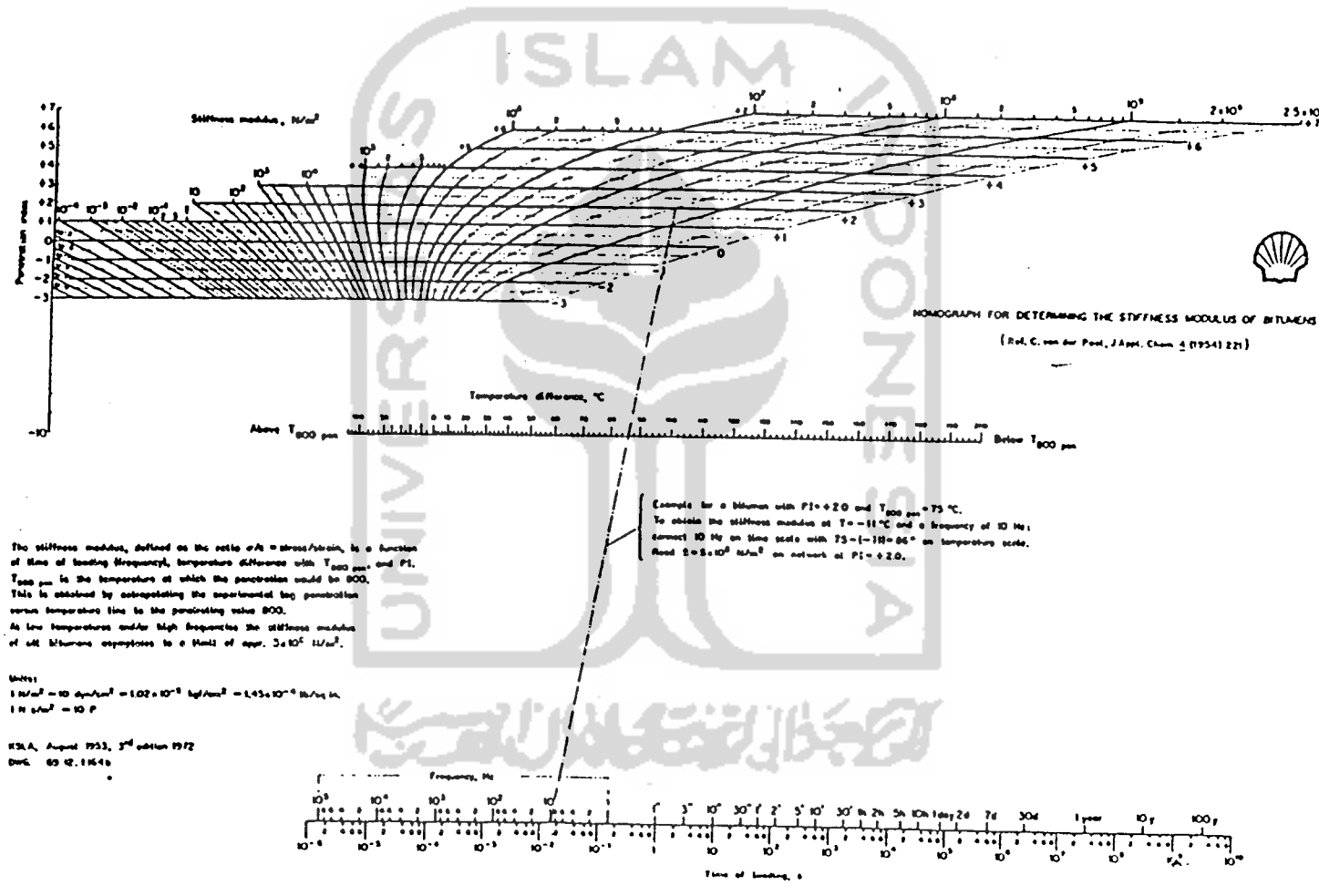
dengan :

V = kecepatan kendaraan (km/jam)

L = panjang jejak roda kendaraan (meter)

Penetration Index dihitung dari SPr (temperatur titik lembek) dan penetrasi aspal setelah dihamparkan, dengan persamaan sebagai berikut :

$$Pr = \frac{1951,4 - 500 \log Pr - 20 Spr}{50 \log Pr - Spr - 120,14} \dots(2) [12,75]$$



Gambar 2.1. Nomogram untuk menetapkan kekakuan aspal (S bit)....[1,106]

Aspal mengalami pengerasan selama proses pencampuran, pengangkutan dan penghamparan. Nilai Penetration Index (PI) dan SPr (temperatur titik lembek) yang digunakan dalam persamaan tersebut dalam kondisi sudah dihamparkan. Untuk itu perlu dilakukan asumsi sebagai berikut :

$$Pr = 0,65 \cdot Pi \dots\dots\dots (3)[1,107]$$

$$SPr = 98,4 - 26,35 \log Pr \dots\dots\dots (4)[1,107]$$

dengan :

Pi = Penetrasi aspal dalam kondisi asli (0,1 mm).

Pr = Penetrasi aspal dalam kondisi dihamparkan 0,1 (mm)

Spr = peratur titik lembek dari aspal dalam kondisi dihamparkan (dalam ° C).

Karena kebanyakan hitungan perencanaan berdasarkan pada karakteristik aspal terhadap penetrasi awalnya, maka substitusi dari persamaan (3) dan (4) ke dalam (2) memberikan persamaan untuk Penetration Index dalam kondisi dihamparkan sebagai berikut :

$$PIr = \frac{27 \log Pi - 21,65}{76,35 \log Pi - 232,82} \dots\dots\dots (5)[1,107]$$

Selain dengan menggunakan nomogram yang dikembangkan oleh Van der Poel, kekakuan aspal dapat juga dicari dengan menggunakan persamaan yang diturunkan oleh Ullidz.

$$Sb = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{PIr} \times (Spr - P)^5 \dots\dots\dots (6)[5,17]$$



dengan :

$S_b$  = Stiffness asphalt (MPa)

$t$  = Waktu pembebanan (detik)

PI = Penetration Index

$S_{Pr}$  = Temperatur titik lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T$  = Temperatur perkerasan ( $^{\circ}\text{C}$ )

Persaman diatas dapat dipergunakan jika memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$0,01 < t < 0,1$$

$$- < PIR < 1$$

$$20^{\circ}\text{C} < (S_{Pr} - T) < 60^{\circ}\text{C}$$

#### 2.6.2. Kekakuan campuran (Mix Stiffness)

Kekakuan campuran adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada campuran bitumen yang besarnya tergantung dari temperatur dan lamanya pembebanan. Formula atau metode yang diterapkan untuk menentukan Mix Stiffness ( $S_{mix}$ ) diantaranya :

1). **Metode Shell.** Untuk mencari modulus kekakuan campuran digunakan nomogram Shell. Pada metode ini diperlukan data-data sebagai berikut :

- a. Modulus kekakuan aspal ( $\text{N/m}^2$ ) dimana nilai modulus kekakuan aspal ini didapatkan dari perhitungan atau dengan nomogram seperti telah disebutkan diatas.
- b. Volume bahan pengikat (%)
- c. Volume mineral agregat.

Prosentase volume bahan pengikat dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_b = \frac{(100 - V_v)(M_B/G_b)}{(M_B/G_b) + (MA/G_a)} \quad \dots(7)[1,107]$$

Kadar pori dalam campuran padat dihitung dengan persamaan :

$$V_v = \frac{(\sigma_{\max} - \sigma_m) \times 100}{\sigma_{\max}} \quad \dots\dots\dots (8)[1,107]$$

dengan :

$$\sigma_{\max} = \frac{100 \times \sigma_w}{(M_B/G_b) + (MA/G_a)} \quad \dots\dots\dots (9)[1,107]$$

Selanjutnya dapat dihitung nilai void in mixed agregat dengan persamaan :

$$VMA = V_b + V_v \quad \dots\dots\dots (10)[1,107]$$

dan

$$V_v + V_b + V_g = 100 \% \quad \dots\dots\dots (11)[1,108]$$

dengan :

MA = perbandingan berat agregat dengan total berat campuran (%).

MB = perbandingan berat bahan ikat bitumen dengan total berat campuran (%).

Ga = berat jenis campuran agregat.

Gb = berat jenis bahan ikat campuran.

$\sigma_m$  = berat volume campuran padat ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$\sigma_w$  = berat volume air ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$V_g$  = prosentase volume agregat.

$V_b$  = prosentase volume aspal.

$V_v$  = prosentase volume pori.

2). **Metode Heukelom and Klomp (1964)**. Disini diberikan formula untuk mencari nilai kekakuan campuran.

$$S_{mix} = S_{bit} \left[ 1 + \frac{2,5}{n} \times \frac{C_v}{1 - C_v} \right] \dots \dots (12)[5,5]$$

dengan :

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

$S_{mix}$  = mix modulus ( $N/m^2$ )

$S_{bit}$  = asphalt modulus ( $N/m^2$ )

Van der Poel menyimpulkan bahwa modulus campuran aspal terutama tergantung pada modulus aspal dan konsentrasi volume agregat ( $C_v$ ).

$$C_v = \frac{V_g}{V_g + V_b} \dots \dots \dots (13)[5,5]$$

dengan :

$V_g$  = prosentase volume agregat padat.

$V_b$  = prosentase volume rongga udara dalam campuran.

Rumus diatas hanya dipergunakan untuk kepadatan dengan volume rongga kurang dari 3 %. Untuk kepadatan dengan volume rongga lebih besar dari 3 % digunakan rumus

$$C_v' = \frac{C_v}{1 + 0,01(V_v - 3)} \dots \dots \dots (14)[5,5]$$

dengan :

$C_v'$  = modifikasi volume rongga agregat.

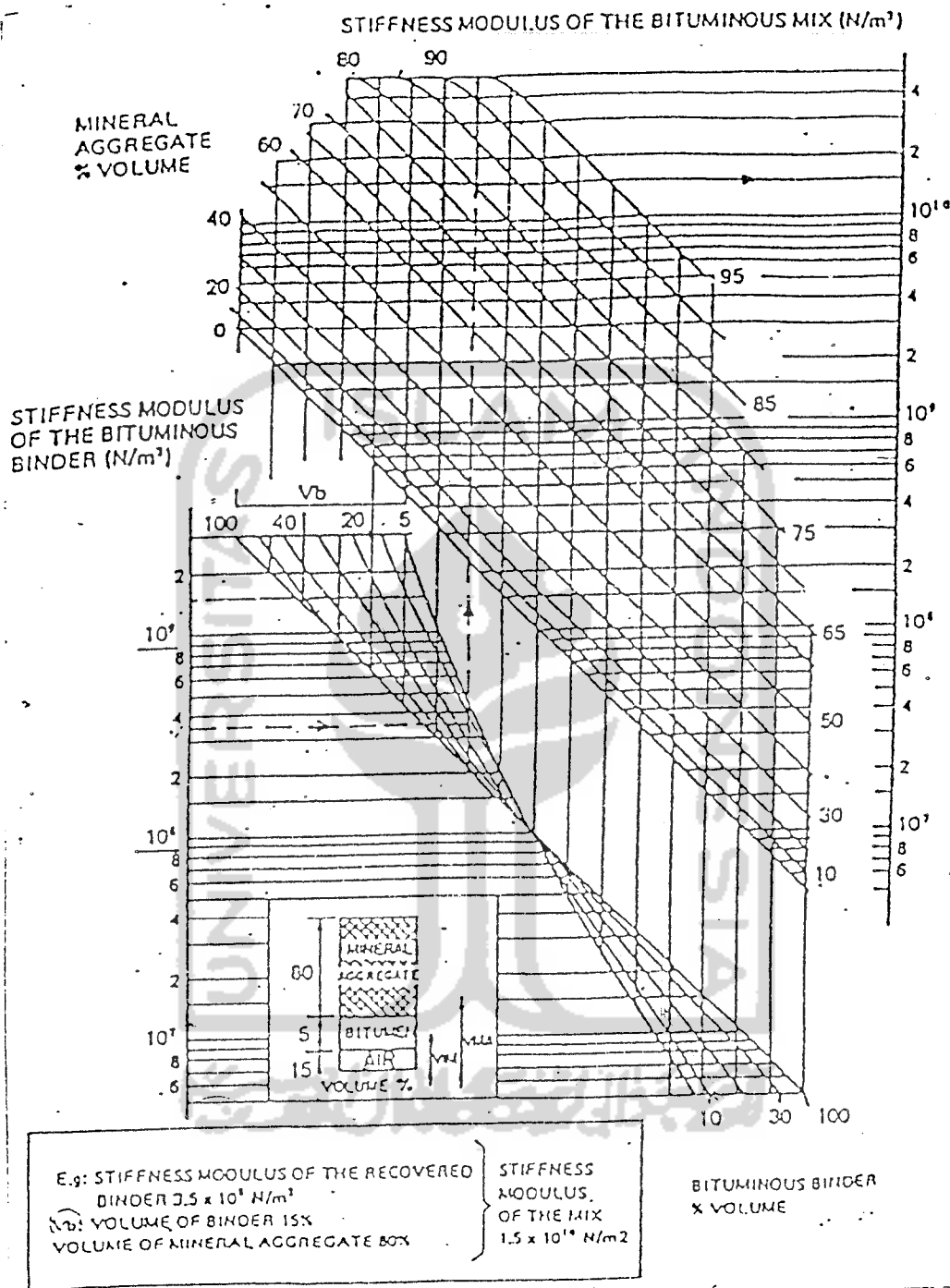
$V_v$  = volume rongga udara dalam campuran

Persamaan tersebut dapat dipakai jika konsentrasi volume aspal ( $C_b$ ) memenuhi syarat sebagai berikut :

$$C_b > 2/3(1-C_v') \dots\dots\dots (15)[5,5]$$

Untuk menghitung nilai kekakuan campuran digunakan nomogram pada gambar 2.2. berikut ini.





Gambar 2.2. Nomogram penentuan kekakuan campuran.

..... [1,133]

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Konstruksi Perkerasan

Perkerasan jalan adalah suatu lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar setelah dipadatkan yang berfungsi untuk memikul beban lalu lintas secara aman dan nyaman, selanjutnya beban tersebut diteruskan/disebarkan kelapisan tanah dasar (*subgrade*), agar tanah mendapat tekanan tidak melampaui daya dukung tanahnya. Pada umumnya perkerasan terdiri atas beberapa lapis, dengan kualitas bahan makin keatas makin baik. Perkerasan dikelompokkan kedalam 3 jenis, yaitu :

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) perkerasan yang biasanya menggunakan aspal sebagai bahan ikat.
2. Perkerasan tegar (*rigid pavement*) perkerasan ini biasanya menggunakan *portland cement* sebagai bahan ikat.
3. Perkerasan komposit (*composite pavement*) merupakan kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasaan kaku.

Dalam uraian selanjutnya akan dibahas mengenai lapis keras lentur. Pada prinsipnya lapis keras lentur tersusun atas 3 bagian yaitu lapis pondasi bawah (*sub base course*),

lapis pondasi atas (*base course*), dan lapis permukaan (*surface course*). Sebelum lapis permukaan biasanya terdapat lapis pengikat (*binder course*).

Fungsi terpenting dari lapis keras jalan secara struktural adalah untuk mendukung beban lalu lintas, kemudian menyalurkannya pada tanah dasar secara merata. Adapun fungsi tiap lapisan adalah sebagai berikut :

1. Lapis permukaan (*surface course*).
  - a. Mendukung langsung beban lalu lintas dan meneruskan ke lapisan dibawahnya.
  - b. Menahan gaya geser dari beban roda.
  - c. Sebagai lapis aus akibat gaya gesek dan cuaca.
  - d. Sebagai lapis kedap air untuk melindungi lapis dibawahnya.
2. Lapis pondasi atas (*base course*).
  - a. Sebagai lapis pendukung bagi lapis permukaan dan ikut menahan gaya geser.
  - b. Sebagai lapis peresapan untuk lapis pondasi dibawahnya.
3. Lapis pondasi bawah (*sub base course*).
  - a. Menyebarkan beban roda.
  - b. Sebagai lapis peresapan
  - c. Mencegah tanah dasar masuk ke lapis pondasi (akibat tekanan roda dari atas).

Perencanaan perkerasan jalan, seperti rencana penggunaan bahan teknik lainnya, pada umumnya merupakan

soal dalam pemilihan dan perbandingan bahan untuk mendapatkan sifat-sifat yang diharapkan pada hasil akhir.

Tujuan umum dari rencana perkerasan dengan bahan ikat aspal adalah menetapkan suatu penggabungan gradasi agregat dan aspal bitumen yang akan menghasilkan campuran dengan beberapa sifat yaitu :

- a. Bitumen yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan.
- b. Fleksibilitas yang memadai sehingga memenuhi kebutuhan lalu lintas.
- c. Rongga yang memadai dalam total campuran padat sehingga masih memungkinkan adanya sedikit tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas tanpa terjadi bleeding dan hilangnya stabilitas, namun cukup rendah untuk mencegah masuknya udara dan kelembaban yang berbahaya.
- d. Cukup mudah dikerjakan untuk dapat melaksanakan penghamparan campuran secara efisien tanpa mengalami segregasi.

### **3.2. Karakteristik Campuran Split Mastic Asphalt dengan Bahan Serat Selulosa (SMA+S)**

Perkerasan jalan raya harus memenuhi karakteristik tertentu sehingga didapatkan lapis perkerasan yang kuat, awet dan nyaman untuk melayani lalu lintas. Karakteristik dari lapis perkerasan, juga tidak bisa lepas dari



pemahaman yang baik akan sifat dari bahan penyusunnya. Khususnya perilaku aspal apabila telah berada dalam campuran Split Mastic Asphalt, sehingga akan didapatkan lapis perkerasan yang kuat, awet, aman dan nyaman untuk melayani lalu lintas. Adapun unsur-unsur yang harus dimiliki oleh Split Mastic Asphalt dengan bahan tambah serat selulosa adalah :

### 3.2.1. Stabilitas

Pengertian tentang stabilitas adalah ketahanan lapis keras untuk tidak berubah bentuk melawan deformasi yang diakibatkan oleh beban lalu lintas. Stabilitas tidak selalu identik dengan daya dukung lapis perkerasan.

Beberapa variabel yang mempunyai hubungan terhadap stabilitas lapis perkerasan antara lain adalah gesekan, kohesi dan inersia. *Friction* (gaya gesek) itu sendiri tergantung pada tekstur permukaan, gradasi dari agregat, bentuk batuan, kerapatan campuran dan kualitas dari aspal. Hal ini kemudian di kombinasikan dengan gesekan dan kemampuan saling mengikat dari agregat dalam campuran. Kohesi merupakan daya lekat dari masing-masing partikel bahan perkerasan. Kohesi batuan akan tercermin sifat kekerasannya sedangkan kohesi campuran tergantung dari gradasi agregat, daya adhesi aspal dan sifat bantu bahan tambah. Inersia merupakan lapis keras untuk menahan perpindahan tempat (*Resistance to displacement*) yang mungkin terjadi akibat dari beban lalu lintas, baik karena besarnya beban

maupun jangka waktu pembebanan.

Memaksimalkan stabilitas dapat berarti menurunkan fleksibilitas dan kemudahan dalam pengerjaan, dengan gradasi rapat dan saling mengunci perkerasan akan menjadi kaku, tidak cukup fleksibel.

### 3.2.2. Keawetan (*durabilitas*)

Keawetan adalah ketahanan lapis keras terhadap cuaca dan gaya-gaya keausan akibat beban lalu lintas. Sifat aspal dapat berubah karena oksidasi dan perubahan dari campuran yang disebabkan gaya air. Pada umumnya durabilitas yang baik untuk campuran perkerasan dilaksanakan dengan memberikan kadar aspal yang tinggi, gradasi batuan yang baik, serta suatu campuran yang tidak permeabel.

Dipandang dari sudut jumlah aspal yang digunakan maka dapat dikatakan bahwa : makin banyak kadar aspal akan bertambah tebal lapisan aspal yang melindungi tiap-tiap butir batuan. Makin tebal perlindungannya, maka perkerasan lebih tahan lama. Kemudian juga penambahan kadar aspal akan mengurangi pori-pori yang ada dalam campuran, sehingga air dan udara sukar masuk ke dalam perkerasan.

Dalam meredam gaya pengausan yang mungkin terjadi, maka penggunaan batuan dengan sifat kekerasan yang tinggi memegang peranan yang cukup berarti. Pengausan/pecah-pecah dapat menimbulkan kerusakan berupa terlepas/tergesernya batuan sehingga menimbulkan deformasi cekungan yang dapat menampung dan meresapkan air.

### 3.2.3. Kelenturan (*fleksibilitas*)

Fleksibilitas didefinisikan sebagai kemampuan campuran untuk menyesuaikan diri terhadap Bergeraknya lapis pondasi dalam jangka panjang, disamping mempunyai kemampuan untuk melentur berulang-ulang tanpa terjadi pecah-pecah (*fatigue resistance*).

Pada umumnya nilai fleksibilitas dapat diadakan dengan jalan membuat atau memberi kadar aspal yang tinggi dan memakai gradasi yang terbuka (*open graded*). Sehingga disini diperlukan kompromi dengan stabilitas.

### 3.2.4. Kekesatan (*skid resistance*)

Kekesatan (*skid resistance*) adalah kemampuan lapis permukaan (*surface course*) pada lapis perkerasan untuk mencegah terjadinya selip dan tergelincirnya roda kendaraan. Faktor-faktor yang menyebabkan lapis permukaan mempunyai tahanan gesek yang tinggi, hampir sama dengan faktor-faktor pada stabilitas. Pemberian aspal yang optimum pada agregat yang mempunyai permukaan kasar merupakan sumbangan yang tersebar bagi terbentuknya tahanan gesek yang tinggi. Faktor yang tidak boleh diabaikan adalah rongga udara yang cukup dalam campuran perkerasan, yang apabila terjadi panas/suhu udara cukup tinggi aspal tidak terdesak keluar (*bleeding*) sehingga lapis permukaan tidak menjadi licin.

### 3.2.5. Tahanan kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis beton

aspal dalam menerima beban berulang tanpa terjadi kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak.

### 3.2.6. Kemudahan pelaksanaan (*workability*)

Yang dimaksud kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

### 3.3. Syarat-syarat kekuatan/struktur

Konstruksi pekerasan jalan dipandang dari segi kemampuan mendukung dan menyebarkan beban, harus memenuhi syarat-syarat sebagai :

- a. Ketebalan surface course yang cukup, sehingga mampu menyebarkan beban/muatan lalulintas ke base course.
- b. Surface course yang kedap terhadap air, sehingga air tidak dapat meresap kelapisan di bawahnya.
- c. Base course harus memiliki stabilitas yang cukup dan dapat memikul beban lalulintas tanpa terjadi suatu deformasi, bergelombang atau desakan samping.
- d. Sub base course harus cukup kuat untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar dan mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar yang naik ke base course.
- e. Sub grade harus mempunyai daya dukung yang baik serta berkemampuan mempertahankan perubahan volume

selama masa pelayanan.

Untuk dapat memenuhi syarat tersebut diatas, perencanaan pelaksanaan konstruksi perkerasan lentur jalan harus mencakup :

- a. Perencanaan tebal masing-masing perkerasan.
- b. Mutu dan jumlah beban yang memenuhi spesifikasi dari jenis lapisan yang dipilih.
- c. Pengawasan pelaksanaan yang cermat mulai dari tahap penyiapan lokasi dan material sampai tahap pencampuran atau penghamparan dan akhirnya pada tahap pemadatan dan pemeliharaan.

### 3.4. SMA (*Split Mastic Asphalt*)

#### 3.4.1. Pengertian umum

Split Mastic Asphalt adalah beton aspal yang terdiri atas campuran agregat, aspal dan bahan tambah. Dimana dari 3 jenis *split mastic asphalt* yang ada, yaitu SMA 0/5, SMA 0/8 dan SMA 0/11, yang dikembangkan di Indonesia adalah SMA 0/11.

#### 3.4.2. Spesifikasi teknik

Karakteristik split mastic asphalt spesifikasi dari Bina Marga adalah :

- a. Agregat kasar dengan ukuran  $> 2$  mm dengan jumlah fraksi antara 70 % - 80 %.
- b. Mastik Aspal, dimana campuran agregat halus, *filler* , aspal dan bahan tambah akan membentuk lapisan *film* yang tebal.

- c. Menggunakan bahan tambah berupa serat selulosa yang berfungsi memperbaiki sifat-sifat aspal.

### 3.4.3. Sifat-sifat SMA (*split Astic Asphalt*)

Split Mastic Asphalt mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Mampu melayani lalu lintas berat :
- |                          |            |
|--------------------------|------------|
| <i>Stability Marshal</i> | : > 750 kg |
| <i>Flow Marshal</i>      | : 2 - 4    |
- b. Tahan terhadap oksidasi :
- |                           |              |
|---------------------------|--------------|
| Lapisan <i>film</i> aspal | : > 10 $\mu$ |
|---------------------------|--------------|
- c. Tahan terhadap deformasi permanen pada suhu tinggi
- |                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Nilai stabilitas dinamis | : > 1500 lintasan/mm |
|--------------------------|----------------------|
- d. Kelenturan :
- |  |                      |
|--|----------------------|
| Koefisien Marshal ( <i>stabilitas/flow</i> ) | : 190 - 300<br>kg/mm |
|--|----------------------|
- e. Tahan terhadap cuaca panas (*temperatur tinggi*) :
- |  |          |
|--|----------|
| Titik lembek ( <i>aspal+serat selulosa</i> ) | : > 60 % |
|--|----------|
- f. Kedap air :
- |                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| Rongga udara      | : 3 - 5 %                |
| Indeks perendaman | : > 75%<br>(60°C, 48jam) |
- g. Aman untuk lalu lintas (*kesat*) :
- |                 |         |
|-----------------|---------|
| Nilai kekesatan | : > 0,6 |
|-----------------|---------|
- h. Tingkat keseragaman campuran yang tinggi :
- |                     |          |
|---------------------|----------|
| Kadar agregat kasar | : tinggi |
| Viskositas aspal    | : tinggi |

#### 3.4.4. Bahan pendukung

a. Agregat. Dengan persyaratan mutu agregat sebagai berikut :

1. Kehilangan berat akibat abrasi mesin Los Angeles (PB.0206-76) maksimal 40 %.
2. Kelekatan agregat terhadap aspal (PB.0205-76) minimal 95 %.
3. Non plastis.

Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan menggunakan satu set saringan dimana saringan yang paling kasar diletakkan paling bawah. Satu set saringan dan diakhiri dengan pan.

Pada umumnya gradasi agregat dapat dibedakan atas :

1. Gradasi seragam (*uniform graded*), adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, berat volume kecil.
2. Gradasi rapat (*dense graded*), merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (*well graded*).

3. Gradasi buruk/jelek (*poorly graded*), merupakan campuran agregat yang tidak memenuhi dua kategori diatas. Agregat bergradasi tidak seragam yang umum digunakan untuk lapis perkerasan lentur yaitu gradasi celah (*gap graded*), merupakan agregat dengan gradasi satu fraksi hilang. Sering juga disebut gradasi senjang. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis diatas.

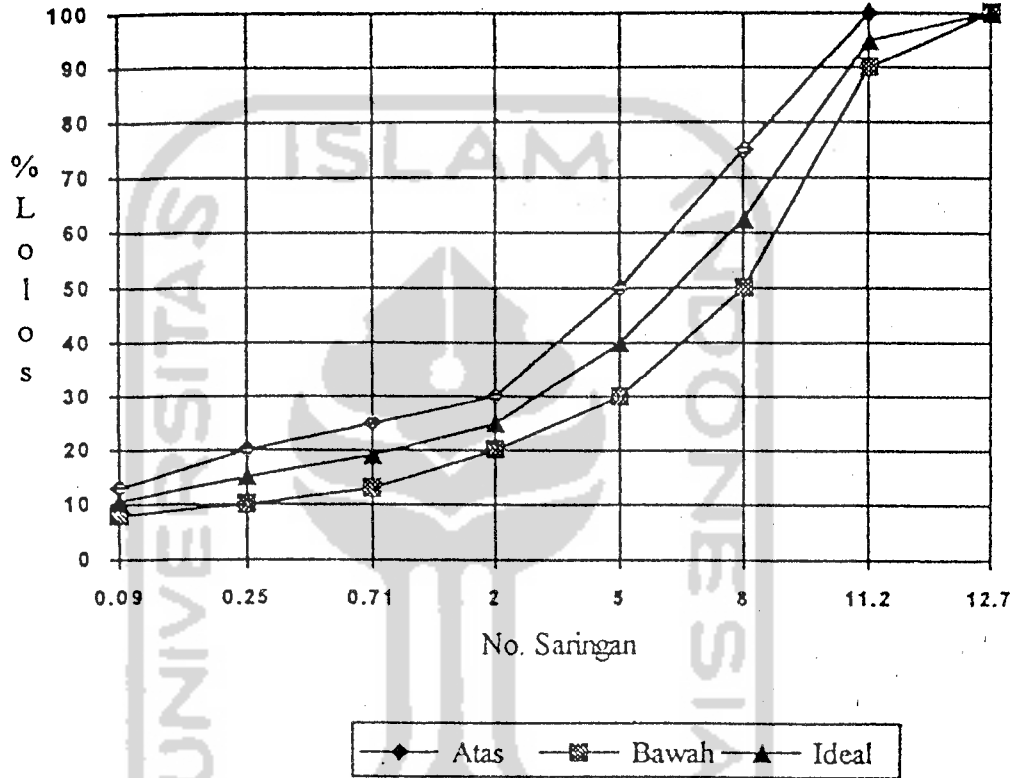
Adapun gradasi agregat split mastic asphalt dengan bahan tambah serat selulosa adalah gradasi terbuka (*open graded*) dengan prosentase agregat kasar (ukuran  $\geq 2$  mm) yang tinggi yaitu  $\geq 70\%$ , hasil ini menurut acuan Bina Marga. Adapun gradasi agregat split mastic asphalt yang dipakai sesuai dengan tabel 3.1. dan gambar 3.1. dibawah ini.

Tabel 3.1. Gradasi Agregat Split Mastic Asphalt dengan Bahan Tambah Serat Selulosa menurut Bina Marga.

Ukuran saringan	Lolos saringan	Ideal
12,7	100	100
11,2	90 - 100	95
8,0	50 - 75	62,5
5,0	30 - 50	40
2,0	20 - 30	25
0,71	13 - 25	19
0,25	10 - 20	15
0,09	8 - 13	10,5

Sumber Data sekunder Proyek Peningkatan Jalan dan Penggantian Jembatan Propinsi Jawa Tengah, Dit.Jend. Bina Marga DPU.





Gambar 3.1. Grafik Analisa Gradasi Campuran Split Mastic Asphalt.

b. Aspal. Aspal yang biasa dipergunakan adalah AC 60-70 dengan persyaratan seperti tabel 3.2. berikut :

Tabel 3.2. Hasil Pemeriksaan Aspal AC 60 - 70

No	Jenis Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Syarat		Satuan
			Min	Maks	
1.	Penetrasi (25°C, 5 detik)	PA.0301 -76	60	79	0,1 mm
2.	Titik Lembek ( Ring & Ball )	PA.0302 -76	48	58	°C
3.	Titik Nyala	PA.0303 -76	200	-	°C
4.	Kehingan Berat (163°C, 5jam)	PA.0304 -76	-	0,8	% berat
5.	Kelarutan(CCL <sub>4</sub> )	PA.0305 -76	99	-	% berat
6.	Daktilitas (25°C, 5cm/menit)	PA.0306 -76	100	-	cm
7.	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	PA.0301 -76	54	-	% awal
8.	Daktilitas Setelah Kehilangan Berat	PA.0306 -76	50	-	cm
9.	Berat Jenis ( 25 °C )	PA.0307 -76	1	-	gram/cc

Sumber Data Sekunder Proyek Peningkatan Jalan Dan Penggantian Jembatan Propinsi Jawa Tengah, Dit.Jend. Bina Marga DPU.

Sifat-sifat aspal yang dominan pengaruhnya terhadap perilaku lapis keras jalan adalah sifat termoplastik dan keawetan.

#### 1. Sifat termoplastik

Aspal merupakan bahan termoplastik maka konsistensinya (*viskositas*) akan berubah dengan berubahnya temperatur. Dengan sifat termoplastik dari aspal akan sangat menguntungkan dari sudut

pelaksanaan konstruksi.

Pada viskositas rendah aspal akan dapat membasahi dan menyelimuti batuan yang dicampurnya sehingga permukaan batuan dapat terselimuti secara merata dengan ketebalan yang cukup. Untuk mendapatkan viskositas yang rendah diperlukan temperatur yang tinggi dengan pemanasan, akan tetapi pemanasan yang terlalu tinggi akan berakibat merusak sifat-sifat aspal sehingga aspal akan cepat mengeras. Sebaliknya pemanasan yang kurang akan berakibat aspal tidak dapat menyelimuti batuan secara merata, sehingga ikatan antar batuan kurang kuat dan akan mengurangi kekuatan lapis keras jalan dalam mendukung beban.

## 2. Sifat keawetan.

Sifat keawetan (durability) aspal didasarkan pada daya tahan terhadap perubahan-perubahan sifat apabila mengalami proses pelaksanaan konstruksi, pengaruh cuaca dan akibat beban lalu-lintas. Sifat keawetan dari aspal yang paling utama adalah daya tahannya terhadap proses pengerasan. Faktor-faktor yang sangat berpengaruh atas terjadinya pengerasan adalah antara lain :

- a. Oksidasi. Adalah terjadinya reaksi antara oksigen dengan aspal. Proses ini tergantung dari sifat aspal dan temperatur. Pada

temperatur biasa efek oksidasi akan memberikan suatu lapisan yang keras pada aspal. Lapisan film ini tipis tetapi apabila terjadi retak-retak maka oksidasi akan terjadi lagi. Aspal yang mengeras menunjukkan durabilitas yang kurang baik.

b. Penguapan (volatilization). Adalah menguapnya bagian-bagian yang mempunyai berat molekul ringan dari aspal karena pengaruh penambahan temperatur dan pengadukan pada suatu pelaksanaan konstruksi. Dengan penambahan temperatur akan mempercepat proses penguapan bagian-bagian aspal, sehingga aspal akan cepat mengeras. Dengan temperatur pemanas yang terlalu tinggi sifat keawetan aspal terhadap proses pengerasan akan lebih pendek waktunya (cepat mengeras).

c. Filler. Dalam hal gradasi campuran beton aspal kurang material lolos dari saringan nomer 200 (0,074 mm) maka perlu diadakan material tambahan yang disebut *filler*. *Filler* yang dapat digunakan : debu batu, kapur, debu dolomit atau semen. Dalam penelitian ini digunakan kapur. *Filler* harus dalam keadaan kering (kadar air maksimal 1 %).

Mengingat gradasi split mastic asphalt adalah *open graded* atau gradasi terbuka dengan prosentase fraksi kasar

yang besar, maka konsekuensinya adalah terdapatnya butiran-butiran yang saling mengunci dan kekakuan adukannya besar peranannya dalam kekuatan campuran.

Dengan tabel gradasi dari material *filler* sesuai dengan tabel 3.3. dibawah ini :

Tabel 3.3. Gradasi Material Filler (SNI. No.1h81737. 1989/F jo. SKBI - 2.426.1987.

Ukuran Saringan		Filler % Lolos Saringan
No. 30	(0,59 mm)	100
No. 50	(0,279 mm)	95 - 100
No. 100	(0,149 mm)	90 - 100
No. 200	(0,074 mm)	65 - 100

Sumber Data Sekunder Proyek Peningkatan Jalan Dan Jembatan Propinsi Jawa Tengah, Dit.Jend. Bina Marga DPU.

Filler yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah Semen portland. Semen merupakan perekat hidrolis dengan kandungan utamanya calcium silicates dan gypsum. Dengan didukung kemampuan hidrolisnya, maka semen yang telah mengeras mempunyai sifat tahan dan tidak larut dalam air.

d. Bahan tambah (additive). Additive sebagai bahan tambah di dalam campuran SMA adalah serat selulosa (*Cellulose fibre*) dengan kadar berkisar antara 0,20% - 0,30% terhadap total campuran.

Persyaratan utama dari Bina Marga yang harus dipenuhi untuk serat selulosa agar dapat digunakan sebagai bahan tambah pada beton aspal campuran panas, antara lain :

1. Mudah terdistribusi secara merata dalam campuran kering beton aspal campuran panas pada temperatur  $160^{\circ}\text{C} - 170^{\circ}\text{C}$ .
2. Dapat dipisahkan atau diekstraksi kembali dari beton aspal campuran panas.
3. Tahan terhadap temperatur beton aspal campuran panas sampai dengan suhu  $250^{\circ}\text{C}$  minimal selama waktu pencampuran.
4. Dengan kadar 0,3 % terhadap berat beton aspal campuran panas dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap temperatur atau titik lembek.

Serat selulosa yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis CF-31500. Hasil pengujian lengkap serat selulosa CF-31500 (Custom Fibers - 31500) adalah seperti dalam tabel 3.4. dibawah ini :

Tabel 3.4. Hasil Pengujian Serat Selulosa CF - 31500

No	Macam Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Peryaratan
1.	Warna	-	Abu-abu	-
2.	PH	-	7,5	$7,5 \pm 1$
3.	Kadar Air	%	4,0	$< 6,0$
4.	Kadar Organik	%	86,0	$< 75,0$
5.	Berat Isi Gembur	gram/lt	30,0	$> 25,0$
6.	Panjang Serat	mikron	$< 5000,0$	maks.5000
7.	Kelelahan akan Asam dan Alkali Tanah	-	baik	baik
8.	Kelelahan Suhu hingga 250 °C	-	baik	baik
9.	Distribusi dalam Campuran Kering, Suhu 170°C	-	merata	merata
10.	Hasil Ekstraksi	%	100,0	100,0
11.	Titik Lembek Aspal Pen.60/70 + Serat Selulosa 97% Aspal + 3% SS	°C	57,8	$\geq 55,0$

Sumber PT.Saranaraya Reka Cipta Jakarta.

## BAB IV

### HIPOTESIS

Split mastic asphalt sebagai lapis permukaan jalan dengan gradasi terbuka mempunyai gradasi agregat kasar berkisar 70 % sampai 80 % ditambah dengan kadar aspal yang cukup tinggi sebesar 6,2 % sampai dengan 7,1 % dari total campuran, serta memerlukan agregat filler yang cukup banyak sangat dipengaruhi oleh jumlah tumbukan pada pematatan.

Penambahan tumbukan dengan berbagai variasi akan mempengaruhi perilaku/sifat-sifat Marshall dari split mastic asphalt, maka penelitian ini akan mengevaluasi pengaruh variasi pematatan terhadap perilaku campuran split mastic asphalt dengan bahan tambah serat selulosa untuk lapisan perkerasan.



## **BAB V**

### **CARA PENELITIAN**

#### **5.1. Bahan**

##### **5.1.1. Asal bahan**

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini, agregat berasal dari daerah Clereng, Kulon Progo hasil alat pemecah batu (*Stone Crusher*) milik PT.PERWITA KARYA Yogyakarta dan aspal yang dipakai adalah jenis AC 60 - 70 produksi Pertamina yang diperoleh dari PT.PERWITA KARYA Yogyakarta. Semen yang dipergunakan yaitu Semen Nusantara produksi PT. SEMEN NUSANTARA Cilacap. Sedangkan serat selulosa yang dipergunakan dalam penelitian ini serat selulosa dengan jenis CF-31500 (*Custom Fibre*) yang diimport dari Amerika Serikat dan sebagai distributor di Indonesia PT.SARANARAYA REKA CIPTA Jakarta.

##### **5.1.2. Persyaratan dan pengujian bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian sebelumnya diuji di laboratorium untuk mendapatkan bahan penelitian yang berkualitas tinggi. Adapun pengujian yang dilakukan sebelumnya adalah :

###### **a. Pemeriksaan Agregat**

Untuk mengetahui kualitas agregat dilakukan pemeriksaan sebagai berikut :

1. Tingkat keausan, ketahanan agregat terhadap penghancuran diperiksa dengan percobaan abrasi yang menggunakan mesin Los Angles berdasarkan PB-0206-76. Nilai abrasi menunjukkan banyaknya benda uji yang hancur akibat tumbukkan dan gesekan antara partikel dengan bola-bola baja pada saat terjadinya putaran. Nilai abrasi  $> 40$  % menunjukkan agregat tidak mempunyai keausan yang cukup untuk digunakan sebagai bahan lapis perkerasan.
2. Daya lekat terhadap aspal, dilakukan sesuai prosedur PB-0205-76. Kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam prosentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap keseluruhan permukaan dan besarnya minimal 95 %.
3. Peresapan agregat terhadap air, dilakukan untuk mengetahui besarnya air yang terserap oleh agregat. Besar 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.
4. Berat jenis (specific gravity), adalah perbandingan antara berat dengan volume agregat.

Dalam penelitian ini untuk mendapatkan volume agregat digunakan air suling. Pemeriksaan berat jenis mengikuti prosedur PB\_0202-76 dengan persyaratan minimum 2,5 gram/cc. Besarnya berat jenis agregat penting untuk diketahui karena perencanaan campuran agregat dengan aspal berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori.

5. Sand equivalent test, dilakukan untuk mengetahui kadar debu/bahan yang menyerupai lempung pada agregat halus. Sand equivalent dilakukan untuk agregat yang lolos saringan no.4 sesuai prosedur PB-0203-76. Nilai yang disyaratkan minimal 50 % adanya lempung dapat mempengaruhi mutu campuran agregat dengan aspal, karena lempung membungkus partikel-partikel agregat sehingga ikatan antara agregat dengan aspal berkurang. Juga adanya lempung mengakibatkan luas permukaan yang diselimuti aspal bertambah.
- b. Pemeriksaan filler

Filler merupakan bagian dari agregat yang mempunyai fraksi sangat halus. Filler dapat berupa debu batu, debu kapur, semen dan lain-lain. Khusus dalam penelitian ini filler yang digunakan adalah semen yang lolos saringan no. 200.

c. Pemeriksaan bahan ikat aspal

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa dilaboratorium. Aspal yang telah memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan dapat digunakan 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. Besarnya angka penetrasi untuk aspal AC 60-70 adalah antara 60 sampai 79.
2. Pemeriksaan titik lembek, pemeriksaan ini dilakukan untuk mencari temperatur pada saat 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 inchi (25,4 mm) dari pelat dasar. Pemeriksaan mengikuti PA-0302-76 dengan nilai yang disyaratkan 48 °C sampai dengan 58 °C.

3. Pemeriksaan 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, dengan besarnya nilai yang disyaratkan minimum 200 °C.
4. Kelarutan dalam CCL<sub>4</sub>, pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan jumlah bitumen yang larut dalam *carbon tetra chloroid*. Jika semua bitumen yang diuji larut dalam CCL<sub>4</sub> maka bitumen tersebut adalah murni. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0305-76.
5. Berat jenis, adalah perbandingan antara berat dan volume aspal. Dalam penelitian ini untuk mendapatkan volume aspal dipergunakan air suling. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0307-76 dengan nilai yang disyaratkan sebesar minimal 1 gr/cm<sup>3</sup>. Berat jenis aspal diperlukan untuk perhitungan dalam analisa campuran.
6. Daktilitas aspal, tujuan dari pemeriksaan ini untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang



yang dapat ditarik antara 2 cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pemeriksaan mengikuti prosedur PA-0308-76. Besarnya daktilitas aspal yang disyaratkan adalah minimal 100 cm.

## 5.2. Perencanaan Campuran Ideal

### 5.2.1 Gradasi agregat ideal

Mengacu pada peraturan dan persyaratan Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, maka gradasi campuran ideal untuk split mastik aspal adalah seperti tabel 5.1 dibawah ini :

Tabel 5.1. Gradasi Split Mastik Asphalt dari Bina Marga

Ukuran saringan	Leleh saringan	Ideal
12,5	100	100
11,2	90 - 100	95
8,0	50 - 75	62,5
5,0	30 - 50	40
2,0	20 - 30	25
0,75	13 - 25	19
0,25	10 - 20	15
0,09	8 - 15	10,5

### 5.2.2. Kadar serat selulosa optimum

Berdasarkan Peraturan dan Persyaratan Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, maka kadar serat selulosa optimum untuk split mastik asphalt adalah sebesar 0,2 % - 0,3 %. Yang mana didalam pelaksanaan proses pencampuran di laboratorium, umumnya dipakai kadar

serat selulosa 0,3 % terhadap total campuran.

### 5.2.3. Kadar aspal optimum

Berdasarkan peraturan dan persyaratan Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, untuk klasifikasi volume lalu lintas berat maka aspal yang dipakai sebagai perencanaan adalah aspal keras (*asphalt cement*) Pen. 60/70 yang memenuhi ketentuan SNI No. 1737.1989-F, dengan variasi kadar aspal dimulai dari 6,2 % - 7,1 %.

Kadar aspal optimum dicari terlebih dahulu dengan memvariasikan kadar aspal 6,2%, 6,5%, 6,8%, dan 7,1%. Tiap benda uji dibuat rangkap tiga. Dari perhitungan ini didapat kadar aspal optimum 6,65 %.

## 5.3. Tahap pelaksanaan pengujian

### 5.3.1. Persiapan benda uji

Untuk penyiapan benda uji, maka langkah-langkah yang ditempuh adalah :

1. Proses pembersihan agregat dari kotoran yang menempel dan dikeringkan sampai diperoleh berat tetap pada suhu  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Untuk selanjutnya agregat-agregat tersebut dipisahkan dengan cara penyaringan kering ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki.
2. Proses penimbangan untuk setiap fraksi dilakukan agar mendapatkan gradasi agregat ideal pada satu takaran campuran. Dimana berat total campuran agregat untuk satu benda uji sebesar 1200 gram, yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

3. Proses pencampuran (*mixing*) dilakukan sebagai berikut :
  - a. Panci pencampur dipanaskan beserta gradasi agregat rencana sampai pada suhu 160 °C.
  - b. Agregat kering diaduk dengan 0,3 % serat selulosa supaya distribusi serat dapat merata pada suhu 150 °C.
  - c. Ditambah aspal AC 60/70 (supaya mencapai tingkat kekentalan rencana) yang telah dipanaskan kedalam campuran agregat dengan takaran yang telah sesuai dengan *mix design*.
  - d. Campuran diaduk (*wet mixing*) selama 45 s/d 50 detik.
4. Proses pemadatan dilakukan sebagai berikut :
  - a. Cetakan benda uji disiapkan sebanyak benda uji yaitu 50x, 60x, 70x, dan 80x, yang dibuat rangkap tiga. Kemudian diberi Vaseline.
  - b. Perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dibersihkan dengan seksama dan dipanaskan pada suhu 93,3 °C s/d 148,9 °C.
  - c. Letakkan selebar kertas saring/kertas penghisap menurut ukuran cetakkan ke dalam dasar cetakan.
  - d. Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakkan pada suhu 140 °C. Kemudian tusuk-tusuk campuran dengan keras menggunakan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali keliling pinggiran dan 10 kali dibagian tengahnya.



- e. Pemasangan dilakukan dengan alat penumbuk dengan variasi 80, 70, 60, 50 kali dengan tinggi jatuh 45,7 cm dan palu pemadat selalu tegak lurus cetakan selama pemadatan dilakukan.
- f. Pelat alas dan leher sambung dilepas kembali dari cetakan benda uji, cetakan yang berisi benda uji dibalikkan. Untuk kemudian plat alas dan leher sambung dipasang kembali ke cetakan benda uji yang telah dibalik.
- g. Pada permukaan benda uji yang telah terbalik, dilakukan tumbukan sesuai variasi 80, 70, 60, 50 kali.
- h. Dengan hati-hati benda uji dikeluarkan dari cetakan dan diletakkan di atas permukaan yang rata selama  $\pm$  24 jam pada suhu ruang.
- i. Kemudian dilakukan penimbangan dan pengukuran dengan ketelitian 0,1 mm terhadap alat ukur.

### 5.3.2. Peralatan

Adapun peralatan yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. Dua belas buah cetakan benda uji lengkap dengan plat alas dan leher sambung.
2. Mesin penumbuk manual.
3. Alat untuk mengeluarkan benda (*ejector*).
4. Alat Marshall lengkap dengan :
  - a. Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung

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

### 5.3.3. Persiapan pengujian

Dalam Persiapan benda uji, maka dilakukan langkah-langkah :

- a. Benda uji dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel untuk selanjutnya dilakukan penimbangan.
- b. Masing-masing benda uji dibuat suatu tanda pengenal.
- c. Benda uji diukur tinggi dan diameternya dengan ketelitian 0,1 mm terhadap alat ukur.
- d. Benda direndam dalam air ± 24 jam pada suhu ruang.
- e. Benda uji ditimbang dalam kondisi di dalam air.
- f. Benda uji ditimbang dalam keadaan kering permukaan jenuh.

#### 5.3.4. Cara pengujian

Cara pengujian benda uji dilakukan sebagai berikut :

- a. Benda uji direndam dalam bak perendam (*water bath*) selama  $\pm$  40 menit dengan suhu perendam sebesar 60 °C.
- b. Kepala penekan alat Marshall dibersihkan dan permukaannya dilumasi dengan vaseline agar benda uji mudah untuk dilepas.
- c. Setelah benda uji dikeluarkan dari *water bath*, segera diletakkan pada alat uji Marshall, yang dilengkapi dengan arloji kelelehan (*flow meter*), dan arloji pembebanan/stabilitas.
- d. Pembebanan dimulai dengan posisi jarum diatur hingga menunjukkan angka nol, sementara selubung tangkai arloji dipegang dengan kuat terhadap segmen atas kepala penekan.
- e. Kecepatan pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit hingga pembebanan maksimum tercapai yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum ukur. Pada saat itu dibaca pembebanan maksimum yang terjadi pada *flow meter*.

#### 5.3.5. Anggapan dasar

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh variasi jumlah tumbukan terhadap perilaku campuran split mastic asphalt. Yang dimaksud perilaku campuran split mastic asphalt disini adalah pengaruh terhadap nilai-nilai density, VFWA, Stabilitas, flow, Quotient Marshall dan

madulus kekakuan (E).

Dalam pelaksanaan penelitian ini dianggap bahwa peralatan selama berlangsungnya penelitian ini dalam keadaan standar. Selain itu variasi didalam pengerjaan pembuatan benda uji (sampel) dianggap relatif kecil atau dapat diabaikan. Sedangkan bahan-bahan untuk penelitian seperti agregat dan aspal dalam keadaan yang sama, maksudnya bahwa kualitas bahan dianggap sama seperti pada hasil pengujian bahan.

#### 5.3.6. Cara analisis

Dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium, diperoleh data-data antara lain :

- a. Benda uji sebelum direndam air (gram)
- b. Berat benda uji di dalam air (gram)
- c. Berat benda uji kering permukaan, SSD (gram)
- d. Tebal benda uji (mm)
- e. Pembacaan arloji stabilitas (lbs)
- f. Pembacaan arloji flow (mm)

Dari data-data diatas dapat dihitung harga-harga dari density, VIM, VFWA, flow, stabilitas dan Marshall Quotient. Cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Berat jenis maksimum teoritis (h)

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

BJ agregat merupakan gabungan antara BJ agregat kasar dan BJ agregat halus yang dicari dengan rumus

$$\text{BJ agregat} = \frac{100}{\frac{a}{F1} + \frac{b}{F2} + \frac{c}{F3} + \frac{d}{F4} + \frac{B}{2}}$$

Keterangan :

a = % agregat max size 3/4"

b = % agregat max size 1/2"

c = % semen

d = % pasir

B = berat jenis (bulk) dari total agregat

F1 = BJ semu (apparent) agregat max size 3/4"

F2 = Bj semu (apparent) agregat max size 1/2"

F3 = BJ semu (apparent) semen

F4 = BJ semu (apparent) pasir

Dimana :

$$B = \frac{100}{\frac{a}{X1} + \frac{b}{X2} + \frac{c}{X3} + \frac{d}{X4}}$$

Keterangan :

a = % agregat max size 3/4"

b = % agregat max size 1/2"

c = % semen

d = % pasir

X1 = BJ (bulk) agregat max size 3/4"

X2 = BJ (bulk) agregat max size 1/2"

X3 = BJ (bulk) semen

X4 = Bj (bulk) pasir

2. VFWA = % rongga terisi aspal (m)

$$\text{Dipakai rumus, } m = \frac{100}{i/L}$$

Dimana, i = rumus substitusi

L = % rongga terhadap agregat

3. Flow (kelelehan)

Nilai flow dari arloji "flow" yang menyatakan besarnya deformasi benda uji dalam satuan 0,01 mm.

4. Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh dari hasil pembacaan arloji stabilitas alat tekan Marshall. Nilai ini masih harus dikoreksi dengan kalibrasi alat dan angka koreksi ketebalan (lihat tabel 5.2). Nilai stabilitas terpakai diperoleh dengan rumus :

$$q = 10,2 \times s \times 0,4536 \times t \quad (\text{kg})$$

Dimana :

q = Nilai stabilitas

s = Pembacaan arloji stabilitas

t = Angka koreksi tebal benda uji

10,24 = Kalibrasi alat

0,4536 = Perubahan satuan (lb menjadi kg)

5. Marshall Quotient (MQ)

$$\text{MQ} = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}}$$

Tabel 5.2. Angka koreksi tebal benda uji

Isi benda uji (cm <sup>3</sup> )	Tebal (mm)	Angka koreksi
200 - 213	25,4	5,56
214 - 225	27,0	5,00
226 - 237	28,6	4,55
238 - 250	30,2	4,17
251 - 264	31,8	3,85
265 - 276	33,3	3,57
277 - 289	34,9	3,33
290 - 301	36,5	3,03
302 - 316	38,1	2,78
317 - 328	39,7	2,50
329 - 340	41,3	2,27
341 - 353	42,9	2,08
354 - 367	44,4	1,92
368 - 379	46,0	1,79
380 - 392	47,6	1,67
393 - 405	49,2	1,56
406 - 420	50,8	1,47
421 - 431	52,4	1,39
432 - 443	54,0	1,32
444 - 456	55,6	1,25
457 - 470	57,2	1,19
471 - 482	58,7	1,14
483 - 495	60,3	1,09
496 - 508	61,9	1,04
509 - 522	63,5	1,00
523 - 535	64,0	0,96
536 - 546	65,1	0,93
547 - 559	66,7	0,93
560 - 573	68,3	0,89
574 - 585	71,4	0,86
586 - 598	73,0	0,81
599 - 610	74,6	0,78
611 - 625	76,2	0,76

Sumber : Petunjuk praktikum jalan raya

## BAB VI

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 6.1. Hasil Penelitian

Dari serangkaian pengujian bahan dan campuran Split Mastic Asphalt dengan cara Marshall diperoleh hasil seperti terlihat pada tabel 6.1 sampai dengan tabel 6.6 sebagai berikut :

##### 6.1.1. Hasil pengujian bahan

Tabel 6.1. Persyaratan agregat kasar dan hasil pengujian laboratorium.

Jenis Pemeriksaan	Syarat	Hasil
1. Keausan dengan mesin Los angeles(%)	maks,40	34,64
2. Kelekatan terhadap aspal(%)	> 95	>95
3. Peresapan terhadap air(%)	maks.3	2,914
4. Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	min.2,5	2,514

Sumber hasil penelitian di laboratorium jalan raya Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Tabel 6.2. Persyaratan agregat halus dan hasil pengujian laboratorium.

Jenis Pemeriksaan	Syarat	Hasil
1. Nilai sand equivalent (%)	min.50	95
2. Peresapan terhadap air (%)	maks.3	1,01
3. Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	min. 2,5	2,78

Sumber hasil penelitian di laboratorium jalan raya Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.



Tabel 6.3. Persyaratan aspal AC 60-70 dan hasil penelitian laboratorium.

Jenis pemeriksaan	Syarat min.	Syarat max.	Hasil
1. Penetrasi (0,1 mm)	60	79	69,8
2. Titik lembek ( $^{\circ}$ C)	48	58	53,5
3. Titik nyala ( $^{\circ}$ C)	200	-	345
4. Kelarutan dalam CCL <sub>4</sub> (%)	99	-	99,10
5. Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	1	-	1,024
6. Pemeriksaan Daktilitas	100	-	109,5

Sumber hasil penelitian di laboratorium jalan raya Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dari hasil pengujian bahan-bahan seperti diatas, bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan sebagai bahan penelitian.

#### 6.1.2. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

Dari analisis terhadap prosentase aspal yang divariasikan dan dengan jumlah tumbukan 75 kali, yang diuji dengan tes marshall maka diperoleh kadar aspal optimum 6.65 %. Hasil tersebut didapat dari data hasil dan hitungan.

Contoh hitungan hanya disajikan untuk kadar aspal 6,2 %, hitungannya adalah sebagai berikut :

$$\text{- berat jenis aspal : } 1,024 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{- a = \% aspal terhadap batuan = } 6,2 \%$$

$$\begin{aligned} \text{- b = \% aspal terhadap campuran} &= \frac{6,2}{100+6,2} \times 100\% \\ &= 5,838 \% \end{aligned}$$

$$\text{- c = berat sebelum direndam} = 1181 \text{ gram}$$

- d = berat dalam keadaan jenuh = 1192 gram
- e = berat dalam air = 685 gram
- f = vol(isi) = d - e = 507 gram
- g = berat isi sampel =  $\frac{c}{f} = 2,329$
- h = berat jenis maksimum teoritis = 2,410
- i =  $\frac{b \times g}{\text{B.J. aspal}} = 13,28$
- j =  $\frac{(100-b)g}{\text{B.J. agregat}} = 82,85$
- k = (100-i-j) jumlah kandungan rongga = 3,868
- l = (100-j) rongga terhadap agregat = 17,148
- m =  $\left[100 \times \frac{i}{l}\right]$  rongga yang terisi aspal (VFWA) = 77,440
- n =  $(100) - \left(100 \times \frac{g}{h}\right) = 3,3637$
- o = pembacaan arloji (stabilitas) = 176
- q = p x koreksi tebal sampel (STABILITAS) = 739,83
- r = FLOW (kelelahan plastis) = 3,048

Untuk hasil hitungan kadar aspal 6,2, 6,5, 6,8, dan 7,1 % dapat dilihat pada tabel 6.4.

Tabel 6.4. Tes marshall dengan variasi aspal.

Karakteristik	kadar aspal			
	6,2 %	6,5 %	6,8 %	7,1 %
VIM (%)	3,3472	3,1177	3,0700	3,0081
VFWA (%)	77,569	79,107	82,038	83,471
Stabilitas (kg)	794,54	1133,6	1667,2	1820,0
Flow (mm)	2,6246	2,794	3,048	3,1326

Sumber hasil penelitian di laboratorium jalan raya Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

### 6.1.3. Hasil Pengujian

Dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium, diperoleh nilai-nilai VIM (Void In the Mix = % rongga dalam campuran), stabilitas, flow dan Marshall quotient seperti yang terdapat pada tabel 6.5 sebagai berikut :

Contoh hitungan hanya disajikan untuk 50 x pukulan hitungannya adalah sebagai berikut :

- berat jenis aspal :  $1,024 \text{ gr/cm}^3$
- a = % aspal terhadap batuan = 6,65 %
- b = % aspal terhadap campuran =  $\frac{6,65}{100+6,65} \times 100\%$   
= 6,244 %
- c = berat sebelum direndam = 1178 gram
- d = berat dalam keadaan jenuh = 1185 gram
- e = berat dalam air = 671 gram
- f = vol(isi) = d-e = 514 gram

- $g = \text{berat isi sampel} = \frac{c}{f} = 2,291$
- $h = \text{berat jenis maksimum teoritis} = 2,394$
- $i = \frac{b \times g}{\text{B.J. aspal}} = 13,97$
- $j = \frac{(100-b)g}{\text{B.J. agregat}} = 81,16$
- $k = (100-i-j) \text{ jumlah kandungan rongga} = 4,861$
- $l = (100-j) \text{ rongga terhadap agregat} = 18,836$
- $m = [100 \times \frac{i}{l}] \text{ rongga yang terisi aspal (VFWA)} = 74,19$
- $n = (100 - (100 \times \frac{g}{h})) = 4,3043$
- $o = \text{pembacaan arloji (stabilitas)} = 190$
- $q = p \times \text{koreksi tebal sampel (STABILITAS)} = 853,84$
- $r = \text{FLOW (kelelahan plastis)} = 3,81$

Untuk hasil hitungan variasi pukulan 50x, 60x, 70x dan 80x dapat dilihat pada tabel 6.5.

Tabel 6.5. Hasil test Marshall variasi tumbukan.

VARIASI TUMBUKAN				
Karakteristik	50x	60x	70x	80x
Density (%)	2,287	2,307	2,312	2,332
VIM (%)	4,5051	3,6391	3,3469	2,6260
VFWA (%)	73,390	77,016	78,308	81,743
Stabilitas (kg)	859,293	948,755	881,784	846,825
Flow (mm)	3,72533	3,556	3,175	2,963
QM (Kg/mm)	230,6623	266,80	277,72	285,76

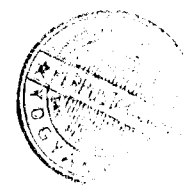
Sumber hasil penelitian laboratorium jalan raya Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

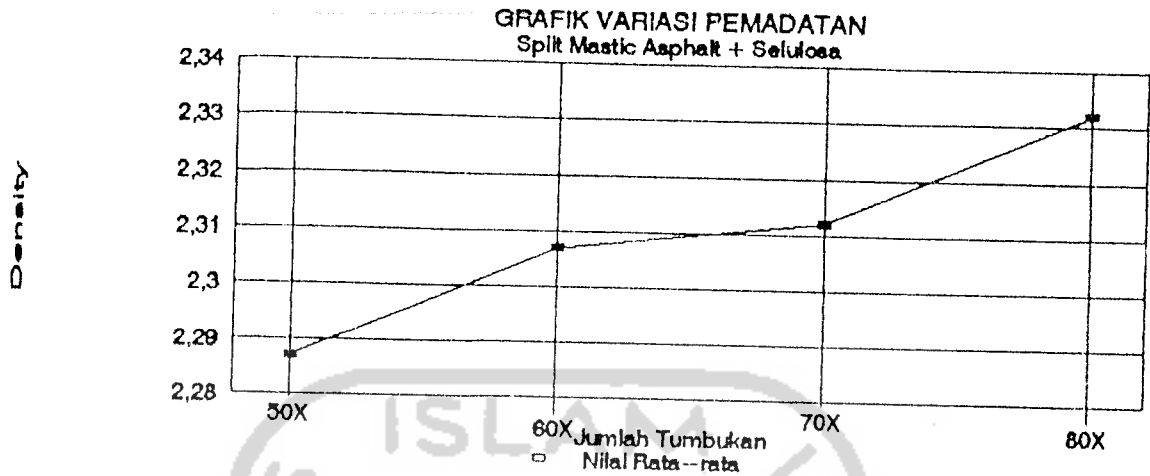
## 6.2. Pembahasan

### 6.2.1. Pengaruh terhadap kepadatan (density)

Nilai density menunjukkan besarnya derajat kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Campuran dengan density yang tinggi akan mampu menahan beban yang besar apabila dibandingkan dengan campuran kepadatan yang lebih rendah. Nilai kepadatan campuran ini dipengaruhi oleh kualitas bahan dan cara pemadatannya. Campuran akan mempunyai kepadatan yang tinggi apabila bentuk agregat tidak beraturan, porositas agregat rendah, kadar aspal yang tinggi (cukup untuk menyelimuti permukaan agregat), pemadatan pada suhu tinggi (viskositas aspal rendah) dan cara-cara pengerjaan yang benar.

Pada gambar 6.1 terlihat bahwa nilai density semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah tumbukan.





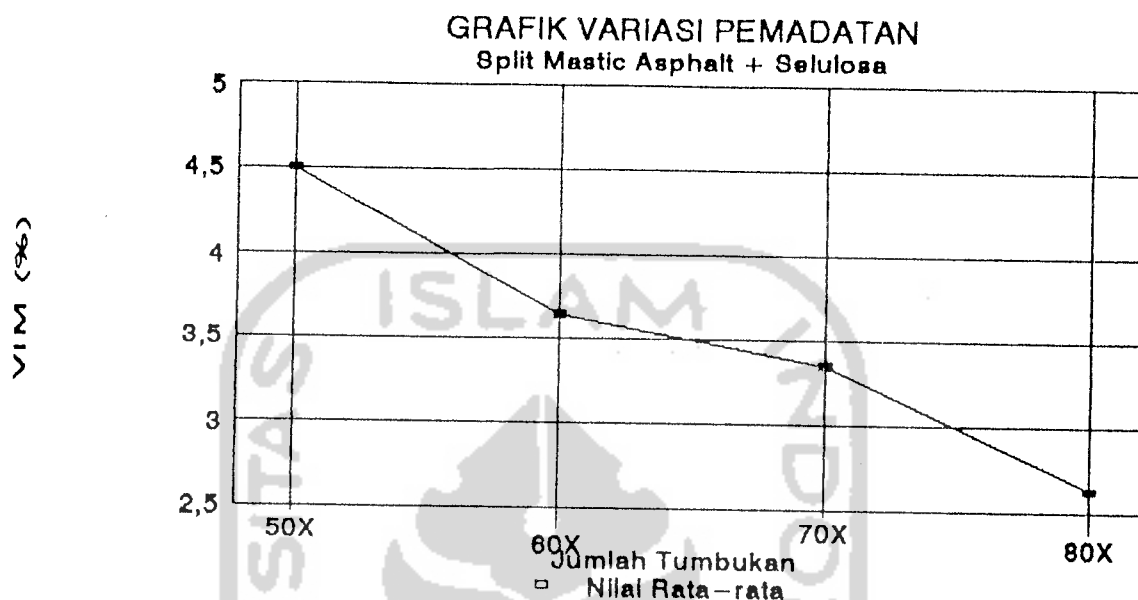
Gambar 6.1. Nilai variasi pemadatan dengan density

#### 6.2.2. Pengaruh terhadap VIM (Void In Mix)

Volume rongga dalam campuran (VIM), biasanya dinyatakan dalam persen rongga dalam campuran total. Nilai VIM berpengaruh terhadap kekedapan campuran. Apabila nilai VIM besar berarti banyak rongga yang terjadi dalam campuran tersebut sehingga campuran kurang kedap terhadap udara dan air, akibatnya aspal akan mudah teroksidasi sehingga menimbulkan kerusakan. Selain itu nilai VIM juga menunjukkan nilai kekakuan campuran. Campuran yang mempunyai nilai VIM yang kecil menunjukkan kekakuan dengan campuran yang tinggi.

Dengan meningkatnya jumlah pukulan dalam pemadatan menghasilkan VIM yang semakin kecil, seperti terlihat pada gambar 6.2. Hal ini karena pada waktu pemadatan partikel agregat dapat merapat dan butir bahan pengisi akan

mengisi rongga yang ada sehingga agregat menjadi lebih rapat dan memperkecil rongga yang terjadi.



Gambar 6.2. Nilai variasi pemadatan dengan VIM

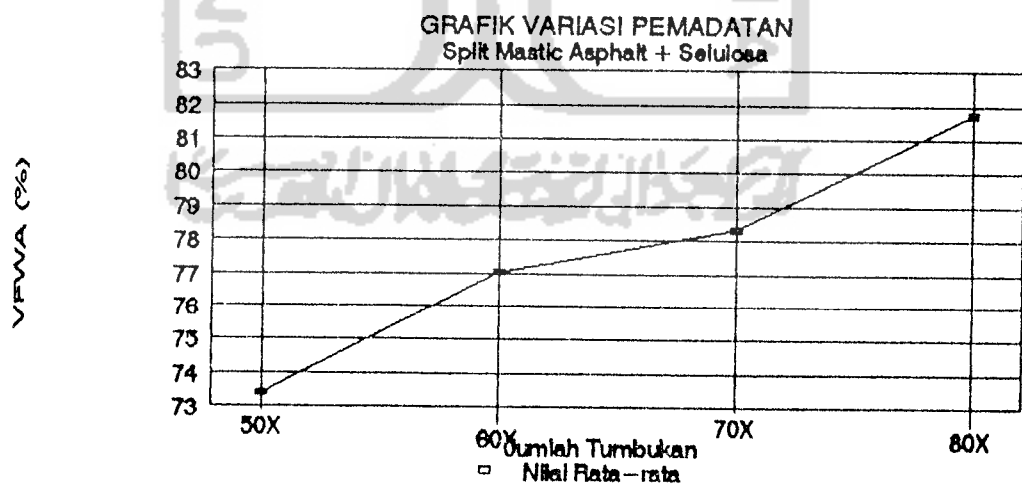
### 6.2.3. Pengaruh terhadap VFWA (Void Filled With Asphalt)

Nilai VFWA menunjukkan besarnya rongga yang dapat terisi aspal. Besarnya nilai VFWA berpengaruh terhadap keawetan suatu perkerasan. Apabila VFWA besar berarti banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedapannya terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Akan tetapi nilai VFWA yang terlalu besar menyebabkan bleeding, yang disebabkan karena rongga yang terisi terlalu kecil, bila perkerasan menerima beban maka sebagian aspal akan mencari tempat kosong (rongga). Jika rongga yang tersedia telah terisi aspal maka aspal akan naik ke permukaan.

Sebaliknya bila nilai VFWA terlalu kecil berarti rongga yang ada cukup besar. Kedekatan perkerasan akan semakin kecil, karena air dan udara akan mengoksidasi aspal dalam campuran sehingga keawetan berkurang.

Dari tabel 6.5 data hasil penelitian terlihat bahwa variasi jumlah pukulan pada pemadatan berpengaruh terhadap nilai VFWA. Dengan semakin besarnya jumlah pukulan pada pemadatan maka nilai VFWA akan meningkat, karena butir pengisi yang terselimut aspal mengisi rongga lebih banyak. Dengan banyaknya butir pengisi ini menyebabkan prosentase rongga yang terisi aspal akan semakin meningkat.

Dari hasil penelitian dilakukan, variasi pukulan pada pemadatan yang memenuhi persyaratan yaitu 60, 70, 80 pukulan sebesar > 75 %, hal ini dapat dilihat pada gambar 6.3 berikut ini.



Gambar 6.3. Nilai Variasi pemadatan dengan VFWA

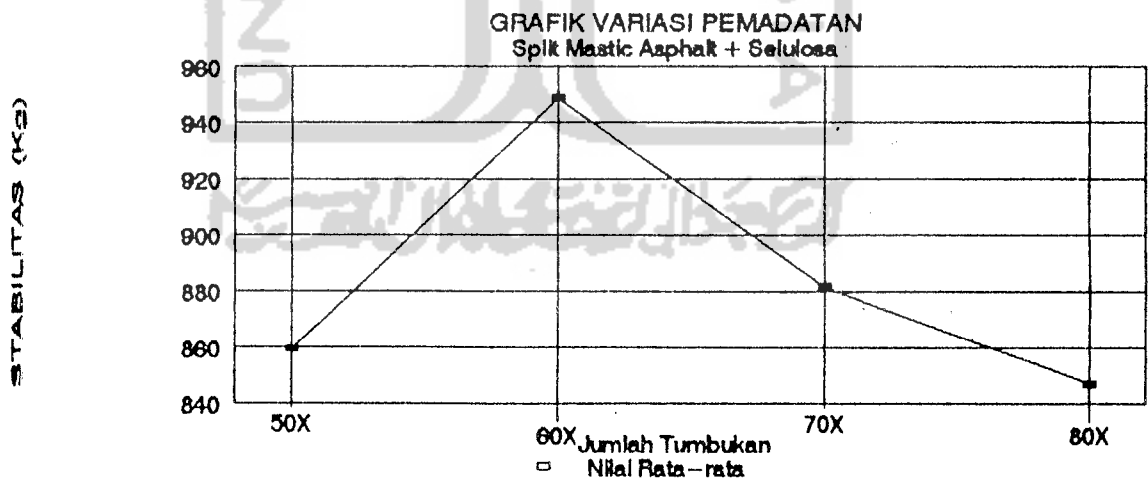


#### 6.2.4. Pengaruh terhadap stabilitas

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja. Perkerasan yang mempunyai nilai stabilitas yang tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas yang besar.

Hubungan variasi pukulan pada pemadatan Split Mastic Asphalt pada gambar 6.5 data hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai jumlah pukulan 50, 60 terjadi peningkatan stabilitas sedangkan jumlah pukulan 70 dan 80 terjadi penurunan.

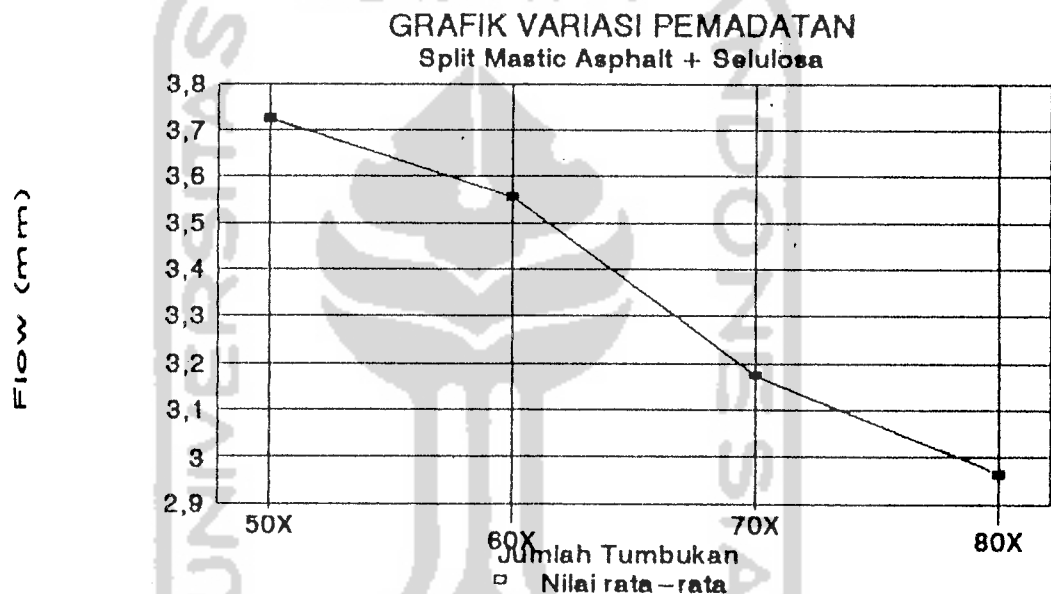
Stabilitas yang disyaratkan adalah minimum 750 kg. Lapis keras dengan nilai stabilitas < 750 kg akan mudah terjadi rutting karena perkerasan bersifat lembek sehingga tidak mampu mendukung beban yang berat. Gambar 6.4.



Gambar 6.4. Nilai variasi pemadatan dengan stabilitas

### 6.2.5. Pengaruh terhadap Flow

Flow atau kelelehan menunjukkan besarnya deformasi dari campuran akibat beban yang bekerja. Dengan bertambahnya jumlah pukulan menyebabkan semakin menurunnya nilai Flow. Dari tabel 6.5 terlihat hasil penelitian variasi pukulan diperoleh nilai flow sesuai spesifikasi yang ada. Dapat dilihat pada gambar 6.5 berikut ini.



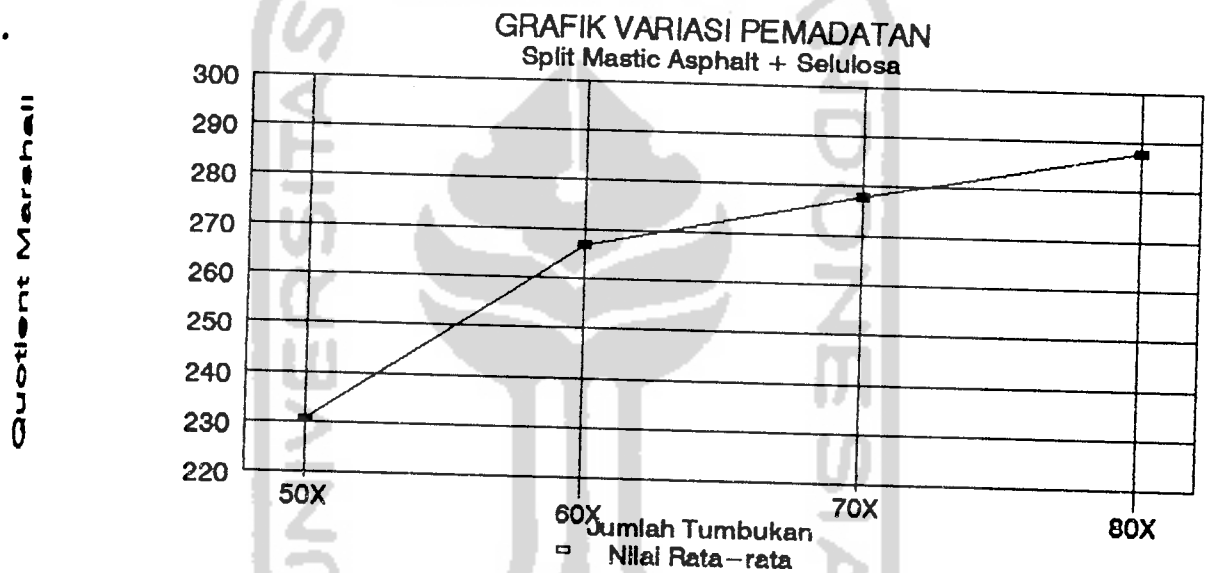
Gambar 6.5. Nilai variasi pemadatan dengan flow

### 6.2.6. Pengaruh terhadap nilai QM (Quotient Marshall)

Nilai Quotient Marshall merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran. Apabila campuran mempunyai nilai QM yang tinggi berarti campuran kaku dan fleksibilitasnya rendah. Sebaliknya bila nilai QM kecil campuran akan fleksibel dan campuran

menjadi plastis sehingga akan mengalami deformasi yang cukup besar pada waktu menerima beban. Besarnya nilai QM ini mencerminkan tingkat plastisitas lapis keras split mastic asphalt.

Besarnya nilai QM sehubungan dengan variasi pukulan pada pemadatan terlihat bahwa meningkat dari jumlah pukulan 50, 60, 70, 80. Seperti terlihat pada gambar 6.6.



Gambar 6.6. Nilai variasi dengan Quotient Marshall

#### 6.2.7. Modulus kekakuan aspal (S bit)

Pada perhitungan aspal stiffness (modulus kekakuan aspal) dengan menggunakan nomogram dikembangkan oleh Vander Poel dan formula diturunkan oleh Ullidz. Pada penentuan nilai kekakuan aspal ini temperatur perkerasan yang digunakan adalah temperatur perkerasan rata-rata di

Indonesia yaitu  $30^{\circ}\text{C}$ . Panjang jejak roda diambil 25 cm, dengan asumsi kecepatan kendaraan ( $V$ ) = 50 km/jam.

Contoh perhitungan :

a. Modulus kekakuan aspal ( $S_{bit}$ ) menggunakan nomogram Van der Poel

$t$  = waktu pembebanan (detik)

$v$  = kecepatan kendaraan (km/jam), diambil 50 km/jam

$l$  = panjang jejak roda (cm), diambil 25 cm

$T$  = temperatur rencana perkerasan ( $^{\circ}\text{C}$ ), diambil  $30^{\circ}\text{C}$

$$1. t = \frac{l}{v} \quad (\text{detik})$$

$$= \frac{0,25 \cdot 3600}{50000}$$

$$= 0,018 \text{ detik}$$

2. Titik lembek aspal ( $Trb$ ) =  $53,5^{\circ}\text{C}$

3. Penetrasi aspal pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  ( $Pi$ ) =  $69,8^{\circ}\text{C}$

4. Suhu antara ( $Trb - T$ ) =  $53,5^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C} = 23,5^{\circ}\text{C}$

5. Penetration Index ( $PIr$ )

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

$$PIr = \frac{27 \log 69,8 - 21,65}{76,35 \log 69,8 - 232,82}$$

$$= - 0,3057$$

Dari data (1), (4), dan (5) dengan nomogram Van der Poel, maka didapat nilai kekakuan aspal ( $S_{bit}$ ) sebesar =  $3,8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ .

b. Modulus kekakuan (S bit) menggunakan formula Ullidz

$$\begin{aligned} P_r &= 0,65 \cdot P_i \\ &= 0,65 \cdot 69,8 \\ &= 45,37 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} P_{Ir} &= \frac{27 \log 69,8 - 21,65}{76,35 \log 69,8 - 232,82} \\ &= -0,3057 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{Pr} &= 94,8 - 26,35 \log P_r \\ &= 94,8 - 26,35 \log 45,37 \\ &= 51,144 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} S_b &= 1,157 \times 10^{-7} x 0,018^{-0,368} x 2,718^{(-0,3057)} x (51,144 - 30)^5 \\ &= 2,911245869 \text{ MPa} \\ &= 2,9 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Dari kedua cara tersebut diatas untuk mencari nilai kekakuan aspal baik yang menggunakan nomogram Van der Poel maupun dengan rumus Ullidz didapat nilai yang tidak terlalu jauh berbeda.

#### 6.2.8. Modulus kekakuan campuran (S mix)

Pada penelitian ini dicari nilai modulus kekakuan campuran dengan menggunakan nomogram dari Shell.

Contoh perhitungan :

Nomogram dari Shell

Sebagai contoh diambil dari sampel dengan jumlah tumbukan 70x.

$$S \text{ bit} = 3,8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

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

$$V_v = \frac{(\sigma_{mx} - \sigma_m) \times 100}{\sigma_{max}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{100 \times w}{(M_b/G_b) + (M_a/G_a)}$$

$$M_a = \frac{1200 - 79,8}{1200} \times 100\% = 93,35\%$$

$$M_b = \frac{79,8}{1200} \times 100\% = 6,65\%$$

$$\sigma_{max} = \frac{100 \times 1}{(6,65/1,024) + (93,35/2,6474)} = 2,3949$$

$$V_v = \frac{(2,3949 - 2,309) \times 100}{2,3949} = 3,5867$$

$$V_b = \frac{(100 - 3,720) \cdot (6,65/1,024)}{(6,65/1,024) + (93,35/2,6474)} = 14,995$$

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

$$V_g = 100\% - 3,5867 - 14,995$$

$$= 81,41815$$

Dari hasil perhitungan diatas selanjutnya dicari nilai kekakuan campuran dari nomogram Shell. Dari nomogram tersebut didapat kekakuan campuran =  $8,0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ .

Hasil perhitungan seluruh sampel dapat dilihat pada tabel 6.6.

Tabel 6.6. Perhitungan kekakuan campuran dari nomogram Shell

No	Pukulan	$f_{max}$	Tabel Marshall (g)	Vv	Vb	Vg	Kekakuan campuran ( $\text{N/m}^2$ ) $\times 10^8$
1	50	2,3949	2,276	4,964716	14,78075	80,25453	7,03
2	50	2,3949	2,291	4,338385	14,87816	80,78345	7,01
3	50	2,3949	2,293	4,254874	14,89115	80,85397	7,12
1	60	2,3949	2,303	3,837320	14,93609	81,20658	7,70
2	60	2,3949	2,31	3,545033	15,00155	81,45341	8,10
3	60	2,3949	2,309	3,586788	14,99505	81,41815	8,00
1	70	2,3949	2,309	3,586788	14,99505	81,41815	8,00
2	70	2,3949	2,314	3,378011	15,02752	81,59445	8,23
3	70	2,3949	2,314	3,378011	15,02752	81,59445	8,23
1	80	2,3949	2,323	3,002213	15,08597	81,91180	8,90
2	80	2,3949	2,351	1,833061	15,26781	82,89912	8,80
3	80	2,3949	2,32	3,127479	15,06649	81,80602	8,77

## BAB VII

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai density yang meningkat dari 2,287%, 2,307%, 2,312%, 2,332%, seiring dengan bertambahnya pukulan 50x, 60x, 70x, 80x. Hal ini karena kerapatan campuran yang meningkat.
2. Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada jumlah pukulan 60x.
3. Campuran split mastic asphalt + serat selulosa dengan pukulan 50x, 60x, 70x, 80x, menghasilkan nilai flow mengecil yaitu 3,72 mm, 3,55 mm, 3,17 mm, 2,96 mm. Nilai tersebut sesuai dengan spesifikasi Bins Marga yaitu antara 2-4 mm.
4. Dari hasil penelitian didapat bahwa nilai VIM (Void In Mix) mengecil dengan bertambahnya jumlah pukulan, yaitu untuk pukulan 50x, 60x, 70x, 80x, menghasilkan nilai VIM (Void In Mix) yang mengecil 4,505%, 3,639%, 3,346%, 2,628%.
5. Makin banyak jumlah pukulan nilai VFWA (Void Filled With Asphalt) makin besar, yaitu untuk jumlah pukulan 50x, 60x, 70x, 80x, nilai VFWA (Void Filled With Asphalt) 73,39%, 77,01%, 78,30%, 81,74%.



6. Dari hasil penelitian didapat bahwa nilai QM (Quotient Marshall) meningkat dengan bertambahnya jumlah pukulan, yaitu untuk pukulan 50x, 60x, 70x, 80x, menghasilkan nilai QM (Quotient Marshall) 230,66 kg/mm, 266,80 kg/mm, 277,72 kg/mm, 285,76 kg/mm. Nilai tersebut sesuai dengan spesifikasi Bina Marga yaitu antara 100 kg/mm - 300 kg/mm.
7. Dari hasil yang disebutkan pada butir 1 - 6 Maka dapat disimpulkan bahwa jumlah pukulan optimum adalah berkisar antara 54-74 pukulan.

#### 7.2. Saran-saran

Melihat hasil penelitian yang kami lakukan, dengan tidak menutupi kemungkinan terjadi penyimpangan maka kami sarankan hendaknya dapat ditindak lanjuti oleh yang berwenang dan berkepentingan dalam split mastic aspal ini. Karena untuk lalulintas berat pemadatan optimum berada dibawah 75 kali pukulan, yaitu antara 54 sampai dengan 74 pukulan.

Dari pengalaman melaksanakan penelitian di laboratorium dapat dikemukakan saran sebagai berikut :

1. Agar suatu penelitian berjalan lancar dan berhasil dengan baik, maka sebelum melakukan penelitian selain mengetahui prosedur pelaksanaannya juga harus mengetahui teorinya terlebih dahulu. Sehingga apabila terjadi penyimpangan hasil dapat diketahui sejak awal.

2. Karena sifatnya percobaan pengujian di laboratorium maka diperlukan ketelitian dalam pengukuran, penimbangan serta ketelitian dalam pembacaan data yang dihasilkan. Begitu pula untuk ketentuan-ketentuan yang berhubungan dengan penelitian harus diawasi secara ketat.



## PENUTUP

Demikian penyusunan tugas akhir ini, namun disadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, baik dari materi maupun dari penyampaiannya yang semata-mata karena keterbatasan waktu dan dana serta keterbatasan kemampuan peneliti, maka dari itu peneliti mengharapkan saran-saran dari pembaca demi sempurnanya tulisan ini. Atas saran dan kritik yang diberikan, untuk itu diucapkan banyak terima kasih sebelumnya.

Akhirnya diharapkan agar tugas akhir ini dapat berguna dan ditindak-lanjuti bagi pembaca rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil pada khususnya maupun masyarakat pada umumnya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anex, 1978, Shell Pavement Design Manual (Asphalt Pavements and Overlays for Road Traffic), London.
2. Craus J. Ishai I, dan Side A, 1982, Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Type and Properties, Proc. of the Ass. asphalt Paving Technology, Vol. 52.
3. Dalimin BRE, 1982, Pengaspalan (Surface Course).
4. D. Croney, 1977, The Design and Performance of Road Pavement, London.
5. Djoko Murwono dan Dewanti, 1996, Bahan Jalan dan Metode Pelaksanaan (Kursus Manajemen Pelaksanaan Pembangunan Jalan), Yogyakarta.
6. D.U. Sudarsono, 1982, Konstruksi Jalan Raya, Jakarta.
7. D.U. Sudarsono, 1985, Rencana Campuran (Mix Design), Jakarta.
8. Kerbs R. D. And Walker R. D., Highway Material, Mc Graw Hill Book Company, Virginia.
9. Lismanto dan Mohammad As'ad, 1993, Mekanisme Stabilitas Aspal oleh Serat Selulosa di dalam Campuran Split Mastic Asphalt, Jakarta.
10. Moh. Ali Khairudin, 1993, Tinjauan Umum Hasil Aplikasi Split Mastic Asphalt, Jakarta.
11. Silvia Sukirman, 1992, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Yogyakarta.
12. Stephen Brown, 1990, The Shell Bitumen Handbook, London.



# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kallurang Km.14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584

## PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT

LOLOS SARINGAN	TERTAHAN SARINGAN	BENDA UJI
72,2 mm	63,5 mm	
63,5 mm	50,8 mm	
50,8 mm	37,5 mm	
37,5 mm	25,4 mm	
25,4 mm	19,0 mm	
19,0 mm	12,5 mm	2500
12,5 mm	9,5 mm	2500
9,5 mm	6,3 mm	
6,3 mm	4,75 mm	
6,75 mm	2,36 mm	
JUMLAH BENDA UJI		5000
JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12 (B)		3268
(A - B)		
KEAUSAN = $\frac{A - B}{A} \times 100\%$		34,64 %

Mengetahui Kepala Laboratorium



*IR. SUBARKAH, MT*

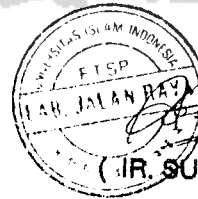
( IR. SUBARKAH, MT )

**LABORATORIUM JALAN RAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII**  
 Jl. Kaliurang Km.14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584

**PEMERIKASAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR**

KETERANGAN	BENDA UJI
Berat benda uji dalam keadaan jenuh (SSD) (BJ)	1024
Berat benda uji dalam air (BA)	628
Berat benda uji kering oven (BK)	995
Berat jenis (Bulk) $\frac{(BJ - BA)}{(BJ)}$	2,5139
Berat jenis (SSD) $\frac{(BJ - BA)}{(BK)}$	2,5859
Berat jenis semu (Apparent) $\frac{(BK - BA)}{(BJ - BK)}$	2,7112
Penyerapan (Absorption) $\frac{(BK - BA)}{(BK)} \times 100 \%$	2,9146

Mengetahui Kepala Laboratorium



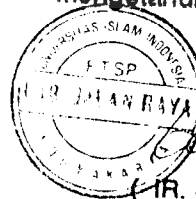
( IR. SUBARCAH, MT )

**LABORATORIUM JALAN RAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
 Jl. Kaliurang Km14,4 Telp.p5330 Yogyakarta 55584

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS**

KETERANGAN	BENDA UJI
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500
Berat Vionometer + Air (B)	723
Berat Vionometer + Air + Benda uji (BT)	1045
Berat benda uji kering oven (BK)	495
Berat jenis (Bulk) $\frac{(B + 500 - BT)}{(500)}$	2,7809
Berat jenis (SSD) $\frac{(B + 500 - BT)}{(BK)}$	2,809
Berat jenis semu (Apparent) $\frac{(B + BK - BT)}{(500 - BK)}$	2,8613
Penyerapan (Absorption) $----- \times 100 \%$	1,0101 %

Mengetahui Kepala Laboratorium



(IR. SUBARCAH, MT)

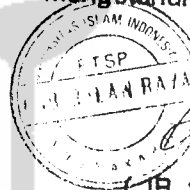


**LABORATORIUM JALAN RAYA**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII  
Jl. Kaliurang 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL**

No	URUTAN PEMERIKSAAN	BERAT
1	Berat vichometer kosong	26,60 gram
2	Berat vichometer + aquades penuh	76,65 gram
3	Berat air (2 - 1)	50,05 gram
4	Berat vichometer + contoh aspal	29,95 gram
5	Berat contoh aspal (4 - 1)	3,35 gram
6	Berat vichometer + contoh + aquadest	76,73 gram
7	Berat airnya saja (6 - 4)	46,78 gram
8	Isi contoh/air yang dipindahkan (3 - 7)	3,27 gram
9	Berat jenis aspal (5/8)	1,024

Mengetahui Kepala Laboratorium



( IR. SUBARCAH, MT )

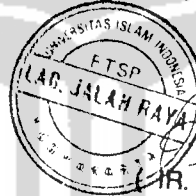
**LABORATORIUM JALAN RAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII**  
 Jl. Kaliurang Km.14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL**

Sket Hasil Pemeriksaan	No	Cawan I	Cawan II
+ 5	1	66	74,5
+ 4 + 1 + 2	2	77	69
	3	74	75
+ 3	4	69	60
	5	66,5	67
<b>Rata-rata</b>		<b>70,5</b>	<b>69,1</b>

$$\text{Rata-rata Penetrasi} = \frac{I + II}{2} = \frac{70,5 + 69,1}{2} = 69,8$$

Mengetahui Kepala Laboratorium



(R. SUBARCAH, MT)

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta 55584

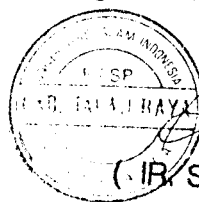
## PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN TITIK BAKAR ASPAL

Cawan	Titik nyala	Titik bakar
I	350 C	375 C
II	340 C	360 C
Rata-rata	345 C	367,5 C

## PEMERIKSAAN TITIK LEMBЕК ASPAL

Suhu yang diamati ( C)	Waktu I (detik)	Waktu II (detik)
5	0	0
10	150	150
15	267	267
20	275	275
25	335	335
30	445	445
35	555	555
40	565	565
45	608	608
50	666	666.5
Suhu titik lembek	53 C	54
Suhu rata-rata		53,5 C

Mengetahui Kepala Laboratorium



(IR/ SUBARKAH, MT )

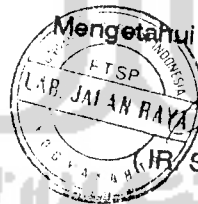
**LABORATORIUM JALAN RAYA**  
**FUKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII**  
 Jl. Kaliurang Km.14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584

**PEMERIKSAAN DAKTILITAS**

Daktalitas pada suhu 25 C kecepatan 5 cm/menit	Pembacaan pengukuran pada alat
Pengamatan I	96,5
Pengamatan II	122,5
Rata-rata (I+II)	109,5

**PEMERIKSAAN KELEKATAN ASPAL**

	Contoh % dari permukaan yang diselimuti aspal
Pengamatan	> 95 %



Mengetahui Kepala Laboratorium

(IR SUBARKAH, MT)

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII  
Jl. Kaliurang Km.14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584

## PEMERIKSAAN KELARUTAN DALAM CCL4

1. Berat botol erlemeyer kosong	74 gram
2. Berat erlenmeyer + aspal	77,007 gram
3. Berat aspal ( 2 - 1 )	3,007 gram
4. Berat kertas saring bersih	0,603 gram
5. Berat kertas saring + endapan	0,63 gram
6. Berat endapan saja	0,027 gram
7. Persentase endapan $\frac{6}{3} \times 100 \%$	0,898 gram
8. Bitumen yang larut ( 100% - 7 )	99,102 gram

## PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

Clay reading	4
Sand reading	3,8
SE = $\frac{\text{Sand reading}}{\text{Clay reading}}$	95 %
Avarage Sand Equivalent	5 %

Mengetahui Kepala Laboratorium

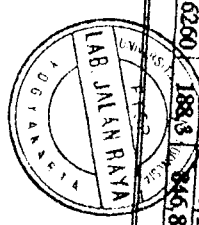


( IR. SUBARCAH, MT )

**LABORATORIUM JALAN RAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UIR**  
 Jl. Kalitirang Km.14.4 Telp. 95330 Yogyakarta 55584

**PERHITUNGAN TEST MARSHALL**

No	t	Pembulatan	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
1	63,633	50	6,65	6,244	1179	1190	672	518	2,276	2,394	13,87	80,60	5,516	19,394	71,588	4,9626	193	870,13	3,81	
2	63,2	50	6,65	6,244	1178	1185	671	514	2,291	2,394	13,97	81,16	4,861	18,836	74,190	4,3043	190	853,84	3,81	
3	63,4	50	6,65	6,244	1178	1184,2	670,5	513,7	2,293	2,394	13,98	81,21	4,805	18,788	74,421	4,2484	191	853,90	3,56	
Rata-rata																				
1	63,033	60	6,65	6,244	1180	1184,3	672	512,3	2,303	2,394	14,04	81,57	4,383	18,428	76,212	3,8237	212	956,81	3,56	
2	63,1	60	6,65	6,244	1177	1182,5	673	509,5	2,310	2,394	14,08	81,81	4,102	18,188	77,443	3,5410	209	941,65	3,56	
3	63,033	60	6,65	6,244	1180	1183,4	672,5	510,8	2,309	2,394	14,08	81,80	4,114	18,198	77,392	3,5526	210	947,79	3,56	
Rata-rata																				
1	63,233	70	6,65	6,244	1180	1184	673	511	2,309	2,394	14,08	81,77	4,140	18,221	77,276	3,5791	201	902,50	3,302	
2	63,4	70	6,65	6,244	1178,2	1184	675	509	2,314	2,394	14,11	81,97	3,910	18,025	78,304	3,3478	195	871,78	3,048	
3	63,033	70	6,65	6,244	1181	1184,2	674	510,2	2,314	2,394	14,11	81,97	3,908	18,023	78,312	3,3460	193	871,06	3,302	
Rata-rata																				
1	63,1	80	6,65	6,244	1181,7	1187,5	679	508,5	2,323	2,394	14,17	82,29	3,530	17,700	80,054	2,9654	185	833,52	3,048	
2	63,2	80	6,65	6,244	1165,7	1171	675,3	495,7	2,351	2,394	14,33	83,28	2,379	16,718	85,768	1,8075	190	853,84	3,048	
3	63,233	80	6,65	6,244	1180	1184,5	676	508,5	2,320	2,394	14,14	82,18	3,669	17,810	79,408	3,1050	190	853,11	2,794	
Rata-rata																				
																	188,3	846,82	2,96333	



**LABORATORIUM JAIAN RAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UPI**  
 Jl. Kaharung Km.14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584

Lampiran 10

**PERHITUNGAN TBSI MARSHALL**

No	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
1	6,698	6,2	5,838	1186	1187	680	506	2,343	2,410	13,36	83,36	3,270	16,633	80,335	2,7628	177	711,35		2,54
2	6,57	6,2	5,838	1181	1192	685	507	2,329	2,410	13,28	82,85	3,898	17,148	77,440	3,3637	176	739,83		3,048
3	6,6	6,2	5,838	1187	1196,5	684	512,5	2,316	2,410	13,20	82,37	4,417	17,621	74,933	3,9151	220	932,45		2,285
Rate - rata																			
1	6,57	6,5	6,1	1182	1193	682	511	2,313	2,400	13,77	82,04	4,177	17,956	76,735	3,6234	222	933,19		2,54
2	6,48	6,5	6,1	1187	1195	683	512	2,318	2,400	13,81	82,22	3,960	17,770	77,715	3,4047	247	1092,0		2,794
3	6,46	6,5	6,1	1178	1187,5	685	502,5	2,344	2,400	13,96	83,14	2,886	16,851	82,871	2,3248	313	1375,8		3,048
Rate - rata																			
1	6,32	6,8	6,367	1177	1183	680	503	2,339	2,389	14,54	82,75	2,691	17,240	84,390	3,0844	341	1635,3		2,794
2	6,35	6,8	6,367	1177	1185,2	679	506,2	2,325	2,389	14,45	82,23	3,306	17,763	81,387	2,7034	333	1608,6		3,048
3	6,36	6,8	6,367	1181	1186,5	680	506,5	2,331	2,389	14,49	82,46	3,035	17,533	82,688	3,4305	363	1757,7		3,048
Rate - rata																			
1	6,325	7,1	6,63	1177	1183	678	505	2,330	2,379	15,09	82,20	2,709	17,799	84,778	3,0534	375	1798,4		3,048
2	6,265	7,1	6,63	1178	1184	677,3	506,7	2,324	2,379	15,05	81,99	2,953	18,005	85,997	3,2991	393	1857,3		3,302
3	6,298	7,1	6,63	1177	1185	677	508	2,316	2,379	15,00	81,71	3,284	18,285	82,040	2,6319	379	1804,4		3,048
Rate - rata																			

- t = tebal benda uji
- a = % aspal terhadap batuan
- b = % aspal terhadap campuran
- c = berat kering/ sebelum ditendam
- d = berat dalam keadaan SSD. (gr)
- e = berat didalam air (gr)
- f = Vol (isi) = d - e
- g = berat isi sample
- h = B.J. maksimum (teoritis)
- i =  $100 \cdot \left( \frac{\% \text{ aspal}}{\text{B.J. Aggr}} + \frac{\% \text{ aspal}}{\text{B.J. aspal}} \right)$
- j =  $\frac{h \cdot X \cdot g}{\text{B.J. aspal}}$
- k =  $(100 - i - j)$  jumlah kandungan rongga
- l =  $(100 - j)$  rongga terhadap agregat
- m =  $\left( 100 \times \frac{i}{j} \right)$  rongga yang terisi aspal (VFVA)
- n = pembacaan arloji (stabilitas)
- o = p x koreksi tebal sample (STABILITAS)
- p = FLOW (Kelelahan plastis)
- q = Suhu pencampuran : ± 160 OC
- r = Tanda tangan