

691.9
SUT
P 4



**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PEMADATAN TERHADAP
SIFAT *MARSHALL* DAN INDEK STABILITAS SISA BERDASARKAN
SPESIFIKASI BARU BETON ASPAL PADA LASTON (*AC-BC*)
MENGUNAKAN JENIS ASPAL PERTAMINA DAN ASPAL *ESSO*
PENETRASI 60/70**

TESIS

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh

**SUTARYO
NIM. L. 4A.001.038**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
TAHUN 2004**



HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PEMADATAN TERHADAP SIFAT
MARSHALL DAN INDEK STABILITAS SISA BERDASARKAN SPESIFIKASI BARU
BETON ASPAL PADA LASTON (AC-BC) MENGGUNAKAN JENIS ASPAL
PERTAMINA DAN ASPAL ESSO PENETRASI 60/70**

Disusun Oleh

SUTARYO
NIM. L4A.001.038

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal:

03 Maret 2004

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
Memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji:

- | | | |
|---------------|----------------------------------|---------|
| 1. Ketua | : Ir. Muhrozi, MS | 1 |
| 2. Sekretaris | : Drs. Bagus Priyatno, ST, MT | 2 |
| 3. Anggota 1 | : Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA. | 3 |
| 4. Anggota 2 | : Ir. Roeswan Soediro, MS. | 4 |
| 5. Anggota 3 | : Bagus Hario Setiadji, ST., MT. | 5 |

Semarang, 03 Maret 2004
Universitas Diponegoro
Program Pasca Sarjana
Magister Teknik Sipil



ABSTRAKSI

Peningkatan jumlah lalu lintas sebagai moda angkutan transportasi tersebut harus dilayani dan didukung oleh prasarana jalan yang berkualitas, terutama kualitas dari lapis perkerasan sehingga lalu lintas yang melewati jalan tersebut akan merasa aman, nyaman dan memperoleh manfaat ekonomis. Dalam pelaksanaan pekerjaan campuran beton aspal panas termasuk pada lapisan aspal beton lapis pengikat (*AC binder course*) dimana konstruksi tersebut dipasang di bawah lapisan aus (permukaan), temperatur baik pada saat pencampuran pada unit pencampur aspal panas (*batching plant*) maupun pada saat pemadatan merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan di lapangan. Hal tersebut akan mempengaruhi tingkat kepadatan yang pada akhirnya akan mempengaruhi kinerja dari campuran beton aspal tersebut maupun lapis beton aspal di atasnya (lapis aus/permukaan).

Hasil persiapan dan pengujian bahan baik agregat dan aspal serta penentuan gradasi campuran *AC-BC* menunjukkan hasil sesuai persyaratan, selanjutnya dilakukan penelitian tahap I untuk menentukan Kadar aspal optimum dengan menggunakan metoda *Marshall* dan Indeks Stabilitas Sisa pada aspal jenis Pertamina dan *Esso* pen. 60/70 dan penelitian tahap II untuk mencari nilai Karakteristik *Marshall* dan Indeks Stabilitas Sisa pada variasi temperatur 100°C, 120°C, 140°C dan 160°C kondisi standar (2x75) tumbukan dan kondisi *refusal density* (2x400) tumbukan.

Hasil Penelitian menunjukkan Uji *Marshall* dan Indeks Stabilitas Sisa tahap I terhadap spesifikasi menunjukkan bahwa, nilai kritis *VMA*, *VFA* dan *VIM* pada kadar aspal 5.5 % untuk kedua jenis aspal yang diuji, dari nilai kritis pada *VMA*, *VFA* dan *VIM* ini dipakai untuk menentukan Kadar aspal optimum.

Dari hasil pengujian *Marshall* dan Indeks Stabilitas Sisa tahap II, yang menggambarkan kinerja konstruksi jalan selama melayani kebutuhan lalu lintas sampai akhir pelayanannya, dalam penelitian ini untuk kepentingan masa layanan diatas 1.000.000 *ESA* (*equivalent standard axel*). Penelitian ini dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu cara menganalisis *void* (rongga) dan pengujian material benda uji. Untuk analisis rongga terdiri dari analisis *Density*, *VMA*, *VFA* dan *VIM* pada kadar aspal optimum untuk kedua jenis aspal, ini ditunjukkan pada analisis ketiga rongga jenis aspal *Esso* lebih rapat terlihat dari tingkat rongga udara yang lebih kecil dari aspal Pertamina. Dari tingkat rongga terisi aspal, aspal *Esso* lebih awet karena tingkat penyelimutan aspal lebih tebal dari aspal Pertamina, sedangkan dari tingkat rongga dalam campuran total aspal *Esso* lebih tahan terhadap deformasi plastis maupun retak lelah karena *VIM* lebih kecil dari aspal Pertamina.

Untuk pengujian Material benda uji terdiri dari pengujian Stabilitas, *Flow*, *MQ* dan Indeks Stabilitas Sisa, seperti ditunjukkan bahwa nilai stabilitas aspal jenis *Esso* sampai akhir pelayanan lebih besar, nilai *flow* lebih kecil, nilai *MQ* lebih besar dan nilai Indeks Stabilitas Sisa pada akhir masa pelayanan yang lebih besar dari jenis Pertamina, menjadikan nilai aspal jenis *Esso* kinerjanya lebih baik dibandingkan dengan menggunakan aspal jenis Pertamina.

Dari hasil Penelitian pengaruh variasi tingkat kepadatan terhadap sifat *Marshall* dan Indeks Stabilitas Sisa dengan menggunakan aspal jenis Pertamina dan aspal jenis *Esso* Penetrasi 60/70, memenuhi persyaratan untuk konstruksi lapis lentur (*fleksibel pavement*) dengan beban lalu lintas berat (di atas 1.000.000 *ESA*), dimana ditegaskan untuk menghasilkan kinerja konstruksi jalan yang baik untuk volume lalu lintas yang tinggi harus dipilih target gradasi agregat gabungan yang lewat dibawah daerah restriksi.

Hasil analisis rongga dan pengujian *Marshall* di laboratorium, direkomendasikan temperatur pemadatan antara 110°C sampai 160°C untuk hal tersebut, disarankan temperatur pemcampuran merata di AMP antara 160°C – 170°C, temperatur pemadatan awal, dengan menggunakan *Tandem Roller* dilaksanakan 2 (dua) lintasan, Temperatur lapangan 120°C – 150°C, untuk menghindari terjadinya nilai stabilitas yang terlalu tinggi dan nilai *flow* yang menjadi terlalu rendah, pemadatan antara, dengan menggunakan *Tire Roller* dilaksanakan 12 (dua belas) lintasan, temperatur lapangan 100°C – 130°C, pemadatan akhir menggunakan *Tandem Roller* dilaksanakan 2 (dua) lintasan, Temperatur lapangan di atas 100°C, penggunaan air untuk melumasi roda supaya tidak terjadi pelekatan pada roda, dapat diperkenankan dengan jumlah seminimal mungkin, supaya tidak terjadi penurunan temperatur yang terlalu tinggi

Kata Kunci : Laston *AC-BC*, Temperatur Pemadatan, *Density*, *VMA*, *VFA*, *VIM*, Stabilitas, *Flow*, *MQ*, Indeks Stabilitas Sisa, *refusal density*.

ABSTRACT

The increasing of the traffic quantity as a type of transportation must be served and supported by the course of infrastructures that meet the quality standard, especially the quality of the solid layering in order to make the traffic passing on those roads to feel save, comfortable and receive the economical benefit. In the working process, the mixture of hot asphalt-concrete is included in the AC binder course, where the construction is put below the surface course. The temperature in the mixing process of batching plant and in the compacting process become the factors to be put consideration in the implementation. Those matters will influence the compacting level and bring the effect to the performance of the AC binder and over the AC course.

The preparation and trial results of both aggregate and asphalt, and determination of AC-BC mixture gradation show that the output meets the requirements. The next steps are conducting Research Phase I to determine the optimum Asphalt Content by using *Marshall Method* and Index of Retained Strength in *Pertamina* and *Esso* asphalts penetration 60/70 and then Research Phase II to find out the *Marshall Characteristic Value* and Index of Retained Strength in the temperature variation of 100°C, 120°C, 140°C and 160°C, standard condition of blow (2 x 75) and refusal density condition of blow (2 x 400).

The research show that *Marshall* test and Index of Retained Strength Phase I concerning with the specification indicate that the critical points are located in VMA, VFA and VIM with the Asphalt Content of both tested asphalts are 5.5%. The critical points of VMA, VFA, and VIM are used to establish the optimum Asphalt Content.

The result of *Marshall* test and Index of Retained Strength Phase II describe the performance of the course construction during the service to the traffic needs until the end of its usage, in this case for the service period up to 1.000.000 *ESA* (equivalent standard axel). The research is conducted in 2 (two) ways, those are by analysing void and testing the experimental-material. The void analysis that consists of Density, VMA, VFA and VIM analyses both asphalts in optimum Asphalt Content, which is shown by third analysis that the void of the *Esso* asphalt is more dense than that of *Pertamina* asphalt. At the density value of the void, *Esso* asphalt is more durable because the level of the asphalt covering is thicker than that of *Pertamina* asphalt, while at the deeper level of the void, the *Esso* asphalt is more endurable against plastic deformation or crack flow because the VIM is smaller than that of *Pertamina* asphalt.

The Tested-Material experiment consists of Stability, Flow, MQ and Index of Retained Strength experiments as it has been shown that the stability value of *Esso* asphalt until the end of its service period is bigger with smaller flow value, bigger MQ value and bigger Index of Retained Strength value than *Pertamina* asphalt. It proves that the *Esso* asphalt has better performance than *Pertamina* asphalt.

From the experiment of density level variety effect concerning to *Marshall Method* and Index of Retained Strength by using *Pertamina* and *Esso* asphalts penetration 60/70 has met the qualification of flexible pavement construction with heavy traffic burden (up to 1.000.000 *ESA*), which explicitly stated that to perform good course construction performance for high traffic volume, the combination of gradation aggregate target which pass below the restricted area has to be selected.

Based on the void analysis and *Marshall* laboratory experiment, it is recommended that the density temperature is between 110°C until 160°C, and it is also suggested to stabilize the mixing temperature in AMP, i.e between 160°C – 170°C, the temperature of early density, using Tandem Roller is conducted in 2 (two) passing with the field temperature 120°C – 150°C. To avoid the stability value becomes too high and the flow value becomes too low, connecting density using Tire Roller is conducted in 12 (twelve) passing with field temperature 100°C – 130°C. The final density is using Tandem Roller and it is done in 2 (two) passing with field temperature is above 100°C, and it is also permitted to use water in a very limited value to grease the wheels to prevent them stick in order to handle the rapid decrease of temperature.

Key Word : Laston AC-BC, The Density Temperature, Density, VMA, VFA, VIM, Stability, Flow, MQ, Index of Retained Strength, Refusal Density

PRAKATA

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan petunjuk-Nya sehingga tesis dengan judul Pengaruh Variasi Temperatur Pematatan terhadap sifat *Marshall dan* Indek Stabilitas Sisa Berdasarkan Spesifikasi Baru Beton Aspal pada Laston (*AC-BC*) menggunakan jenis Aspal Pertamina dan Aspal *Esso* Penetrasi 60/70.

Tesis ini disusun sebagai syarat menyelesaikan studi pada Program Magister Teknik Sipil Konsentrasi Transportasi Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Selama menyelesaikan tesis ini, penulis banyak menerima petunjuk, saran, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut penulis mengucapkan rasa terima kasih yang tulus kepada :

- 1) Dr. Ir. Suripin, M. Eng., selaku Ketua Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro,
- 2) Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA., selaku Sekretaris Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro,
- 3) Ir. Muhrozi, MS., selaku Dosen Pembimbing I,
- 4) Drs. Bagus Priyatno, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II,
- 5) Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA., dan Ir. Roeswan Soediro, MS., selaku Tim Pembahas.
- 6) Para dosen dan staf Administrasi Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- 7) Pimpinan dan staf Laboratorium Teknik Sipil Akademi Teknologi Semarang,
- 8) Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.

Mudah-mudahan tesis ini berguna untuk pengembangan lebih lanjut bagi kemajuan bidang KeBina Margaan pada umumnya dan pengembangan teknologi konstruksi Jalan pada khususnya.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAKSI	iii
<i>ABSTRAC</i>	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Umum	7
2.2. Aspal	8
2.3. Agregat dan Gradasi	10
2.3.1. Agregat	10
2.3.2. Gradasi	11
2.4. Persyaratan Perencanaan Campuran Beraspal	13
2.5. Metoda Pengujian <i>Marshall Test</i>	16
2.6. Hipotesis	17
2.7. Hasil Penelitian yang Relevan	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Metode dan Disain	20
3.2. Bahan Penelitian	21
3.3. Peralatan Penelitian	21
3.4. Bagan Alir Penelitian	22
3.5. Dasar Perhitungan	24
3.5.1. Berat Jenis <i>Bulk</i> dan <i>Apparent</i> dari Total Agregat	24
3.5.2. Berat Jenis Efektif dari Total Agregat	24
3.5.3. Volume Campuran dan Berat Jenis Campuran setelah Pemasatan	25
3.5.4. Penyerapan Aspal	25
3.5.5. Kadar Aspal Efektif	25
3.5.6. Rongga Udara (<i>Air Voids</i>)	26
3.5.7. Stabilitas dan <i>Flow</i>	26
3.5.8. <i>Marshall Quotient</i> dan Indeks Stabilitas Sisa	27
3.5.9. <i>Dust Proportion</i>	27

3.6. Prosedur Penelitian	28
3.6.1. Pemeriksaan Bahan	28
3.6.2. Perencanaan Campuran Beraspal panas Laston <i>AC-BC</i>	30
3.6.3. Pengujian <i>Marshall</i>	35
3.6.4. Pengujian Indeks Stabilitas Sisa	37
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Hasil Pengujian Material	39
4.1.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat	39
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal	41
4.1.3. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> dan Indeks Stabilitas Sisa Tahap I pada Kadar Aspal Optimum untuk Aspal Pertamina dan Aspal <i>Esso</i>	45
4.1.4. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> dan Indeks Stabilitas Sisa Tahap II pada Kadar Aspal Optimum untuk Aspal Pertamina dan Aspal <i>Esso</i>	47
4.2. Pembahasan	50
4.2.1. Pengaruh Kadar Aspal pada Aspal Pertamina dan Aspal <i>Esso</i> dari hasil Pengujian <i>Marshall</i> dan Indeks Stabilitas Sisa Tahap I	50
4.2.2. Evaluasi Hasil Laboratorium uji <i>Marshall</i> dan Indeks Stabilitas Sisa Tahap I terhadap Spesifikasi	62
4.2.3. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap variasi jumlah tumbukan pada kondisi standar sampai kondisi <i>Refusal Density</i> pada Pengujian <i>Marshall</i> dan ISS Tahap II untuk Aspal Pertamina dan Aspal <i>Esso</i>	63
4.2.4. Evaluasi Hasil Laboratorium uji <i>Marshall</i> dan Indeks Stabilitas Sisa Tahap II pengaruh temperatur pemadatan pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan campuran <i>AC-BC</i> terhadap Spesifikasi	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1. Kesimpulan	84
5.2. Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	90

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
2.1.	Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70	9
2.2.	Persyaratan Agregat	11
2.3.	Gradasi Agregat untuk Campuran beraspal	12
3.1.	Spesifikasi pengujian bahan agregat	29
3.2.	Persyaratan untuk aspal	29
3.3.	Spesifikasi beberapa campuran beraspal	31
3.4.	Target Gradasi dengan ukuran maksimum 25 mm	32
3.5.	Jumlah Sampel Penelitian	34
4.1.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat	39
4.2.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Penetrasi 60/70 ex Pertamina	41
4.3.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Penetrasi 60/70 ex <i>Esso Singapore</i>	41
4.4.	Hasil Pengujian Viskositas aspal	44
4.5.	Hasil test <i>Marshall</i> Campuran <i>AC-BC</i> aspal Pertamina (2 x75)	45
4.6.	Hasil test <i>Marshall</i> Campuran <i>AC-BC</i> aspal <i>Esso</i> (2 x75)	46
4.7.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran <i>AC-BC</i> Tahap II jenis aspal Pertamina pada kondisi (2x75) tumbukan dengan variasi temperatur pemadatan	48
4.8.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran <i>AC-BC</i> Tahap II jenis aspal Pertamina pada kondisi (2x400) tumbukan dengan variasi temperatur pemadatan	48
4.9.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran <i>AC-BC</i> Tahap II jenis aspal <i>Esso</i> pada kondisi (2x75) tumbukan dengan variasi temperatur pemadatan	49
4.10.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran <i>AC-BC</i> Tahap II jenis aspal <i>Esso</i> pada kondisi (2x400) tumbukan dengan variasi temperatur pemadatan	49
4.11.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Density</i> Campuran <i>AC-BC</i>	50
4.12.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>VMA</i> Campuran <i>AC-BC</i>	51
4.13.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>VFA</i> Campuran <i>AC-BC</i>	53
4.14.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>VIM</i> Campuran <i>AC-BC</i>	54
4.15.	Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas Campuran <i>AC-BC</i>	56
4.16.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Flow</i> Campuran <i>AC-BC</i>	57
4.17.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Marshall Quotient</i> Campuran <i>AC-BC</i>	57
4.18.	Kadar Aspal terhadap Nilai Indek Stabilitas Sisa Campuran <i>AC-BC</i>	60
4.19.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Dust Proportion</i> Campuran <i>AC-BC</i>	61

4.20.	Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai <i>density</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	63
4.21.	Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai <i>VMA</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	65
4.22.	Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai <i>VFA</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	67
4.23.	Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai <i>VIM</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	69
4.24.	Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai <i>stabilitas</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	71
4.25.	Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai <i>flow</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	73
4.26.	Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai <i>MQ</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	75
4.27.	Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai Indek Stabilitas Sisa pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	77
4.28.	Pengaruh temperatur pemdatan terhadap karakteristik <i>Marshall</i> pada variasi tumbukan dan kadar aspal optimum jenis aspal Pertamina	78
4.29.	Pengaruh temperatur pemdatan terhadap karakteristik <i>Marshall</i> pada variasi tumbukan dan kadar aspal optimum jenis aspal <i>Esso</i>	81

DAFTAR GAMBAR

2.1.	Spesifikasi Gradasi Campuran ukuran Maksimum 25.4 mm (<i>AC-BC</i>)	13
3.1.	Bagan Alir Penelitian Pelaksanaan Penelitian	23
3.2.	Target Gradasi Campuran Ukuran maksimum 25.4 mm Laston (<i>AC-BC</i>)	32
4.1.	Hubungan temperatur dengan viskositas	44
4.2.	Penentuan kadar aspal optimum aspal Pertamina penetrasi 60/70	46
4.3.	Penentuan kadar aspal optimum aspal <i>Esso</i> penetrasi 60/70	47
4.4.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>Density</i>	50
4.5.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>VMA</i>	52
4.6.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>VFA</i>	53
4.7.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>VIM</i>	55
4.8.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas	56
4.9.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>Flow</i>	58
4.10.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>Marshall Quotient</i>	59
4.11.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan Indek Stabilitas Sisa	60
4.12.	Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai <i>density</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	63
4.13.	Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai <i>VMA</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	65
4.14.	Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai <i>VFA</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	67

4.15.	Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai <i>VIM</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	69
4.16.	Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai stabilitas pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	71
4.17.	Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai <i>flow</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	73
4.18.	Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai <i>MQ</i> pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	75
4.19.	Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai Indek Stabilitas Sisa pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1	Sertifikat Kalibrasi	92
Lampiran A.4	Rasio Korelasi Stabilitas	95
Lampiran B.1	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	96
Lampiran B.2.	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	97
Lampiran B.3	Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Debu batu, Pemeriksaan Indek Kepipihan	98
Lampiran B.4	Pemeriksaan Keausan agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> Kelekatan Agregat terhadap Aspal, <i>Sand Equivalent</i>	99
Lampiran B.5	Pemeriksaan <i>Soundness</i>	100
Lampiran C.1	Laporan Pengujian Aspal Keras jenis Pertamina Penetrasi 60/70	101
Lampiran C.2	Pengujian Penetrasi Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	102
Lampiran C.3	Pemeriksaan Titik Lembek Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	103
Lampiran C.4	Pengujian Daktilitas Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	104
Lampiran C.5	Pengujian Kelarutan dalam CCL ₄	105
Lampiran C.6	Pengujian Titik Nyala Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	106
Lampiran C.7	Pengujian Berat Jenis Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	107
Lampiran C.8	Pengujian Kehilangan Berat Jenis aspal Pertamina Penetrasi 60/70	108
Lampiran C.9	Pengujian Penetrasi setelah Kehilangan Berat	109
Lampiran C.10	Pengujian Daktilitas setelah Kehilangan Berat	110
Lampiran D.1	Laporan Pengujian Aspal Keras jenis <i>Esso</i> Penetrasi 60/70	111
Lampiran D.2	Pengujian Penetrasi Jenis aspal <i>Esso</i> Penetrasi 60/70	112
Lampiran D.3	Pemeriksaan Titik Lembek Jenis aspal <i>Eso</i> Penetrasi 60/70	113
Lampiran D.4	Pengujian Daktilitas Jenis aspal <i>Esso</i> Penetrasi 60/70	114
Lampiran D.5	Pengujian Kelarutan dalam CCL ₄	115
Lampiran D.6	Pengujian Titik Nyala Jenis aspal <i>Esso</i> Penetrasi 60/70	116
Lampiran D.7	Pengujian Berat Jenis Jenis aspal <i>Esso</i> Penetrasi 60/70	117
Lampiran D.8	Pengujian Kehilangan Berat Jenis aspal <i>Esso</i> Penetrasi 60/70	118
Lampiran D.9	Pengujian Penetrasi setelah Kehilangan Berat	119
Lampiran D.10	Pengujian Daktilitas setelah Kehilangan Berat	120
Lampiran E	Perhitungan Bahan Susun Benda Uji dengan menggunakan Aspal Pertamina	121

Lampiran F	Perhitungan dan Analisis Sifat Campuran Agregat – Aspal Pertamina Penetrasi 60/70 dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap I	126
Lampiran G	Perhitungan Bahan Susun Benda Uji dengan menggunakan Aspal <i>Esso</i>	127
Lampiran H	Perhitungan dan Analisis Sifat Campuran Agregat – Aspal <i>Esso</i> Penetrasi 60/70 dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap I	132
Lampiran I.1	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal Pertamina dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x75)tumbukan variasi suhu 100 ^o C	133
Lampiran I.2	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal Pertamina dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x75)tumbukan variasi suhu 120 ^o C	134
Lampiran I.3	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal Pertamina dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x75)tumbukan variasi suhu 140 ^o C	135
Lampiran I.4	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal Pertamina dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x75)tumbukan variasi suhu 160 ^o C	136
Lampiran J.1	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal Pertamina dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x400)tumbukan variasi suhu 100 ^o C	137
Lampiran J.2	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal Pertamina dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x400)tumbukan variasi suhu 120 ^o C	138
Lampiran J.3	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal Pertamina dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x400)tumbukan variasi suhu 140 ^o C	139
Lampiran J.4	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal Pertamina dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x400)tumbukan variasi suhu 160 ^o C	140
Lampiran K.1	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal <i>Eso</i> dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x75)tumbukan variasi suhu 100 ^o C	141
Lampiran K.2	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal <i>Esso</i> dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x75)tumbukan variasi suhu 120 ^o C	142
Lampiran K.3	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal Pertamina dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x75)tumbukan variasi suhu 140 ^o C	143
Lampiran K.4	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal <i>Esso</i> dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x75)tumbukan variasi suhu 160 ^o C	144
Lampiran L.1	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal <i>Esso</i> dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x400)tumbukan variasi suhu 100 ^o C	145
Lampiran L.2	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal <i>Esso</i> dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x400)tumbukan variasi suhu 120 ^o C	146
Lampiran L.3	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal <i>Esso</i> dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x400)tumbukan variasi suhu 140 ^o C	147
Lampiran L.4	Perhitungan Sifat Campuran Agregat – Aspal <i>Esso</i> dengan Metoda <i>Marshall</i> Tahap II (2x400)tumbukan variasi suhu 160 ^o C	148

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	= <i>Assosiation of American Society Highway Transport Organization</i>
<i>AC-BC</i>	= <i>Asphalt Concrete Binder Course</i>
<i>ASTM</i>	= <i>American Society for Testing and Material</i>
<i>BS</i>	= <i>British Standards Institution</i>
<i>Gsb</i>	= Berat jenis kering/ <i>bulk spesific gravity</i> (gr/cc)
<i>Gsa</i>	= Berat jenis semu/ <i>apparent spesific gravity</i> (gr/cc)
<i>Gse</i>	= Berat jenis efektif/ <i>bulk spesific gravity SSD</i> (gr/cc)
<i>Gsb_{tot} agregat</i>	= Berat jenis kering agregat gabungan (gr/cc)
<i>P₁, P₂, P₃, ...</i>	= Prosentase berat dari masing-masing agregat
<i>Gsb₁, Gsb₂, Gsb₃, ... Gsb_n</i>	= Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1,2,3...n
<i>Gsa_{tot} agregat</i>	= Berat jenis semu agregat gabungan
<i>Gsa₁, Gsa₂, Gsa₃, ... Gsa_n</i>	= Berat jenis semu dari masing-masing agregat 1,2,3...n
<i>Gse_{tot} agregat</i>	= berat jenis efektif agregat gabungan
<i>Gse₁, Gse₂, Gse₃, ... Gse_n</i>	= Berat jenis efektif dari masing-masing agregat 1,2,3...n
<i>V_{bulk}</i>	= Volume campuran setelah pemadatan (cc)
<i>W_{SSD}</i>	= Berat dalam kondisi kering permukaan (gr)
<i>W_w</i>	= Berat dalam air (gr)
<i>Gmb</i>	= Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
<i>Gmm</i>	= Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)
<i>P_b</i>	= Prosentase kadar aspal terhadap total campuran (%)
<i>P_{ba}</i>	= Penyerapan aspal, persen total agregat (%)
<i>P_{be}</i>	= Kadar aspal efektif, persentotal campuran (%)
<i>P_f</i>	= Prosentase kadar <i>Filler</i> terhadap total campuran (%)
<i>P_s</i>	= Kadar agregat, persen total campuran (%)
<i>Puslitbang</i>	= Pusat Penelitian dan Pengembangan
<i>G_b</i>	= Berat jenis aspal (gr/cc)
<i>VIM</i>	= <i>Void In the Mix</i> / Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total

<i>VMA</i>	= <i>Void in the Mineral Aggregate</i> Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total
<i>VFA</i>	= <i>Void Filled with Asphalt</i> / Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
<i>MS</i>	= <i>Marshall Stability</i>
<i>MF</i>	= Kelelahan <i>Marshall</i>
<i>ISS</i>	= Indeks Stabilitas Sisa
<i>Msi</i>	= Stabilitas <i>Marshall</i> setelah perendaman 24 jam pada temperatur 60°C
<i>MSs</i>	= Stabilitas <i>Marshall</i> standar pada perendaman selama 30-40 menit pada temperatur 60°C
<i>SNI</i>	= Standar Nasional Indonesia
<i>Superpave</i>	= <i>Superior Performing Asphalt Pavement</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Meningkatnya pertumbuhan lalu lintas dari tahun ke tahun akan mendorong peningkatan prasarana transportasi darat yang berupa pembangunan jalan baru, peningkatan jalan yang sudah ada maupun pemeliharaan jalan untuk mempertahankan umur layanan.

Peningkatan jumlah lalu lintas sebagai moda angkutan transportasi tersebut harus dilayani dan didukung oleh prasarana jalan yang berkualitas, terutama kualitas dari lapis perkerasan sehingga lalu lintas yang melewati jalan tersebut akan merasa aman, nyaman dan memperoleh manfaat ekonomis.

Dari hasil penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan adanya permasalahan konstruksi jalan terhadap lapis aspal beton seiring peningkatan pemakaian lapisan aspal beton / Laston (AC). Permasalahan yang prinsip dari lapis aspal beton adalah terjadinya keretakan awal sebelum umur rencana tercapai, hal ini memberikan indikasi bahwa kemungkinan daya tahan campuran tersebut kurang sesuai pada iklim di Indonesia.

Lataston (HRS) dapat mengakomodasi kadar aspal yang lebih banyak sehingga tahan lama. Namun demikian campuran ini cenderung rentan untuk menjadi bergelombang sehingga material yang akan digunakan untuk pembangunan, peningkatan maupun pemeliharaan jalan penting dilakukan pemeriksaan khususnya yang berhubungan dengan terjadinya deformasi sehingga mengakibatkan umur rencana menjadi relatif singkat.

Pada tahun 1987 *Strategic Highway Research Program* (Program Penelitian Jalan Strategis) bertempat di *United State of America* mulai mengembangkan sistim baru untuk menentukan bahan aspal. Hasil akhir dari program penelitian aspal SHRP merupakan sistim baru untuk gradasi campuran aspal panas yang disebut *SUPERPAVE* (*Superior Performing Asphalt Pavements*). Sistim *superpave* dapat digunakan untuk pekerjaan baru dan daur ulang, gradasi rapat, campuran aspal panas dengan atau tanpa perubahan. Superpave dapat digunakan untuk konstruksi lapis permukaan yang baru, lapis pengikat lapis pondasi dan pelapisan pada jalan yang sudah ada.

Melalui pemilihan material dan desain campuran, maka metode ini dapat mengontrol dan mengurangi deformasi perkerasan dan keretakan akibat lelah dan metode *superpave* ini dipakai sebagai pedoman dalam pembuatan spesifikasi baru beton aspal campuran panas oleh Puslitbang Prasarana Transportasi Departemen Prasarana Wilayah.

Jenis campuran aspal panas yaitu laston (lapis aspal beton) / AC lebih peka terhadap variasi kadar aspal maupun variasi gradasi *aggregate* dari pada laston (lapisan tipis aspal beton) HRS. Lapis aspal beton/AC terdiri dari 3 macam campuran yaitu :

- a. Laston Lapis Aus (*AC Wearing Course*)
- b. Laston Lapis Pengikat (*AC Binder Course*)
- c. Laston Lapis Pondasi (*AC Base*)

Lapis aspal beton (AC) sebagai lapis pengikat (*AC binder course*) kadang-kadang disebut lapis antara pondasi beraspal, lapisan ini terletak di bawah lapis permukaan dan di atas lapis pondasi.

Ada 2 (dua) alasan lapis pengikat (*AC binder course*) digunakan sebagai tambahan dalam lapis permukaan.

Pertama, bila lapisan beraspal terlalu tebal dipadatkan dalam satu lapis, sehingga harus dihampar dalam dua lapisan.

Kedua, karena lapis pengikat terdiri dari *aggregate* yang lebih kasar dari pada lapis permukaan (*AC wearing course*) dan mempunyai kadar aspal rendah, serta tidak memerlukan kualitas yang sama dengan lapisan permukaan. Sehingga dengan mengganti sebagian lapis permukaan menjadi lapis pengikat menghasilkan desain yang lebih ekonomis (Huang, 1993).

Dalam pelaksanaan pekerjaan campuran beton aspal panas termasuk pada lapisan aspal beton lapis pengikat (*AC binder course*) dimana konstruksi tersebut dipasang di bawah lapisan aus (permukaan), temperatur baik pada saat pencampuran pada unit pencampur aspal panas (*batching plant*) maupun pada saat pemadatan merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan di lapangan. Hal tersebut akan mempengaruhi tingkat kepadatan yang pada akhirnya akan mempengaruhi kinerja dari campuran beton aspal tersebut maupun lapis aspal beton di atasnya (lapis aus/permukaan).

Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian dengan melakukan uji laboratorium tentang pengaruh variasi temperatur pemadatan terhadap sifat *Marshall* dan Indeks Stabilitas Sisa pada lapis aspal beton (*AC binder course*) tersebut.

1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini dilaksanakan untuk mendapatkan beberapa perbandingan perilaku campuran beraspal panas jenis lapis aspal beton (*AC binder course*) berdasarkan spesifikasi baru dengan menggunakan jenis aspal berbeda yaitu jenis aspal *Esso* dan aspal *Pertamina*, dengan tingkat konsistensi/Penetrasi yang sama yaitu 60/70. Serta mempelajari pengaruh variasi tingkat temperatur pemadatan pada campuran beton aspal pada laston (*AC-BC*) terhadap nilai struktural dan uji durabilitas yang dinyatakan dalam uji perendaman/indek stabilitas sisa dengan tingkat konsistensi aspal yang sama (penetrasi 60/70).

Tujuan penelitian ini dilaksanakan untuk mendapatkan beberapa hal berikut ini:

- a. Menganalisa pengaruh variasi tingkat temperatur pemadatan terhadap sifat *Marshall* berdasarkan spesifikasi baru beton aspal pada laston (*AC-BC*) menggunakan jenis aspal *Esso* dan aspal *Pertamina* dengan tingkat konsistensi aspal yang sama, dinyatakan dalam angka penetrasi 60/70 secara laboratorium, guna mendapatkan kadar aspal optimum dari sifat campuran aspal beton (*AC-BC*).
- b. Mengetahui pengaruh temperatur yang bervariasi di dalam campuran aspal beton (*AC-BC*) terhadap sifat *Marshall* dan indek stabilitas sisa, membatasi temperatur yang berlebihan pada unit pencampuran aspal panas (*batching plant*) yang dapat mengakibatkan oksidasi (hilangnya kadar aspal), untuk mendapatkan temperatur pemadatan di lapangan yang memenuhi spesifikasi.
- c. Selanjutnya direkomendasi jenis aspal yang sesuai dan temperatur di AMP maupun di temperatur pemadatan agar dapat diperoleh kualitas laston (*AC-BC*) yang memenuhi spesifikasi teknis dari beton aspal campuran panas oleh Puslitbang Prasarana Transportasi Departemen Prasarana Wilayah.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah memberikan pemahaman mengenai pengaruh variasi tingkat temperatur pemadatan dan kadar Optimum aspal jenis aspal *Esso* dan aspal *Pertamina* dengan tingkat konsistensi aspal yang sama pada spesifikasi baru beton aspal pada laston (*AC-BC*), kaitannya terhadap sifat *Marshall* (*Stabilitas, Flow, Void In the Mix/VIM, Void Filled With Asphalt / VFA, Void in Mineral Aggregate/VMA, Marshall Quotient/MQ*) dan Indeks Stabilitas Sisa (ISS). Selanjutnya diharapkan dapat memberikan masukan kepada semua pihak yang terkait dengan pelaksanaan pekerjaan campuran aspal panas (aspal beton).

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan kepada seberapa besar pengaruh tingkat variasi temperatur dalam campuran aspal beton (*AC-BC*) terhadap sifat *Marshall* dan Indeks Stabilitas sisa.

Adapun sebagai penunjang dalam lingkup penelitian terbatas pada :

- a. Agregat kasar, halus dan *filler* didapat dari bahan yang sama berasal dari hasil pemrosesan hasil pemecah batu (*stone crusher*) dari AMP milik PT Kadi Internasional Puduk payung Semarang.
- b. Bahan aspal menggunakan aspal *Esso Singapore* dan aspal *Pertamina* dengan tingkat konsistensi yang sama (penetrasi 60/70).
- c. Uji bahan (aspal dan agregat) dilakukan berdasarkan pada spesifikasi baru beton aspal campuran panas Edisi terakhir Agustus 2001.
- d. Perencanaan gradasi campuran menggunakan campuran untuk laston lapis pengikat (*AC-BC*) dengan gradasi rapat menggunakan metoda tes *Marshall* yang mengacu Pedoman Campuran Aspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak Puslitbang Teknologi Prasarana Jalan Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah serta Spesifikasi Baru Beton Aspal campuran Panas Edisi Agustus 2001.
- e. Variasi temperatur uji pemadatan 100°C, 120°C, 140°C dan 160°C.
- f. Uji Indeks kekuatan Sisa dinyatakan dalam uji perendaman *Marshall* (*Marshall Immersion Test*) selama 24 jam dengan suhu 60° C dan ditunjukkan dalam indeks stabilitas sisa (*Index Retained Strength*).

- g. Penelitian yang dilakukan terbatas pada pengujian laboratorium dan tidak melakukan pengujian lapangan.
- h. Penelitian yang dilakukan, tidak membahas masalah faktor kimiawi dan aspek ekonomis.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis didasarkan pada buku Pedoman Penyusunan dan Penulisan Tesis Magister Teknik Sipil. Penulisan tesis, dibagi dalam lima bab :

a. Bab I. Pendahuluan

Bab ini merupakan awal dari penyusunan tesis yang berisi latar belakang penulisan tesis, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah , dan sistematika penulisan.

b. Bab II. Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan dari penelitian, seperti sifat-sifat agregat dan aspal, sifat *Marshall* dan Indek stabilitas sisa berdasarkan spesifikasi baru, metoda penelitian dan cara pengujian dilaboratorium, hipotesis penelitian dan hasil-hasil penelitian yang relevan.

c. Bab III. Metodologi Penelitian

Bab ini membahas mengenai tahapan dan cara penelitian serta uraian tentang pelaksanaan penelitian, seperti metoda dan disain, bahan penelitian, peralatan penelitian dan dasar-dasar analisis dan perhitungan yang akan digunakan dalam penelitian.

d. Bab IV. Hasil Perhitungan dan Pembahasan

Bab ini membahas tentang hasil-hasil penelitian dan juga menganalisa hasil penelitian serta pembahasannya. Hasil ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik dan tabel. Hasil yang akan ditulis dalam kesimpulan harus terlebih dahulu dimunculkan dalam bagian pembahasan ini.

e. Bab V. Kesimpulan dan saran

Bab ini berisi kesimpulan setelah melakukan analisa dalam pembahasan. Kesimpulan merupakan rangkuman hasil pembahasan secara rinci, bab ini juga berisikan saran yang didasarkan hasil penelitian dan diharapkan diadakannya penelitian lanjutan, mengingat batasan-batasan pada penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Spesifikasi campuran beraspal panas untuk perkerasan lentur di rancang menggunakan metoda *Marshall* konvensional. Untuk kondisi lalu lintas berat perencanaan metoda *Marshall* menetapkan pemadatan benda uji sebanyak 2 x 75 tumbukan dengan batas rongga campuran (*VIM*) antara 3% sampai 5%, didapat hasil pengujian pengendalian mutu menunjukkan bahwa kesesuaian parameter kontrol di lapangan seringkali tidak terpenuhi untuk mencapai persyaratan dalam spesifikasi, sehingga kinerja perkerasan jalan tidak tercapai. Kondisi ini sulit untuk menjamin campuran yang tahan terhadap kerusakan berbentuk alur plastis, oleh karena itu metoda tes *Marshall* konvensional belum cukup untuk menjamin kinerja campuran beraspal panas yang digunakan untuk lalu lintas berat dan padat dengan temperatur tinggi. Keterbatasan metoda tes *Marshall* adalah ketergantungannya terhadap kepadatan yang baik setelah dilalui kendaraan untuk mencapai rongga dalam campuran (*VIM*) yang disyaratkan.

Rongga dalam campuran (*VIM*) setelah dilalui lalu lintas dalam beberapa tahun mencapai kurang dari 3%, sehingga terjadi perubahan bentuk plastis. Untuk kondisi seperti ini, metoda tes *Marshall* dengan 2 x 75 tumbukan sudah tidak sesuai lagi. Untuk menambah kesempurnaan dalam prosedur perencanaan campuran maka ditentukan pengujian tambahan, yaitu pemadatan *ultimite* pada benda uji sampai mencapai kepadatan membal (*refusal density*). Metoda *Marshall* masih dapat digunakan sebagai dasar untuk perencanaan secara *volumetrik*. Untuk mengendalikan kepadatan, diperkenalkan kriteria kadar rongga dalam campuran (*VIM*) minimum dan maksimum dalam persyaratan campuran, terutama untuk campuran beraspal panas sebagai lapis permukaan jalan. *VIM* dirancang dapat dicapai tidak kurang dari 3% untuk lalu lintas berat. Pemadatan dan temperatur contoh benda uji harus dilakukan dengan jumlah tumbukan yang berlebih dan temperatur yang sesuai sebagai simulasi adanya pemadatan sekunder oleh lalu lintas, sampai benda uji tidak bertambah lebih padat lagi. Kepadatan mutlak ini berguna untuk menjamin bahwa dengan pendekatan adanya pemadatan oleh lalu lintas dan temperatur yang sesuai setelah beberapa tahun umur rencana, lapis permukaan tidak akan mengalami perubahan bentuk plastis (*plastic deformation*). Bila pengujian ini diterapkan maka kinerja perkerasan jalan beraspal yang dicampur secara panas akan meningkat kualitasnya.

2.2 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat terdiri dari *hydrocarbon* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro-ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna coklat tua sampai hitam dan bersifat melekatkan, padat atau semi padat, dimana sifat aspal yang menonjol tersebut didapat dialam atau dengan penyulingan minyak (*Kreb, RD & Walker, RD, 1971*).

Aspal terbuat dari minyak mentah melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang ditemukan bersama-sama material lainnya seperti pada cekungan bumi yang mengandung aspal.

Aspal adalah material yang mempunyai sifat *visco-elastis* dan tergantung dari waktu pembebanan. Pada proses pencampuran dan proses pemadatan sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai viscositasnya, sedangkan pada sebagian besar kondisi saat masa pelayanan aspal mempunyai sifat viscositas yang diwujudkan dalam suatu nilai modulus kekakuan (*Shell Bitumen, 1990*).

AASHTO (1982) menyatakan bahwa jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal. Angka ini menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin rendah, sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal makin tinggi.

Terdapat bermacam-macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran *aggregate* aspal antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70.

Aspal pada lapis keras jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dari kekuatan agregat. Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil penyulingan minyak mentah produksi Pertamina dan penyulingan minyak mentah produksi *Esso Singapura*.

Aspal merupakan material yang bersifat *visco-elastis* dan memiliki ciri yang beragam mulai dari yang bersifat lekat sampai yang bersifat elastis. Diantara sifat aspal lainnya adalah:

Aspal mempunyai sifat *Rheologic* (mekanis), yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka

waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat, sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).

Aspal adalah bahan yang *Thermoplastis*, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer, demikian pula sebaliknya. Dari segi pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Namun pemanasan yang berlebihan terhadap aspal akan merusak molekul-molekul dari aspal, misalnya aspal menjadi getas dan rapuh.

Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan-regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.

Pada saat pemadatan dan pencampuran, sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai viskositasnya, sedangkan pada sebagian besar kondisi saat masa layan, aspal mempunyai sifat viskositas yang diwujudkan dalam suatu modulus kekakuan (*Shell*, 1990), sedangkan aspal yang digunakan dalam penelitian ini berupa aspal keras penetrasi 60 / 70 yang memenuhi syarat seperti pada Tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1. Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

No.	Sifat-sifat	Pen 60/70		Satuan
		Min.	Maks.	
1.	Penetrasi (25 ⁰ C, 100 gr, 5 detik)	60	79	0,1 mm
2.	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	48	58	⁰ C
3.	Titik nyala (<i>Cleveland open cup</i>)	200	0	⁰ C
4.	Kehilangan berat (163 ⁰ C, 5 jam)	-	0,8	% berat
5.	Kelarutan (C ₂ HCL ₃)	99	-	% berat
6.	Daktilitas (25 ⁰ C, 5 cm/menit)	100	-	Cm
7.	Pen setelah kehilangan berat	54	-	% asli
8.	Daktilitas setelah kehilangan berat	50	-	Cm
9.	Berat jenis (25 ⁰ C)	1	-	Gt/cm ³

Sumber : SNI No. 1737-1989-F

2.3 Agregat dan Gradasi

Agregat adalah suatu bahan keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran yang berupa berbagai jenis butiran atau pecahan yang termasuk di dalamnya antara lain pasir, kerikil, agregat pecah, terak dapur tinggi.

Sukirman (1999) menyatakan bahwa gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran *aggregate* merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi *aggregate* mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan.

2.3.1. Agregat

Shell (1990) mengelompokkan *aggregate* menjadi 3 (tiga), yaitu :

- a. Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan di saringan 2,36 mm, atau sama dengan saringan standar *ASTM* No. 8. Dalam campuran agregat - aspal, agregat kasar sangat penting dalam membentuk kinerja karena stabilitas dari campuran diperoleh dari *interlocking* antar agregat.
- b. Agregat halus yaitu batuan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,074 mm). Fungsi utama agregat halus adalah memberikan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui *interlocking* dan gesekan antar partikel.
- c. Mineral pengisi (*filler*) yaitu material yang lolos saringan No. 200 (0,074 mm). *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi jumlah rongga dalam campuran, namun demikian jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampaui tinggi kadar *filler* cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas, pada sisi lain kadar *filler* yang terlampaui rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi.

Agregat yang akan digunakan sebagai campuran beraspal panas *AC-BC* harus memenuhi persyaratan seperti tercantum pada Tabel 2.2, sebagai berikut :

Tabel 2.2. Persyaratan *Aggregate*

No.	Sifat-sifat	Satuan	Spesifikasi	
			Min.	Maks.
<i>Aggregate Kasar</i>				
1.	Penyerapan air	%	-	3
2.	Berat jenis <i>bulk</i>	-	2,5	-
3.	Berat jenis jemu	-	-	-
4.	Berat jenis efektif	-	-	-
5.	Tes abrasi <i>LOS ANGELES</i>	%	-	40
6.	Indeks kepipihan	%	-	25
7.	Kelekatan dengan aspal	%	95	-
<i>Aggregate Halus</i>				
1.	Penyerapan air	%	-	3
2.	Berat jenis <i>bulk</i>	-	2,5	-
3.	Berat jenis jemu	-	-	-
4.	Berat jenis efektif	-	-	-
5.	<i>Sand equivalent</i>	%	-	40
<i>Filler</i>				
1	Berat jenis	%	1	-

Sumber : SNI No. 1737-1989-F

2.3.2. Gradasi

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dalam proses pelaksanaan.

Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

- 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.
- Gradasi rapat, merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang seimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik. Gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek dan berat volume besar.
- Gradasi senjang (*gap graded*), merupakan campuran yang tidak memenuhi 2 (dua) kategori di atas. *Aggregate* bergradasi buruk yang umum digunakan untuk

lapisan perkerasan lentur merupakan campuran dengan 1 fraksi hilang atau 1 fraksi sedikit. Gradasi seperti ini sering juga disebut gradasi senjang. Gradasi senjang akan menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis di atas.

Penentuan distribusi ukuran aggregate akan mempengaruhi kekakuan jenis campuran aspal. Gradasi rapat akan menghasilkan campuran dengan kekakuan yang lebih besar dibandingkan gradasi terbuka. Dari segi kelelahan, kekakuan adalah suatu hal yang penting karena akan mempengaruhi tegangan dan regangan yang diderita campuran beraspal panas akibat beban dinamik lalu lintas.

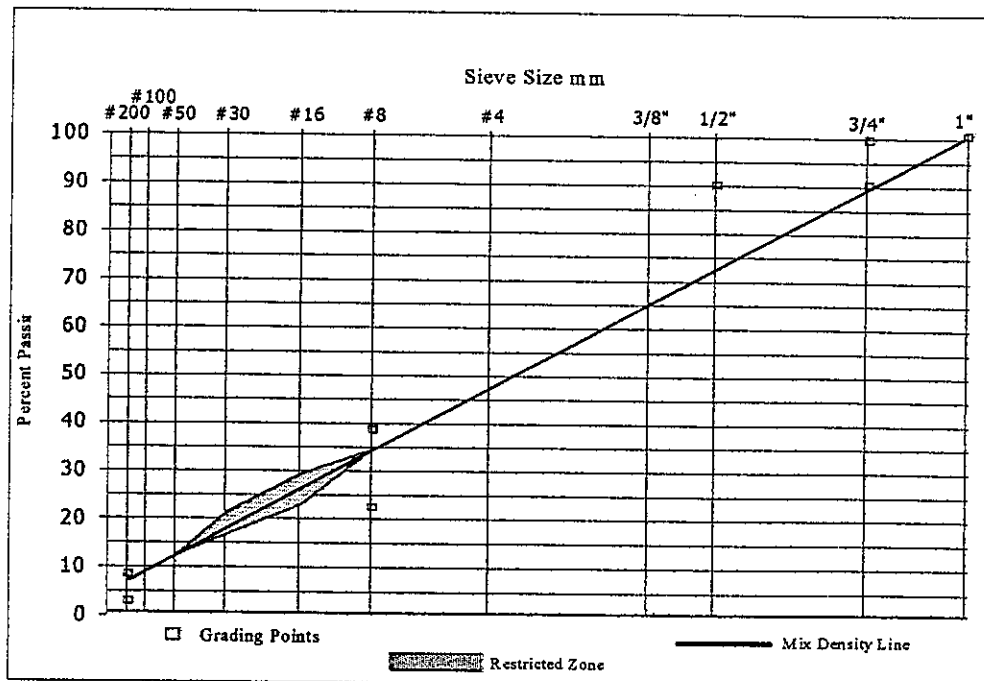
Spesifikasi baru beton aspal menetapkan gradasi dengan 2 (dua) spesifikasi khusus yaitu target gradasi berada dalam batas titik-titik kontrol dan menghindari daerah penolakan seperti Tabel 2.3 dan Gambar 2.1.

Titik-titik kontrol berfungsi sebagai batas rentang dimana suatu target gradasi harus lewat titik-titik tersebut diletakkan di ukuran maksimum nominal dan dipertengahan saringan (2,36 mm) dan ukuran saringan terkecil (0,075 mm).

Tabel 2.3. Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

UKURAN AYAKAN		% BERAT YANG LOLOS						
		LATASIR (SS)		LASTASTON (HRS)		LASTON (AC)		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	BC	Base
1,5"	37,500							100
1"	25,000						100	90 - 100
3/4"	19,000	100	100	100	100	100	90 - 100	MAKS. 90
1/2"	12,50			90 - 100	90 - 100	90 - 100	MAKS. 90	
3/8"	9,500	90 - 100		75 - 85	65 - 100	MAKS. 90		
NO. 8	2,360		75 - 100	50 - 72	1	28 - 58	23 - 39	19 - 45
NO. 16	1,180							
NO. 30	0,600			35 - 60	15 - 35			
NO. 200	0,075	10 - 15	8 - 13	6 - 12	2 - 9	4 - 10	4 - 8	3 - 7
DAERAH LARANGAN								
NO. 4	4,750					-	-	39,52
NO. 8	2,360					39,10	34,60	26,80 - 30,80
NO. 16	1,180					25,60-31,60	22,30-28,30	18,1 - 24,10
NO. 30	0,600					19,10-23,10	16,70 20,70	13,60 - 17,60
NO. 50	0,300					15,50	13,70	11,40

Sumber : Puslitbang Prasarana Transportasi (Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas) Edisi Agustus 2001



Gambar 2.1 Spesifikasi Gradasi campuran
Ukuran Maksimum 1" (25 mm) AC - BC

Daerah penolakan terletak di antara pertengahan saringan dan saringan 0,3 mm. Gradasi yang melewati daerah penolakan disebut "*humped gradation*" karena bentuk *hump* (punggung bukit) daerah ini.

Di dalam campuran, daerah penolakan ini menunjukkan terlalu banyak pasir halus dari seluruh total pasir, sehingga mengalami kesulitan dalam pemadatan dan mengurangi ketahanan terhadap deformasi selama umur rencana. Gradasi yang mengikuti garis kepadatan (*density*) maksimum seringkali memberikan *VMA* (*void in mineral aggregate*) yang tidak mencukupi untuk memberikan kadar aspal yang sesuai dalam menghasilkan keawetan campuran beraspal panas.

Kennedy (1996) menyarankan untuk menghasilkan kinerja jalan yang baik dengan volume lalu lintas yang tinggi dipilih target gradasi yang lewat di bawah daerah penolakan.

2.4. Persyaratan Perencanaan Campuran Beraspal Panas

Perencanaan campuran mencakup kegiatan pemilihan dan penentuan proporsi material untuk mencapai sifat-sifat akhir dari campuran aspal yang diinginkan (*Asphalt*

Institute 1993). Tujuan dari perencanaan campuran aspal adalah untuk mendapatkan campuran efektif dari gradasi agregat dan aspal yang akan menghasilkan campuran aspal yang memiliki sifat-sifat campuran sebagai berikut :

- a. Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi permanen yang disebabkan oleh lalu lintas, baik beban yang bersifat statis maupun dinamis sehingga campuran akan tidak mudah aus, bergelombang , melendut, bergeser dan lain-lain.
- b. Fleksibilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan terhadap defleksi akibat beban lalu lintas tanpa mengalami keretakan yang disebabkan oleh :
 - 1) Beban yang berlangsung lama yang berakibat terjadinya kelelahan pada lapis pondasi atau pada tanah dasar yang disebabkan oleh pembebanan sebelumnya.
 - 2) Lendutan berulang yang disebabkan oleh waktu pembebanan lalu lintas yang berlangsung singkat.
 - 3) Adanya perubahan volume campuran.
- c. Durabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk mempertahankan kualitasnya dari disintegrasi atas unsur-unsur pembentuknya yang diakibatkan oleh beban lalu lintas dan pengaruh cuaca. Campuran aspal harus mampu bertahan terhadap perubahan yang disebabkan oleh :
 - 1) Proses penuaan pada aspal dimana aspal akan menjadi lebih keras. Hal ini disebabkan oleh pengaruh oksidasi dari udara dan proses penguapan yang berakibat akan menurunkan daya lekat dan kekenyalan aspal.
 - 2) Pengaruh air yang menyebabkan kerusakan atau kehilangan sifat lekat antara aspal dan material lainnya.
- d. *Impermeability* adalah campuran aspal harus bersifat kedap air untuk melindungi lapisan perkerasan di bawahnya dari kerusakan yang disebabkan oleh air yang akan mengakibatkan campuran menjadi kehilangan kekuatan dan kemampuan untuk menahan beban lalu lintas.
- e. *Skid Resistance* adalah kekesatan lapisan permukaan yang akan berkaitan dengan kemampuan permukaan lapis keras tersebut untuk melayani arus lalu lintas

kendaraan yang lewat di atasnya tanpa terjadi *skidding slipping* pada saat kondisi permukaan basah.

- f. Pemadatan adalah proses pemampatan yang memberikan volume terkecil, menggelincir rongga sehingga batas yang disyaratkan dan menambah kepadatan optimal. Mengingat efek yang timbul oleh pengaruh udara, air serta pembebanan oleh arus lalu lintas apabila rongga dalam campuran tidak memenuhi syarat yang ditentukan. hal ini harus dihindari supaya tidak terjadi penyimpangan. Pada pelaksanaan pemadatan dilapangan sangat rawan akan terjadinya penyimpangan, baik alat-alat yang digunakan tidak sesuai standar yang ditetapkan maupun jumlah lintasannya. *Hughes* dalam Fauziah (2001) menyatakan bahwa sifat fisik maupun mekanis campuran aspal sangat dipengaruhi oleh teknik pemadatan benda uji, untuk itu pemilihan teknik pemadatan laboratorium berpengaruh sangat nyata terhadap campuran aspal sebagai bahan pembentuk lapis perkerasan jalan. Pemadatan pada hakekatnya adalah untuk memperluas bidang sentuh antar butiran, sehingga mempertinggi *internal friction* yaitu gesekan antar butiran agregat dalam campuran. Pemadatan merupakan suatu upaya untuk memperkecil jumlah *VIM*, sehingga memperoleh nilai struktural yang diharapkan.
- g. Temperatur pemadatan merupakan faktor penting yang mempengaruhi pemadatan, kepadatan hanya bisa terjadi pada saat aspal dalam keadaan cukup cair sehingga aspal tersebut dapat berfungsi sebagai pelumas. Jika aspal sudah dalam keadaan cukup dingin maka kepadatan akan sulit dicapai. Sartono (1990) menyatakan bahwa temperatur campuran beraspal panas merupakan satu-satunya faktor yang paling penting dalam pemadatan, disebabkan temperatur pada saat pemadatan sangat mempengaruhi viscositas aspal yang digunakan dalam campuran beraspal panas. Apabila temperatur pada saat pemadatan rendah, mengakibatkan viscositas aspal menjadi tinggi dan membuat sulit dipadatkan. Menaikkan temperatur pemadatan atau menurunkan viscositas aspal berakibat partikel agregat dalam campuran beraspal panas dapat dipadatkan lebih baik lagi. Sartono (1990) menyatakan bahwa *density* pada saat pemadatan campuran beraspal panas terjadi pada suhu lebih tinggi dari 275⁰ F (135⁰ C). *Density* menurun dengan cepat ketika pemadatan dilakukan pada suhu lebih rendah.

h. Workability adalah campuran agregat aspal harus mudah dikerjakan saat pencampuran, penghamparan dan pemadatan, untuk mencapai satuan berat jenis yang diinginkan tanpa mengalami suatu kesulitan sampai mencapai tingkat pemadatan yang diinginkan dengan peralatan yang memungkinkan.

Pengujian sifat-sifat campuran *aggregate* aspal digunakan cara *Marshall* serta tambahan prosedur *PRD* sesuai RSNI Bina Marga 1999 tentang Tata Cara Penentuan Kepadatan Mutlak Campuran Beraspal Panas. Pemadatan *PRD* dapat dilakukan dengan pemadat getar (*vibrating hammer*) atau mengikuti prosedur *Marshall*, tetapi dengan jumlah tumbukan dua kali, 400 kali tiap muka.

2.5. Metoda Pengujian *Marshall Test*.

Konsep dasar dari metoda *Marshall* dalam campuran aspal dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian *The U.S. Army Corp of Engineers*, melanjutkan penelitian dengan intensif dan mempelajari hal-hal yang ada kaitannya, selanjutnya meningkatkan dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian *Marshall* dan pada akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran pengujiannya, kemudian distandarisasikan didalam *American Society for Testing and Material 1989 (ASTM d-1559)*.

Dua parameter penting yang ditentukan dalam pengujian tersebut, seperti beban maksimum yang dapat dipikul benda uji sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan deformasi permanen dari sampel sebelum hancur, yang disebut *Marshall Flow*, serta turunan dari keduanya yang merupakan perbandingan antara *Marshall Stability* dengan *Marshall Flow* yang diebut dengan *Marshall Quotient*, yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*speudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi permanen (*Shell, 1990*).

Pada sebagian besar agregat, daya ikat terhadap air jauh lebih besar jika dibandingkan terhadap aspal, karena air memiliki *wetting power* yang jauh lebih besar dari aspal. Keberadaan debu yang berlebihan pada agregat juga akan berakibat kegagalan pengikatan ataupun berakibat munculnya potensi kehilangan daya ikat campuran beraspal. (*Hunter, 194*).

Uji perendaman *Marshall (Marshall Immersion Test)* merupakan uji lanjutan dari uji *Marshall* sebelumnya, dengan maksud mengukur ketahanan daya ikat/adhesi campuran

beraspal terhadap pengaruh air dan suhu (*water sensitivity and temperature susceptibility*). Ada beberapa cara yang digunakan untuk menilai tingkat durabilitas campuran beraspal, salah satunya adalah dengan mencari Indeks Stabilitas Sisa (ISS)/ *Marshall Retained Strength Index* atau dengan cara lain yaitu dengan menghitung Indeks Penurunan Stabilitas. Perbedaan keduanya adalah dasar perbandingan dari variasi lamanya perendaman dalam alat *waterbath*. Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-2990.

2.6 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini, diharapkan, dengan meningkatnya pengaruh temperatur pemadatan dari 100⁰ C sampai 160⁰ C terhadap sifat *Marshall* berdasarkan spesifikasi baru beton aspal pada *AC Binder Course* menggunakan jenis aspal *Esso* dan aspal *Pertamina* dengan konsistensi yang sama yang ditunjukkan oleh nilai penetrasi 60/70 akan dapat meningkatkan sifat perkerasan dalam batas pengaruhnya terhadap sifat *Marshall* seperti densitas, stabilitas, *flow*, *VIM (Void In the Mix)*, *VFA (Void Fill with Asphalt)*, *VMA (Void Mix aggregate)*, *Marshall Quotient*.

Pengaruh meningkatnya temperatur pemadatan dari 100⁰ C sampai 160⁰ C, terhadap nilai durabilitas berdasarkan spesifikasi baru beton aspal pada *AC Binder Course (AC-BC)* menggunakan jenis aspal *Esso* dan aspal *Pertamina* dengan konsistensi yang sama yang ditunjukkan oleh nilai penetrasi 60/70 akan dapat meningkat dengan ditunjukkan pada nilai indek stabilitas sisa (*index of retained strength*) yang terjadi di atas 85 % terhadap stabilitasnya.

2.7 Penelitian Yang Relevan

Sampai dengan saat ini belum banyak para ahli yang melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur pemadatan terhadap sifat *Marshall* dan durabilitas pada konsistensi aspal penetrasi 60/70 berdasarkan spesifikasi baru beton aspal, diantaranya adalah :

- a. Siswosubroto B.I. (1977), meneliti pengaruh suhu pemadatan terhadap campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)*.

Penelitian ini menggunakan gradasi campuran ukuran maksimum butiran $\frac{1}{2}$ " , jenis aspal AC penetrasi 60/70 dengan bahan tambah Arbosel 0 % dan 0,3 % dengan variasi suhu 75° C, 90° C, 105° C, 120° C, 135° C dan 150° C. Masalah yang dibahas adalah pengaruh suhu pemadatan terhadap kepadatan, stabilitas, kelelahan, *Marshall Qoutient*, *VIM*, *VMA* dan Uji Perendaman Marshall.

- b. Gunawan (1993), meneliti pengaruh temperatur pemadatan pada campuran beton aspal terhadap *VIM*, Modulus kekakuan dan koefisien kekuatan relatif campuran. Penelitian ini menggunakan jenis campuran beton aspal dengan tipe gradasi I dan II, jenis aspal AC penetrasi 60/70, dengan variasi temperatur pemadatan 90° C, 100° C, 105° C, 110° C, 115° C, 120° C, 125° C, 130° C, 135° C dan 140° C. Masalah yang dibahas adalah pengaruh temperatur pemadatan terhadap *VIM*, Modulus kekakuan, koefisien kekuatan relatif campuran terhadap persyaratan Bina Marga.

- c. Henry Kesaully (1997), meneliti Efek Pemanasan Ulang Pada Durabilitas Campuran Beton Aspal.

Pada penelitian ini dikaji efek pemanasan ulang campuran yang sudah bersuhu rendah terhadap durabilitas campuran pengujian laboratorium. Derajat suhu pemanasan ulang yang digunakan adalah derajat suhu penurunan 0° C, 20° C, 40° C, 60° C, 80° C dan 100° C, pada kadar aspal optimum serta variasi perendaman 0,50 jam, 24 jam dan 168 jam pada pengujian *Marshall* untuk mengetahui tingkat durabilitas campuran.

- d. Yusbar (1998), meneliti pengaruh temperatur pemadatan pada campuran beton aspal terhadap nilai struktural dan durabilitas campuran berbagai ukuran maksimum butiran.

Penelitian ini menggunakan gradasi dengan ukuran maksimum butiran $\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{4}$ " , dan 1" , jenis aspal AC penetrasi 60/70 dengan variasi temperatur pemadatan 60° C, 80° C, 100° C, 120° C, dan 140° C. Masalah yang dibahas adalah pengaruh temperatur pemadatan dan perendaman terhadap stabilitas, *Flow*, *VIM*, *VFWA*, *Density*, *Marshall Qoutient*, Modulus kekakuan campuran, dan koefisien kekuatan relatif.

- e. Samsudjarwo Mihardjo (2002), meneliti Pengaruh Temperatur Pemadatan Terhadap Deformasi Plastis dan Durabilitas Campuran Beton Aspal.

Penelitian ini menggunakan jenis campuran beton aspal Spesifikasi Umum, Peningkatan Jalan Nasional (*HSIP Phase IV IBRD-IND*) 1999 dengan ukuran gradasi maximum (19 mm, 12,7 mm, 9,5 mm jenis aspal AC Pen 60/70 dengan variasi temperatur pemadatan 100°C, 110°C, 120°C, 130°C dan 140°C, dengan melakukan pengujian *Wheel Tracking* untuk mengetahui deformasi plastis yang terjadi dan pengujian perendaman Marshal untuk mengetahui durabilitas campuran beton aspal.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini digunakan campuran beton aspal tipe lapis aspal beton (*AC Binder Course*) dengan gradasi *aggregate* untuk campuran aspal sesuai Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Edisi Agustus 2001 Pusat Penelitian dan Pengembangan Transportasi Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah dengan variasi temperatur pemadatan 100°C, 120°C, 140°C dan 160°C untuk mengetahui nilai sifat *Marshall* dan Indeks Stabilitas sisa.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode dan Disain

Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan dasar menggunakan metode pengujian mengacu kepada Standar Nasional Indonesia (SNI), tentang Tata Cara Penentuan Kepadatan Mutlak Campuran Beraspal Panas Revisi Spesifikasi Bina Marga edisi Agustus 2001 maupun pada metode *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*.

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas:

- a. Pengujian sifat-sifat bahan (agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal), hal ini dilakukan agar diperoleh bahan-bahan yang memenuhi spesifikasi, yang terdiri dari pemeriksaan agregat meliputi pemeriksaan berat jenis, pengujian *Los Angeles*, kelekatan terhadap aspal, penyerapan air, indek kepipihan, *sand equivalent*, dan pemeriksaan *soundness*. Untuk pengujian aspal terdiri atas pengujian berat jenis, penetrasi, daktilitas, pengujian titik lembek, titik nyala, titik bakar, pengujian kehilangan berat, kelarutan aspal dalam *CCL₄*.
- b. Pengujian tahap pertama yaitu untuk mencari kadar aspal optimum, dalam pengujian ini dibuat 20 benda uji terdiri dari 10 benda uji untuk keperluan pengujian standar dan 10 benda uji untuk keperluan pengujian perendaman dengan kadar aspal bervariasi, dari beberapa kadar aspal tersebut dapat ditentukan kadar aspal optimumnya. Pengujian tahap pertama menggunakan metoda *Marshall test*, dimana akan didapat sifat-sifatnya terdiri atas analisis kerapatan dan rongga campuran antara lain, berat jenis maksimum teoritis campuran, *VMA*, *VIM*, *VFA*, dan absorpsi. Hasil pengujian benda uji terdiri atas stabilitas, *flow*, *MQ*, dan Indeks stabilitas sisa.
- c. Pengujian tahap kedua yaitu membuat desain campuran dengan kadar aspal optimum yang diperoleh berdasarkan pengujian tahap pertama, kemudian dilakukan pengujian berdasarkan metoda *Marshall test* dengan variasi temperatur dan lama perendaman.

3.2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Agregat kasar, berasal dari Singorojo, Bawen dan diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. PT. Kadi Internasional Pudak Payung Semarang.
- b. Begitu pula untuk agregat pengisi (*filler*) yang digunakan adalah abu batu dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Kadi Internasional Pudak Payung Semarang.
- c. Agregat halus (pasir kali) menggunakan pasir kali asal Muntilan, juga diperoleh dari AMP PT. Kadi Internasional Pudak Payung Semarang.
- d. Untuk bahan aspal menggunakan aspal *ESSO Singapore* dan aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70

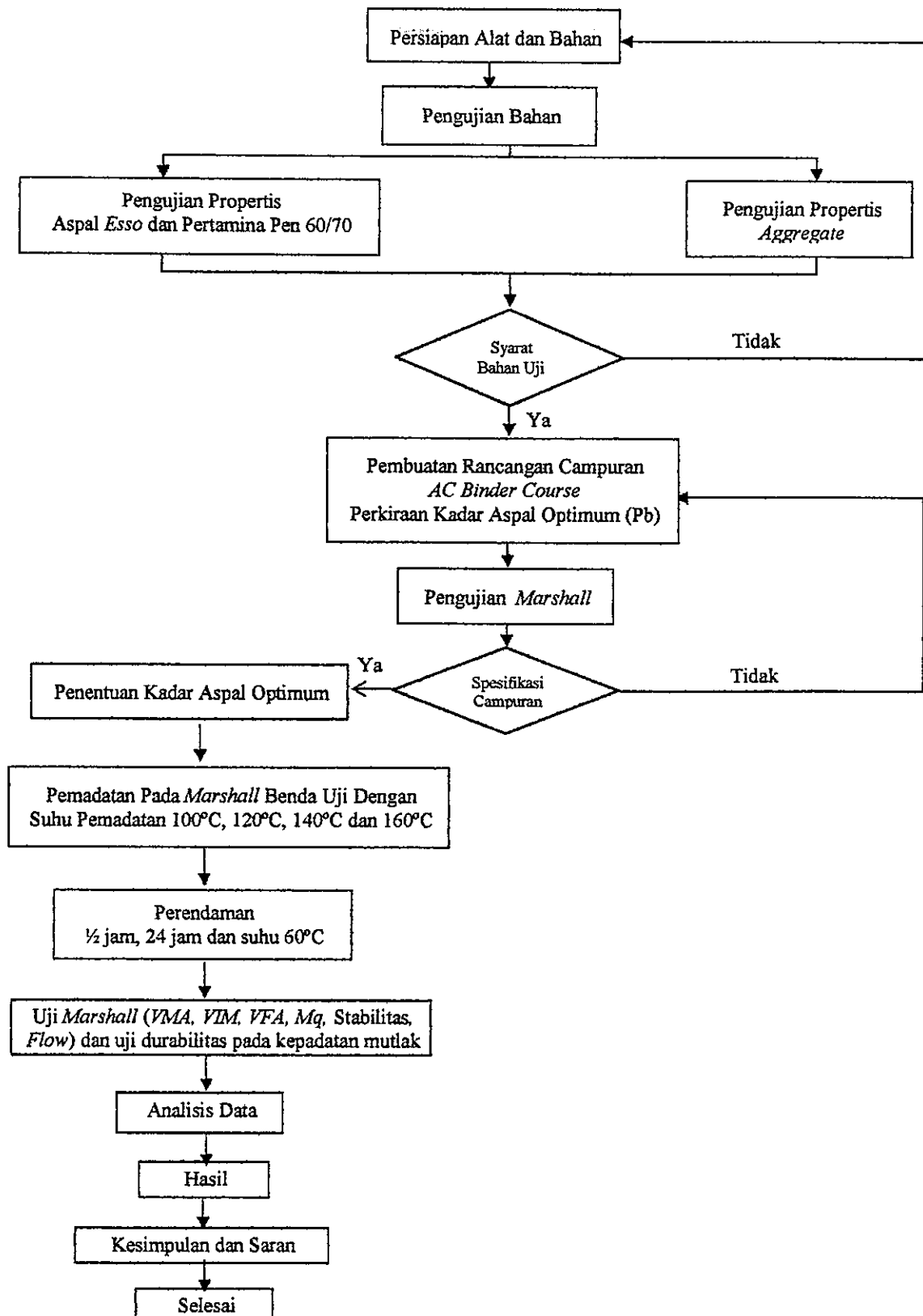
3.3 Peralatan Penelitian

- a. Alat uji pemeriksaan aspal
Digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji kelarutan.
- b. Alat uji pemeriksaan agregat
Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), saringan standar, alat pengering (*oven*), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), alat uji indeks kepipihan, bak perendam, tabung *sand equivalent*, alat saringan uji soundness
- c. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal
Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi:
 - 1) Alat tekan *Marshall* yang terdiri kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan palstis (*flowmeter*).
 - 2) Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 in) dengan tinggi 7,5 cm (3 in) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 in) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dan dilengkapi dengan plat dan leher sambung.

- 3) Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3.86 inch), berat 4,5 kg (10 lb) dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 in) untuk *Marshall* standar.
- 4) Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
- 5) Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.
- 6) Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaos tangan anti panas, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.

3.4. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir pelaksanaan penelitian di Laboratorium Pelaksanaan dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu pemeriksaan bahan (agregat ,aspal), penentuan gradasi campuran (target gradasi) dan pembuatan resep campuran , pengujian Marshall, dan secara skematis dapat dilihat pada Gambar 3.1, halaman 23.



Gambar 3.1. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

3.5. Dasar Perhitungan

Departemen Kimpraswil / Puslitbang Prasarana Transportasi Jalan (1999), mensyaratkan perhitungan-perhitungan untuk campuran Laston *AC Binder Course* yang harus digunakan pada setiap rancangan campuran suatu lapis perkerasan. Perhitungan tersebut digunakan untuk menganalisis atau membahas data-data yang dihasilkan dari uji *Marshall*.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

3.5.1 Berat Jenis *Bulk* dan *Apparent* dari Total Agregat

Total agregat terdiri dari fraksi agregat kasar, agregat halus dan *filler*, yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, sehingga berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan *berat jenis semu (apparent specific gravity)* dari total agregat dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.1 dan 3.2 dibawah ini :

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

$$Gsb_{tot\ agregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsb_1} + \frac{P_2}{Gsb_2} + \frac{P_3}{Gsb_3} + \dots + \frac{P_n}{Gsb_n}} \dots\dots\dots(3.1)$$

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

$$Gsa_{tot\ agregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsa_1} + \frac{P_2}{Gsa_2} + \frac{P_3}{Gsa_3} + \dots + \frac{P_n}{Gsa_n}} \dots\dots\dots(3.2)$$

3.5.2 Berat jenis Efektif dari Total Agregat.

Berat jenis efektif dari total agregat dapat dicari berdasarkan hasil pengujian Kepadatan Maksimum Teoritis dengan menggunakan persamaan 3.3 dan 3.4, dibawah ini :
 Berat jenis efektif dari total agregat

$$a. \quad G_{se_{tot \text{ agregat}}} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

$$b. \quad G_{se_{tot \text{ agregat}}} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

3.5.3. Volume Campuran dan berat Jenis Campuran setelah Pemadatan

a. Volume campuran setelah pemadatan

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

b. Berat jenis campuran setelah pemadatan

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

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

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{100 - P_b}{G_{se_{tot \text{ agregat}}} + \frac{P_b}{G_{sb_{tot \text{ agregat}}}}} \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

3.5.4. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat total agregat, dan bukan terhadap terhadap campuran. Persamaan penyerapan aspal (P_{ba}) seperti pada persamaan 3.8, dibawah ini

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_b} \times G_b \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

3.5.5. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (P_{be}) campuran beraspal adalah total kadar aspal dikurangi jumlah kadar aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar ,yang akan menentukan kinerja perkerasan, dimana Persamaan kadar aspal efektif (P_{be}) seperti pada persamaan 3.9, dibawah ini

$$Pbe = Pb \times \frac{Pba}{100} \times Ps \dots\dots\dots(3.9)$$

3.5.6. Rongga Udara (*Air Voids*)

- a. Rongga udara dalam campuran (*Va*) atau *VIM*

Rongga udara dalam campuran (*Va*) atau *VIM* dalam campuran beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume udara dalam campuran beraspal dapat ditentukan dengan persamaan Rongga udara dalam campuran (*Void In The Mixture/ VIM*) seperti pada persamaan (3.10)

$$VIM = 100 - 100 \times \frac{Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots(3.10)$$

- b. Rongga udara antar mineral agregat (*Void in the Mineral Agregat/ VMA*)

Rongga udara antar mineral agregat (*VMA*) merupakan ruang rongga diantara partikel agrgat pada campuran beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang terserap agregat). *VMA* direncanakan berdasarkan berat jenis *bulk* (*Gsb*) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *bulk* campuran beraspal. Persamaan *VMA* terhadap campuran beraspal, seperti persamaan (3.11), dibawah ini :

$$VMA = 100 - \left[(100 - Pb) \times \frac{Gmb}{Gsb} \right] \dots\dots\dots(3.11)$$

- c. Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Asphalt/ VFA*)

Rongga udara yang terisi aspal (*VFA*) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang terserap oleh agregat. Persamaan *VFA* terhadap campuran beraspal, seperti persamaan (3.12), dibawah ini :

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(3.12)$$

3.5.7. Stabilitas dan Flow

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai yang ditunjukkan oleh jarum di dial stabilitas pada alat *test Marshall*, kemudian dikonversikan pada tabel kalibrasi sesuai *proving ring* yang digunakan dalam penelitian ini digunakan *proving ring* dengan kekuatan 10.000 lbf (5.000 kgf). Selanjutnya nilai stabilitas tersebut harus disesuaikan dengan angka koreksi akibat dari tebal benda uji. Untuk nilai *Flow* ditunjukkan pada angka pada jarum

dial *flow*, satuan pada dialnya sudah sesuai dalam satu mm (milimeter), sehingga tidak diperlukan lagi konversi angka dan kalibrasi jarum dial *flow*.

3.5.8. Marshall Quotient dan Indeks Stabilitas Sisa

a. *Marshall Quotient (MQ)*, merupakan hasil bagi dari stabilitas dibagi *flow*, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.13), seperti dibawah ini :

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(3.13)$$

Selanjutnya dilakukan uji rendaman *Marshall* selama 24 jam dalam suhu 60°C untuk mendapatkan nilai indeks stabilitas sisa

b. Indeks Stabilitas Sisa (ISS) :

$$ISS = \left[\frac{MS_i}{MS_s} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(3.14)$$

3.5.9. Dust Proportion

Dust Proportion (DP) merupakan nilai perbandingan antara prosentase kadar *filler* terhadap prosentase kadar aspal, tujuannya adalah untuk merencanakan kondisi campuran yang terbaik. Nilai *Dust Proportion (DP)* yang terlalu tinggi menyebabkan campuran beraspal menjadi kurang menyatu antara agregat kasar dan agregat halus yang diakibatkan penyerapan aspal oleh *filler* yang terlalu tinggi. *The Asphalt Institute*, (1995) menyebutkan, *DP* yang baik berkisar antara 0,6 s/d 1,2. Persamaan yang digunakan seperti terlihat pada persamaan (3.15), seperti dibawah ini :

$$DP = P_f / P_b \dots\dots\dots(3.15)$$

Keterangan :

Gsb	= Berat jenis kering/ <i>bulk spesific gravity</i> (gr/cc)
Gsa	= Berat jenis semu/ <i>apparent spesific gravity</i> (gr/cc)
Gse	= Berat jenis efektif/ <i>bulk spesific gravity SSD</i> (gr/cc)
Gsb _{tot agregat}	= Berat jenis kering agregat gabungan (gr/cc)
P ₁ , P ₂ , P ₃ , ...	= Prosentase berat dari masing-masing agregat
Gsb ₁ , Gsb ₂ , Gsb ₃ , ...	= Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1,2,3..n
Gsa _{tot agregat}	= Berat jenis semu agregat gabungan

$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}, \dots$	= Berat jenis semu dari masing-masing agregat 1,2,3..n
$G_{se_{tot}} \text{ agregat}$	= berat jenis efektif agregat gabungan
$G_{se1}, G_{se2}, G_{se3}, \dots$	= Berat jenis efektif dari masing-masing agregat 1,2,3..n
V_{bulk}	= Volume campuran setelah pemadatan (cc)
W_{SSD}	= Berat dalam kondisi kering permukaan (gr)
W_w	= Berat dalam air (gr)
G_{mb}	= Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
G_{mm}	= Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)
P_b	= Prosentase kadar aspal terhadap total campuran (%)
P_{ba}	= Penyerapan aspal, persen total agregat (%)
P_{be}	= Kadar aspal efektif, persentotal campuran (%)
P_f	= Prosentase kadar <i>filler</i> terhadap total campuran (%)
P_s	= Kadar agregat, persen total campuran (%)
G_b	= Berat jenis aspal (gr/cc)
VIM	= Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total (%)
VMA	= Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total
VFA	= Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
MS	= <i>Marshall Stability</i>
MF	= Kelelahan <i>Marshall</i>
IRS	= Indeks perendaman/ indeks stabilitas sisa
Msi	= Stabilitas <i>Marshall</i> setelah perendaman 24 jam pada temperatur 60°C
MSs	= Stabilitas <i>Marshall</i> standar pada perendaman selama 30-40 menit pada temperatur 60°C
P_f	= Prosentase <i>filler</i>
P_b	= Prosentase <i>bitumen</i>

3.6. Prosedur Penelitian

3.6.1 Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan yang dilaksanakan pada penelitian ini, meliputi pemeriksaan terhadap agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Tujuan pemeriksaan bahan ini adalah untuk mengetahui apakah bahan yang digunakan dalam campuran aspal seperti agregat dan aspal telah memenuhi syarat yang telah ditetapkan. Sedangkan spesifikasi yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari Standar Nasional Indonesia (SNI), *AASHTO*, dan *ASTM* lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1. Spesifikasi pengujian bahan agregat

No.	Karakteristik	Metode Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
I	Agregat Kasar				
1	Gradasi	RSNI Bina Marga 1999	-		
2	Berat Jenis Curah	SNI-M 09-1989-F		2,5	-
3	Berat Jenis SSD	SNI-M 09-1989-F	-	-	-
4	Berat Jenis Semu	SNI-M 09-1989-F	-	-	-
5	Penyerapan Air	SNI-M 09-1989-F	%	-	3
6	Abrasi Los Angeles	SNI-M-02-1990-F	%	-	40
7	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI-M-28-1990-1	%	95	-
8	<i>Sand Equivalent</i>	AASHTO T-84-1974	%	50	-
9	<i>Soundness test</i>	AASHTO T-104-1977	%	-	7
II	Agregat Halus				
1	Gradasi	RSNI Bina Marga 1999	-	-	-
2	Berat Jenis Curah	SNI-03-1970-1990-F		2,5	
3	Berat Jenis SSD	SNI-03-1970-1990-F	-	-	-
4	Berat Jenis Semu	SNI-03-1970-1990-F	-	-	-
5	Penyerapan Air	SNI-03-1970-1990-F	%	-	3
6	<i>Sand Equivalent</i>	AASHTO T-84-1974	%	50	
III	Filler				
1	Berat Jenis Curah	SNI-15-2531-1991	gr/m ³	1	-

Sumber: Spesifikasi Teknik Bina Marga (1983), P3TN (1993)

Persyaratan pengujian aspal jenis AC 60-70 seperti tertera dalam Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2. Persyaratan untuk aspal

No	Jenis Pemeriksaan	Metode pengujian	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penetrasi (25°C, 5 detik)	AASHTO T-96-1974	60	79	0.1 mm
2	Titik Lembek (ring dan ball)	SNI M-20-1990-F	48	58	°C
3	Titik nyala (Cleveland open cup)	SNI M-19-1990-F	200	-	°C
4	Titik bakar	SNI M-19-1990-F	-	-	°C
5	Kehilangan Berat (163°C, 5 jam)	AASHTO T-96-1974	-	0.4	% berat
6	Kelarutan CCL ₄	AASHTO T-96-1974	99	-	% berat
7	Daktilitas (25°C, 5 cm/menit)	AASHTO T-51-1974	100	-	Cm
8	Penetrasi setelah kehilangan berat	AASHTO T-96-1974	54	-	% semula
9	Berat jenis (25°C)	SNI M-30-1990-F	1	-	gr/cc

Sumber: Spesifikasi Teknik Bina Marga (1983), P3TN (1993)

3.6.2. Perencanaan Campuran Beraspal panas Laston (*AC-BC*)

Pada pertengahan tahun 2001 Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah mengeluarkan spesifikasi baru beton aspal campuran panas. Spesifikasi ini mengikuti trend perkembangan metoda perencanaan campuran beraspal panas yang berorientasi pada kinerja didasarkan pada pendekatan rasional atau mekanistik.

Karakteristik campuran beraspal panas berdasarkan kinerja (*performance based properties*) adalah karakteristik campuran yang berhubungan dengan respon perkerasan terhadap beban. Setelah sasaran kinerja tertentu didefinisikan maka target karakteristik campuran dapat ditetapkan, atau sebaliknya dengan mengetahui karakteristik campuran maka kinerja perkerasan dapat diperkirakan.

Penyempurnaan spesifikasi campuran beraspal panas, terutama diarahkan untuk mengantisipasi kerusakan berupa deformasi plastis. Walaupun demikian upaya tersebut dilakukan dengan tidak mengorbankan keawetan dan ketahanan campuran terhadap *fatig*. Salah satu jenis campuran yang dirangkum dalam spesifikasi baru tersebut adalah Laston *AC-BC*. Ketentuan sifat-sifat campuranaan gradasi agregat untuk campuran aspal Spesifikasi baru beton aspal campuran panas dapat dilihat pada Tabel 3.3. Halaman 31.

Tabel 3.3. Spesifikasi beberapa campuran beraspal

Sifat-sifat campuran			Latasir Kelas A & B	Lataston		Laston			
				WC	Base	WC	BC	Base	
Penyerapan kadar aspal		Maks	2,0	1,2 untuk lalu lintas > 1.000.000 ESA 1,7 untuk lalu lintas < 1.000.000 ESA					
Jumlah tumbukan per bidang			50	75			112 ⁽¹⁾		
Rongga dalam campuran (VIM) (%) ⁽⁴⁾	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	Min	Tidak digunakan untuk LL berat				4,9		
		Maks					5,9		
	> 0,5 juta ESA & < 1 juta ESA	Min		4,0				3,9	
		Maks		6,0				4,9	
	Lalu lintas (LL) > 0,5 juta ESA	Min		30				3,0	
Maks	60				5,0				
Rongga dalam agregat (VMA) %		Min	20	18	17	15	14	13	
Rongga terisi aspal (VFA) %	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	Min	Tidak digunakan untuk lalu lintas berat	65		65	63	60	
	> 0,5 juta ESA & < 1 juta ESA	Min		68					
	Lalu lintas (LL) < 0,5 juta ESA	Min		75				73	
Stabilitas Marshall, (Kg)		Min	200		800			800 ⁽¹⁾	
		Maks	850		-				
Kelelahan/Flow, (mm)		Min	2		2			2 ⁽¹⁾	
		Maks	3		-				
Marshall Quotient (kg/mm)		Min	80		200			200	
Stabilitas Marshall sisa setelah perendaman, 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾		Min	85 untuk Lalu lintas > 1.000.000 ESA 80 untuk Lalu lintas < 1.000.000 ESA						
Rongga dimampatkan (%) pada kepadatan membal (refusal)	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	Min	Tidak digunakan untuk LL berat			2,5			
	Maks			-					
	> 0,5 juta ESA & < 1 juta ESA	Min		2					
	Maks								
Lalu lintas (LL) < 0,5 juta ESA	Min	1							
Maks									

Sumber : Spesifikasi baru beton aspal panas, Departemen Kimprawil, 2001

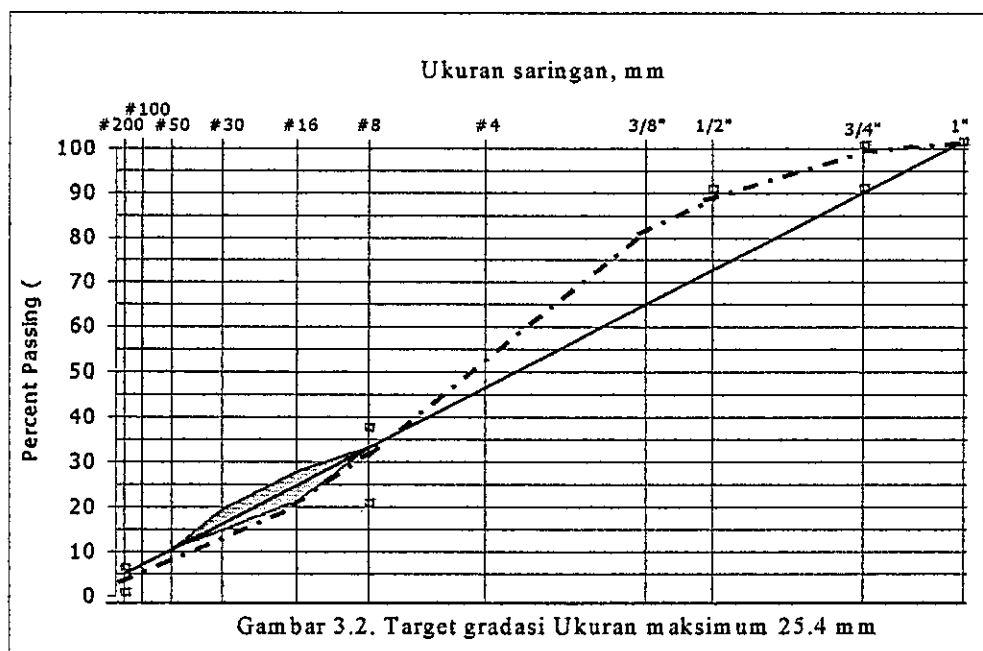
Catatan:

1. Modifikasi Marshall
2. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), penumbuk getar disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya agregat dalam campuran. Jika digunakan penumbuk manual jumlah tumbukan per muka 600, untuk cetakan diameter 6 inc, dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inc.
3. Untuk lalu-lintas yang sangat lambat atau lajur padat, gunakan kriteria *ESA* yang lebih tinggi.
4. Berat jenis efektif agregat dihitung berdasar pada berat jenis maks. Agregat
5. Direksi dapat menyetujui prosedur pengujian *AASHTO T.283* sebagai alternatif pengujian kepekaan kadar air. Pengondisian beku tidak diperlukan.

Jenis campuran yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji adalah campuran panas agregat-aspal dengan gradasi sesuai spesifikasi untuk lapis *AC binder course*. Berdasarkan hasil analisis saringan maka ditentukan berat masing-masing ukuran agregat dengan prosentase yang telah ditetapkan dahulu dalam target gradasi. Target gradasi ditentukan sesuai spesifikasi untuk ukuran agregat maksimum 25,4 mm. (lihat Tabel 3.4 dan Gambar 3.2)

Tabel 3.4 Target Gradasi dengan ukuran maksimum 25 mm

Sieve mm	Control Point		Restricted zone		Target Gradasi	Persen tertahan	Berat (gram)
	Min	Max	Min	Max			
25,4	100	100			100	0	0
19	90	100,0	-	-	98	2	24
12,5	-	90	-	-	85	13	156
9,5	-	-	-	-	79	6	72
4,75	-	-	-	-	55	24	288
2,36	23	49	34,6	34,6	31	24	288
1,18	-	-	22,3	28,3	20	11	132
0,600	-	-	16,7	20,7	14	6	72
0,300	-	-	13,7	13,7	10	4	48
0,075	2	8	-	-	4	6	72
Pan	-	-	-	-	-	4	48
			Total				1200



.Dari Tabel 3.4. Dapat diketahui proporsi masing-masing fraksi. Setiap benda uji umumnya memerlukan berat kira-kira 1200 gram untuk menghasilkan tinggi benda uji setelah dipadatkan setinggi $64,30 \pm 6,43$ mm dengan diameter 100 mm (4inch.).

Untuk menentukan kadar aspal optimum diperkirakan dengan penentuan kadar aspal optimum secara empiris dengan persamaan sebagai berikut:

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + K \dots\dots\dots (3.16)$$

Keterangan :

- Pb = perkiraan kadar aspal terhadap campuran, persentase berat terhadap campuran
- CA = *Aggregate* kasar tertahan saringan nomor 8
- FA = *Aggregate* halus lolos saringan nomor 8
- FF = Bahan pengisi lolos saringan nomor 200
- Nilai K = Konstanta 0,5 sampai dengan 1,0 untuk laston

Bulatkan perkiraan nilai Pb sampai 0.50 % terdekat jika hasil perhitungan diperoleh misalnya didapat 5,3 % maka bulatkan menjadi 5,5 %, kemudian siapkan benda uji untuk *Marshall test* sesuai tahapan berikut ini :

a. Tahap I :

Berdasarkan perkiraan kadar aspal optimum Pb dibuat benda uji dengan jenis aspal yang berbeda, yaitu aspal *Esso* dan aspal *pertamina* dengan dua variasi kadar aspal diatas Pb dan dua variasi kadar aspal dibawah Pb (-1,0 %;- 0,5 %;Pb;+0,50 %, + 1,0%), masing-masing 4 (empat) benda uji terdiri dari 2 (dua) kering dan 2 (dua) rendaman. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall* standar 2 x 75 tumbukan dan pengujian durabilitas untuk menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil bagi *Marshall* dan Indeks stabilitas sisa. Dari grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall* , tentukan kadar aspal optimum.

b. Tahap II :

Buat 16 (enam belas) benda uji masing-masing pada jenis aspal *Esso* dan aspal *Pertamina* pada kadar aspal optimum, variasikan masing-masing kadar aspal (-0,50%; $K_{opt} + 0,50\% + 1,0\%$) dan variasi suhu (100°C, 120°C, 140°C, 160°C) kemudian lakukan kembali uji *Marshall* standar (2 x 75) tumbukan, selanjutnya lakukan uji kepadatan

membal/refusal (2 x 400) tumbukan serta uji Durabilitas untuk menentukan VIM, VMA, VFA, kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil bagi Marshall dan persentase stabilitas sisa setelah perendaman. Perincian pengujian dapat dilihat pada jumlah sampel penelitian seperti pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Jumlah Sampel Penelitian

Tahap I : Uji *Marshall* standar Kadar Aspal Optimum dan Uji Stabilitas Sisa

Jenis Aspal	Kadar Aspal (%)					Jumlah
	-1,0%	-0,5%	Pb	+0,5%	1%	
Aspal Pertamina	2D	2D	2D	2D	2D	10
	2S	2S	2S	2S	2S	10
Aspal <i>Esso</i>	2D	2D	2D	2D	2D	10
	2S	2S	2S	2S	2S	10
Sub total						40

Tahap II: Uji *Marshall* standar dan Uji SS (2x75) pada Kadar Aspal Optimum

Temperatur Pematatan	Kadar aspal jenis Pertamina				Jumlah
	-0,5%	Pb _{opt}	0,5%	1%	
100 ⁰ C	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
120 ⁰ C	2S	2S	2S	2S	8
	2S	2S	2S	2S	8
140 ⁰ C	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
160 ⁰ C	2S	2S	2S	2S	8
	2S	2S	2S	2S	8
Sub total					64

Tahap II: Uji *Marshall* standar dan Uji ISS (2x75) pada Kadar Aspal Optimum

Temperatur Pematatan	Kadar aspal jenis <i>Esso</i>				Jumlah
	-0,5%	Pb _{opt}	0,5%	1%	
100 ⁰ C	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
120 ⁰ C	2S	2S	2S	2S	8
	2S	2S	2S	2S	8
140 ⁰ C	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
160 ⁰ C	2S	2S	2S	2S	8
	2S	2S	2S	2S	8
Sub total					64

Tahap II: Uji *Marshall* kepadatan mutlak (2x400) dan Uji ISS Kadar Aspal Optimum

Temperatur Pemasakan	Kadar aspal jenis <i>Esso</i>				Jumlah
	-0,5%	P _{b_{opt}}	0,5%	1%	
100 ⁰ C	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
120 ⁰ C	2S	2S	2S	2S	8
	2S	2S	2S	2S	8
140 ⁰ C	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
160 ⁰ C	2S	2S	2S	2S	8
	2S	2S	2S	2S	8
Sub total					64

Tahap II: Uji *Marshall* kepadatan mutlak (2x400) dan Uji ISS Kadar Aspal Optimum

	Kadar aspal jenis <i>Pertamina</i>				Jumlah
	-0,5%	P _{b_{opt}}	0,5%	1%	
100 ⁰ C	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
120 ⁰ C	2S	2S	2S	2S	8
	2S	2S	2S	2S	8
140 ⁰ C	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
160 ⁰ C	2S	2S	2S	2S	8
	2S	2S	2S	2S	8
Sub total					64

Keterangan :

S = Sampel diasumsikan dalam kondisi (*soaked*) rendaman

D = Sampel diasumsikan dalam kondisi (*dry*) kering.

Jumlah total sampel penelitian : 40 + 128 + 128 = 296 sampel

3.6.3. Pengujian *Marshall*

- Menimbang agregat sesuai dengan prosentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing fraksi dengan berat campuran kira-kira 1200 gram untuk diameter 4 inch, kemudian keringkan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu $(105 \pm 5)^0$ C.
- Memaskan aspal untuk pencampuran yaitu pada viskositas kinematik 100 ± 10 centistokes, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata.

- c. Setelah temperatur pemadatan tercapai yaitu pada viskositas kinematik 100 ± 10 centistokes, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dipanasi (100°C hingga 170°C) dan diolesi vaselin terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas filter atau kerta lilin (*waxed paper*) yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan, sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali dibagian tepi dan 10 kali dibagian tengah.
- d. Pemadatan standar dilakukan dengan pemadat manual dengan jumlah tumbukan 75 kali dibagian sisi atas kemudian dibalik dan sisi bagian bawah juga ditumbuk sebanyak 75 kali.
- e. Pemadatan lanjutan untuk kepentingan kepadatan membal (*refusal*) dilaksanakan seperti cara pemadatan standar hanya tumbukannya dilakukan sebanyak 2×400 tumbukan.
- f. Setelah proses pemadatan selesai benda uji didiamkan agar suhunya turun, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode.
- g. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang beratnya di udara.
- h. Benda uji direndam dalam air selama 10 – 24 jam supaya jenuh.
- i. Setelah jenuh benda uji ditimbang dalam air.
- j. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.
- k. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 30 hingga 40 menit. Untuk uji perendaman mendapatkan stabilitas sisa pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
- l. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
- m. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, letakkan benda uji tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut tepat di tengah alat pembebanan, arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada dudukan diatas salah satu batang penuntun.
- n. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.

- o. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inch.) per menit, hingga kegagalan benda uji terjadi yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibuka arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat benda uji mengalami kegagalan adalah merupakan nilai stabilitas *Marshall*.
- p. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan. Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 60 detik.
- q. Untuk pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) jenis aspal, yaitu aspal *Esso* dan aspal *Pertamina* dengan tingkat penetrasi 60/70.
- r. Campuran agregat aspal standar dimasukkan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisi sebanyak 75 kali pada temperatur $\pm 170^{\circ}\text{C}$.
- s. Selanjutnya campuran agregat – aspal dicampur pada suhu $\pm 170^{\circ}\text{C}$ dan divariasikan suhu pematatannya mulai dari suhu 100°C , 120°C , 140°C , dan 160°C
- t. Campuran agregat aspal untuk mencapai kepadatan membal dimasukkan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisinya 400 kali pada suhu pencampuran dan pematatan $\pm 170^{\circ}\text{C}$.
- u. Selanjutnya pada kepadatan membal campuran agregat – aspal dipanaskan pada suhu $\pm 170^{\circ}\text{C}$, kemudian divariasikan suhu pematatannya mulai dari suhu 100°C , 120°C , 140°C , dan 160°C .
- v. Setelah proses pematatan selesai, benda uji didinginkan selama ± 4 jam, dan kemudian dilakukan test *Marshall*.

3.6.4. Pengujian Indeks Stabilitas Sisa

Daya ikat berkelanjutan dari mortar terhadap agregat kasar dalam campuran bersifat sangat penting bagi kemampuan layanan dari perkerasan lentur. Ini karena salah satu kegagalan perkerasan lentur biasanya terkait dengan masalah kehilangan daya ikat ataupun pengelupasan film aspal dalam campuran. Pada sebagian besar agregat, daya ikat terhadap air jauh lebih besar jika dibandingkan terhadap aspal, karena air memiliki *wetting power* yang jauh lebih besar dari aspal (Soeprapto, 1995). Keberadaan debu yang berlebihan pada agregat juga akan berakibat kegagalan pengikatan ataupun berakibat munculnya potensi kehilangan daya ikat campuran. (Hunter, 1994).

Uji perendaman *Marshall* (*Marshall Immersion Test*) merupakan uji lanjutan dari uji *Marshall* sebelumnya, dengan maksud mengukur ketahanan daya ikat/adhesi campuran terhadap pengaruh air dan suhu (*water sensitivity and temperature susceptibility*). Ada beberapa cara yang digunakan untuk menilai tingkat durabilitas campuran, salah satunya adalah dengan mencari Indeks Stabilitas Sisa (ISS)/*Marshall Retained Strength Index*, nilai ISS diperoleh dengan cara membandingkan stabilitas setelah perendaman selama 24 jam pada suhu $60^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan stabilitas selama setengah jam pada suhu yang sama. Cara menghitungnya menggunakan persamaan 3.14, semakin besar nilai ISS maka semakin besar tingkat durabilitas campuran tersebut. Bina Marga mensyaratkan lebih besar dari 85% untuk menjamin campuran tidak mengalami kehilangan daya ikat. Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-1990. Perendaman benda uji dilakukan pada pada temperatur $60^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Masing-masing golongan terdiri dari 2 sampel yang direndam pada bak perendam untuk semua variasi kadar aspal dan variasi suhu pemadatan.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Material

Sebagaimana yang telah disampaikan pada bagan alir pengujian material dilakukan dengan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *AASHTO* sebagai acuan apabila pengujian yang dimaksud tidak terdapat dalam SNI, pengujian material meliputi : pemeriksaan sifat agregat (kasar, halus dan *Filler*), dan pemeriksaan sifat fisik aspal Penetrasi 60/70 (ex Pertamina dan ex *Esso Singapore*).

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Hasil pemeriksaan fisik agregat meliputi agregat kasar, agregat halus dan *filler* dipresentasikan pada Tabel 4.1. Hasil pemeriksaan fisik secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran B.

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.

No	Sifat-sifat	Sat.	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			Minimum	Maksimum		
Agregat Kasar						
1	Penyerapan air	%	-	3	1.564	Memenuhi
2	Berat jenis <i>bulk</i>	-	2,5	-	2.535	Memenuhi
3	Berat jenis semu	-	-	-	2.640	Memenuhi
4	Berat jenis efektif	-	-	-	2.575	Memenuhi
5	Tes abrasi Los Angeles	%	-	40	23.50	Memenuhi
6	Indeks kepipihan	%	-	10	1.71	Memenuhi
7	Kelekatan dengan aspal	%	95	-	98	Memenuhi
8	<i>Soundness test</i>	%	-	7	5.06	Memenuhi
Agregat Halus						
1	Penyerapan air	%	-	3	2.669	Memenuhi
2	Berat jenis <i>bulk</i>	-	2,5	-	2.550	Memenuhi
3	Berat jenis semu	-	-	-	2.736	Memenuhi
4	Berat jenis efektif	-	-	-	2.618	Memenuhi
5	<i>Sand equivalent</i>	%	50	-	91.84	Memenuhi
Filler						
1	Berat jenis	gt/cc	1	-	2.455	Memenuhi

Hasil-hasil pengujian agregat menunjukkan bahwa baik agregat kasar, agregat halus dan *filler* memenuhi persyaratan. Agregat kasar batu kali berasal dari ex singorojo Bawen,

mempunyai nilai berat jenis *bulk* (curah) 2.535 gr/cc lebih besar dari nilai berat jenis minimal sebesar 2.5 gr/cc, sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif tidak dipersyaratkan, tetapi sebaiknya mengacu pada persyaratan > 2,5 gr/cc, sedangkan penyerapan air diperoleh dari pengujian didapat hasil 1.564 % yang lebih kecil dari persyaratan yang ditetapkan sebesar 3%.

Untuk hasil pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, menunjukkan bahwa agregat kasar yang akan digunakan tahan terhadap abrasi, ini dapat dilihat dari hasil pengujian nilai keausan 23.50 % yang diperoleh lebih kecil dari persyaratan yang ditetapkan sebesar 40 %, sedangkan nilai kelekatan agregat kasar terhadap aspal 98 %, menunjukkan bahwa lebih dari 95 % sebagai persaratan yang ditetapkan agregat kasar terselimuti aspal.

Pengujian Indek Kepipihan yang bertujuan untuk membatasi jumlah agregat kasar bentuk pipih dalam campuran yang ditunjukkan dalam nilai indek kepipihan. Dari hasil pengujian didapat nilai indek kepipihan 1.71 % dibawah batas maksimal yang dipersyaratkan sebesar 10 %.

Pengujian *Soundness* bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap pengaruh cuaca yang menunjukkan tingkat keawetan suatu gregat, dari hasil pengujian pada agregat yang lolos saringan 3/4" dan tertahap 3/8", serta lolos saringan 3/8" tertahan # 4, hasil rerata yang diperoleh 5, 06% dibawah batas maksimal yang dipersyaratkan sebesar 7 %.

Pada pengujian agregat halus, hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat halus (pasir), berasal dari kali Muntilan, mempunyai nilai berat jenis *bulk* (curah) 2.55 gr/cc lebih besar dari nilai berat jenis minimal sebesar 2.5 gr/cc, sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif tidak dipersyaratkan, tetapi sebaiknya mengacu pada persyaratan > 2.5 gr/cc, sedangkan penyerapan air diperoleh dari pengujian didapat hasil 2.669 % yang lebih kecil dari persayaratan yang ditetapkan sebesar 3%.

Uji *sand equivalent* bertujuan untuk mengetahui kandungan kadar lumpur pada agregat halus, sebagai persyaratan untuk nilai *sand equivalent* batas minimum 50 %, sedangkan hasil uji yang diperoleh dari agregat halus 91.84% memenuhi batas minimum yang dipersyaratkan.

Pada pengujian untuk *filler* sebagaimana dipersyaratkan hanya diuji berat jenis, sebagai rujukkan persyaratan minmal nilai berat jenisnya 1%, sedangkan hasil uji yang diperoleh nilainya sebesar 2,625 gr/cc.

Secara keseluruhan baik agregat kasar, agregat halus dan *filler* telah memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran Spesifikasi baru pada Laston (*AC-Binder Course*).

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal

Pemeriksaan dilakukan terhadap sifat fisik aspal penetrasi 60/70 untuk ex Pertamina dan ex *Singapore* yang telah memenuhi spesifikasi SNI dan *AASHTO*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2. dan Tabel 4.3. Hasil secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran C dan Lampiran D.

Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen. 60/70. Ex Pertamina

No	Sifat-sifat	Satuan	Spesifikasi Pen 60/70		Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			Min	Max		
1	Penetrasi (25 ^o C, 100 gr, 5 detik)	0.1 mm	60	79	62	Memenuhi
2	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	^o C	48	58	54	Memenuhi
3	Titik nyala (<i>cleveland open cup</i>)	^o C	200	-	321	Memenuhi
4	Kehilangan berat (163 ^o C), 5 jam	% berat	-	0.4	0.16	Memenuhi
5	Kelarutan (CCl ₄)	% berat	99	-	99.32	Memenuhi
6	Daktilitas (25 ^o C, 5 cm per menit)	Cm	100	-	>110	Memenuhi
7	Pen setelah kehilangan berat	% asli	54	-	81.83	Memenuhi
8	Daktilitas setelah kehilangan berat	Cm	50	-	>110	Memenuhi
9	Berat jenis (25 ^o C)	gr/cm ³	1	-	1.032	Memenuhi

Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen. 60/70. Ex *Esso Singapore*

No	Sifat-sifat	Satuan	Spesifikasi Pen 60/70		Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			Min	Max		
1	Penetrasi (25 ^o C, 100 gr, 5 detik)	0.1 mm	60	79	66	Memenuhi
2	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	^o C	48	58	51.75	Memenuhi
3	Titik nyala (<i>cleveland open cup</i>)	^o C	200	-	327	Memenuhi
4	Kehilangan berat (163 ^o C), 5 jam	% berat	-	0.4	0.11	Memenuhi
5	Kelarutan (CCl ₄)	% berat	99	-	99.55	Memenuhi
6	Daktilitas (25 ^o C, 5 cm per menit)	cm	100	-	>110	Memenuhi
7	Pen setelah kehilangan berat	% asli	54	-	83	Memenuhi
8	Daktilitas setelah kehilangan berat	cm	50	-	>110	Memenuhi
9	Berat jenis (25 ^o C)	gr/cm ³	1	-	1.035	Memenuhi

Aspal merupakan hasil dari sisa (residu) dari produksi minyak mentah, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa dilaboratorium, pemeriksaan aspal terdiri dari :

a. Pemeriksaan Penetrasi

Nilai penetrasi didapat dari uji penetrasi dari alat penetrometer pada suhu 25°C dengan beban 100 gr selama 5 detik, dimana dilakukan sebanyak lima kali. Dari hasil pemeriksaan kedua jenis aspal penetrasi 60/70 diatas menunjukkan hasil memenuhi persyaratan antara 60 mm – 79 mm.

b. Pemeriksaan Daktilitas Aspal

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik pada cetakan yang berisi aspal sebelum putus, pada suhu 25°C dengan kecepatan tarik 5 cm/menit. Besarnya daktilitas aspal 60/70 disyaratkan minimal 100 cm. Dari hasil uji pemeriksaan daktilitas terhadap kedua jenis aspal diatas diperoleh hasil diatas 110 cm, sehingga kedua jenis aspal penetrasi 60/70 diatas menunjukkan hasil memenuhi persyaratan.

c. Pemeriksaan Titik Lembek

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah mengukur nilai temperatur dimana bola-bola baja mendesak turun lapisan aspal yang ada pada cincin, hingga aspal tersebut menyentuh dasar pelat yang terletak pada dibawah cincin pada jarak 1 (inch), sebagai akibat dari percepatan pemanasan tertentu. Berat bola baja 3,45 -3,55 gr dengan diameter 9,53 mm. Pemeriksaan ini diperlukan untuk mengetahui batas kekerasan aspal. Pengamatan titik lembek dimulai dari suhu 5°C sebagai batas paling tinggi sifat kekakuan dari aspal yang disebabkan sifat termoplastik. Untuk aspal keras jenis penetrasi 60/70, syarat titik lembek berkisar antara 48°C – 58°C . Dari pengujian yang dilakukan diperoleh nilai untuk kedua jenis aspal diatas memenuhi syarat.

d. Pemeriksaan Titik Nyala

Pemeriksaan ini untuk menentukan suhu dimana diperoleh nyala pertama diatas permukaan aspal dan menentukan suhu dimana terjadi terbakarnya pertama kali diatas permukaan aspal. Dengan mengetahui nilai titik nyala dan titik bakar aspal, maka dapat diketahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sebelum terbakar. Besarnya titik nyala yang disyaratkan untuk penetrasi 60/70 minimal 200°C . Dari hasil pemeriksaan kedua jenis aspal diatas menunjukkan titik nyala dan titik bakar diatas persyaratan yang ditentukan

e. Pemeriksaan kehilangan berat

Pemeriksaan ini berguna untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan unsur-unsur aspal yang mudah menguap dalam aspal. Apabila aspal dipanaskan didalam oven pada suhu 163°C dalam waktu 4,5 – 5 jam, maka akan terjadi reaksi terhadap unsur-unsur pada aspal, sehingga dimungkinkan sifat aspal akan berubah, ini tidak diharapkan pada lapis perkerasan lentur dengan menggunakan aspal, untuk itu dipersyaratkan penurunan berat aspal maksimum adalah 0,8 % dari berat semula. Dari hasil pemeriksaan kedua jenis aspal diatas menunjukkan penurunan berat aspal memenuhi persyaratan yang ditentukan.

f. Pemeriksaan penetrasi setelah kehilangan berat.

Aspal yang dipanaskan pada suhu 163°C . Selama waktu ± 5 jam akan mengalami kehilangan berat, sebagai akibatnya aspal akan mengalami perubahan sifat, perubahan ini akan diketahui dari pemeriksaan terhadap aspal tersebut. Pemeriksaan aspal dilakukan uji penetrasi setelah kehilangan berat yang pada umumnya aspal yang sudah mengalami penurunan berat akan mempunyai angka penetrasi yang lebih kecil dari angka penetrasi standarnya, dengan kata lain kekerasannya menjadi meningkat, tetapi bukan berarti kualitas aspal menjadi semakin baik, dikarenakan sifat aspal menjadi kurang lentur dan mudah retak, dalam hal ini justru akan mengurangi kualitas aspal. Dari hasil pemeriksaan diperoleh persentasi penetrasi setelah kehilangan berat dibandingkan dengan penetrasi standarnya (minimal 54%), dengan demikian kedua jenis aspal diatas memenuhi persyaratan.

g. Pemeriksaan kelarutan dalam Carbon tetra Clorida (CCl_4)

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan jumlah unsur aspal dalam CCl_4 , dengan adanya bahan-bahan tidak terlarut dalam CCl_4 menunjukkan adanya bahan lain yang terlarut dalam residu aspal. Persyaratan dalam pemakaian aspal yang diinginkan adalah aspal dalam kondisi tidak tercampur dengan bahan-bahan lain yang tidak terlarut dalam CCl_4 , untuk aspal penetrasi 60/70 disebutkan minimal sebesar 99%. Dari hasil pemeriksaan diperoleh hasil diatas persyaratan dengan demikian kedua jenis aspal diatas memenuhi persyaratan.

h. Pemeriksaan berat jenis aspal

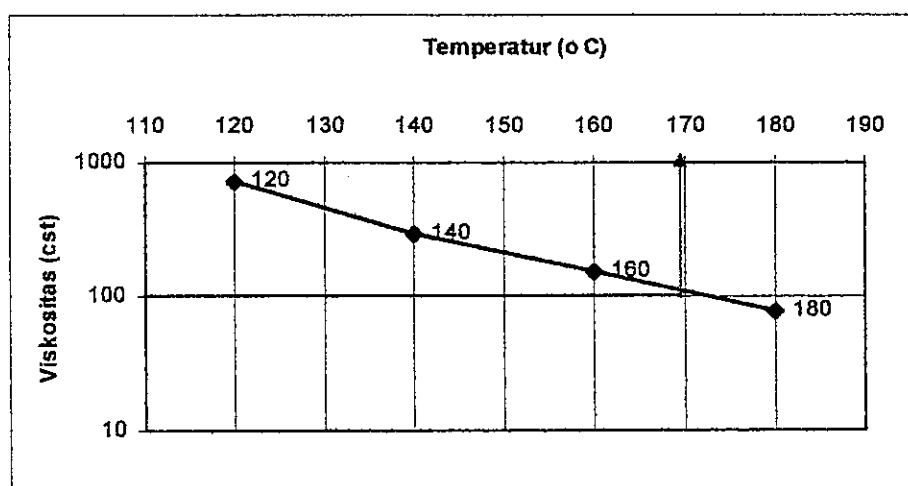
Berat jenis merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama. Persyaratan yang ditentukan untuk berat jenis aspal adalah 1 gr/cc. Dari hasil pemeriksaan kedua jenis aspal diatas menunjukkan hasil diatas persyaratan, sehingga aspal ex Pertamina dan ex *Esso Singapore* dapat digunakan dalam penelitian sebagai bahan ikat pada campuran *AC-BC*.

Secara keseluruhan pemeriksaan terhadap sifat-sifat fisik aspal Pen.(60/70) ex Pertamina dan ex *Esso Singapore* telah memenuhi standar spesifikasi aspal penetrasi 60/70. Adapun dari hasil pengujian sifat-sifat fisik kedua jenis aspal dari hasil yang didapat tidak ada perbedaan yang signifikan.

Hasil pengujian viskositas aspal pada beberapa temperatur diperlukan untuk menentukan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan. Hasil dari pengujian viskositas aspal tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.4., kemudian ilustrasi hubungan antara temperatur dan viskositas ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Tabel 4.4. Hasil pengujian viskositas aspal Pertamina dan *Esso*

Temperatur (°C)	Viskositas Aspal Pertamina dan <i>Esso</i>	
	Detik	Centistokes
120	340	720
140	140	295
160	73	150
180	39	78



Gambar 4.1. Hubungan temperatur dengan viskositas

Temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum sebagai bahan pelumas untuk memudahkan penyusunan butiran agregat pada tingkat kepadatan yang baik, ditetapkan viskositas aspal sebesar 100 ± 10 centistoke, dimana *equivalent* dengan temperatur $170^{\circ} \text{C} \pm 10^{\circ} \text{C}$.

Pengujian *Marshall* dan ISS dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah untuk mencari Kadar aspal optimum dengan tolok ukur besaran *VIM* antara 4.9 % - 5.9 % sesuai Spesifikasi baru, sedangkan Tahap kedua untuk mencari nilai karakteristik *Marshall* dan ISS campuran pada kondisi standar dengan membuat variasi temperatur pemadatan mulai dari temperatur 100°C , 120°C , 140°C , dan 160°C , serta campuran pada kepadatan sampai membal 2 x 400 tumbukan dengan membuat variasi temperatur pemadatan mulai dari temperatur 100°C , 120°C , 140°C , dan 160°C .

4.1.3. Hasil Pengujian *Marshall* dan Indek Stabilitas Sisa (ISS) Tahap I pada Kadar Aspal Optimum untuk Aspal Pertamina dan Aspal *Esso*

Pada tahap pertama disiapkan masing-masing dua jenis sampel untuk masing-masing kondisi *Dry* dan *Soaked*, dengan pembuatan benda uji dilakukan pada kadar aspal optimum perkiraan sebesar 5.5 % (sesuai dengan persamaan 3.16 halaman 34) terhadap total agregat dan dilakukan variasi kadar aspal pada 4.5 %, 5.0 %, 6.0 %, 6.5 %. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 dan hasil secara lengkap terdapat pada Lampiran E sampai dengan Lampiran H.

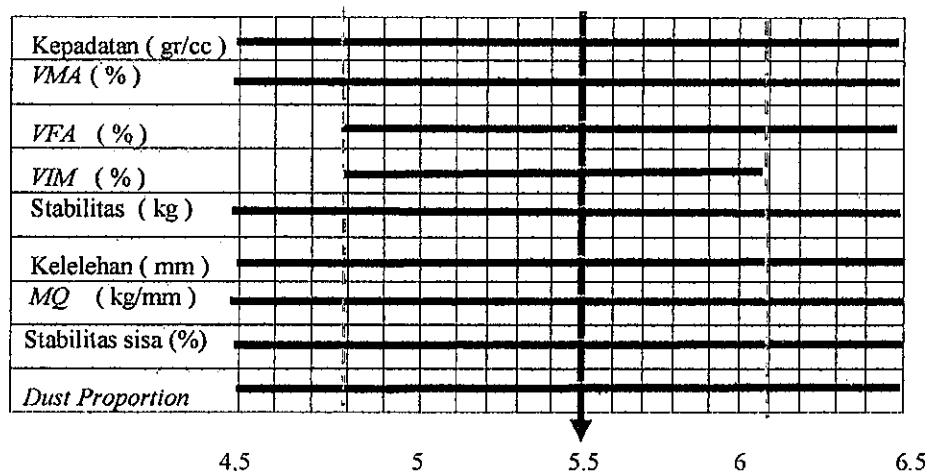
Tabel 4.5. Hasil Test *Marshall* Campuran *AC-BC* aspal Pertamina (2x75)

No	Karakteristik	Syarat	% Kadar aspal terhadap total agregat				
			4.5	5	5.5	6	6.5
1	Kepadatan (gr/cc)	-	2.269	2.272	2.248	2.226	2.207
2	<i>VMA</i> (%)	min 14	14.40	14.68	15.95	17.20	18.26
3	<i>VFA</i> (%)	min 63	53.88	64.18	67.82	70.90	74.31
4	<i>VIM</i> (%)	4.9 – 5.9	6.65	5.26	5.14	5	4.69
5	Stabilitas (kg)	min 800	1342	1369	1570	1474	1443
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	2.26	2.43	2.56	2.58	2.96
7	<i>MO</i> (kg/mm)	min 200	609	585.1	633.1	588.2	507.9
8	Stabilitas sisa (%)	85 %	86.1	86.5	89.8	86.8	86.3
9	<i>Dust Proportion</i>	0.6 – 1.2	0.89	0.80	0.73	0.67	0.62

Tabel 4.6. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran *AC-BC* aspal *Esso* (2x75)

No	Karakteristik	Syarat	% Kadar aspal terhadap total agregat				
			4.5	5	5.5	6	6.5
1	Kepadatan (gr/cc)	-	2.277	2.275	2.250	2.228	2.209
2	<i>VMA</i> (%)	min 14	14.06	14.55	15.89	17.12	18.22
3	<i>VFA</i> (%)	min 63	55.81	64.70	67.92	71.08	74.34
4	<i>VIM</i> (%)	4.9 - 5.9	6.28	5.14	5.10	4.95	4.68
5	Stabilitas (kg)	min 800	1394	1454	1600	1579	1576
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	2.18	2.23	2.36	2.80	2.85
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	min 200	647.9	663.8	685.8	594.3	568.1
8	Stabilitas sisa (%)	85 %	85.8	86.1	87	86.8	86.6
9	<i>Dust Proportion</i>	0.6 - 1.2	0.89	0.80	0.73	0.67	0.62

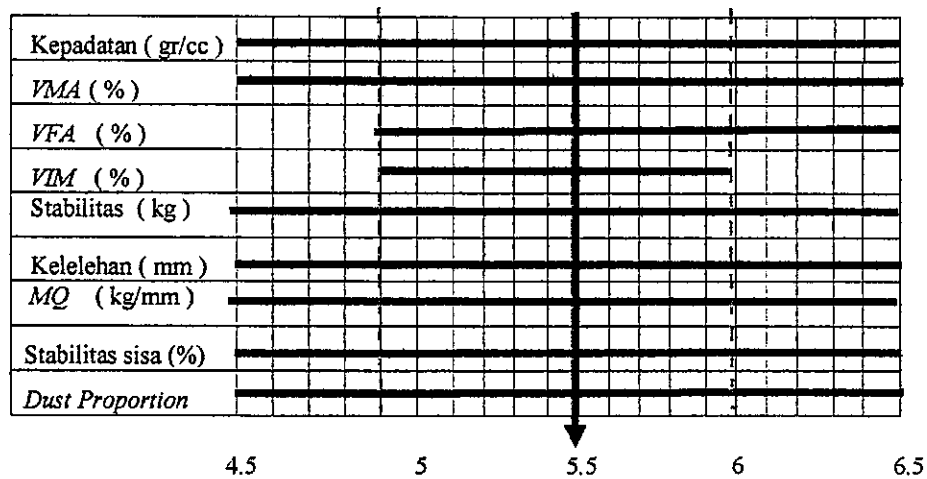
Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas untuk jenis aspal Pertamina maupun aspal *Esso* pada tahap I, sesuai Spesifikasi baru serta dari hasil analisa seperti pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 didapat jenis aspal Pertamina yang memenuhi syarat untuk $VMA > 14\%$ pada kadar aspal 4.5% - 6.5%, $VFA > 63\%$ pada kadar aspal 4.8% - 6.5% dan $VIM_{4.9\% - 5.9\%}$ pada kadar aspal 4.8% - 6.1%, ditentukan kadar aspal optimum jenis Pertamina 5.5 %. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum aspal Pertamina Pen.60/70

Adapun untuk jenis aspal *Esso* yang memenuhi syarat untuk $VMA > 14\%$ pada kadar aspal 4.5% - 6.5%, $VFA > 63\%$ pada kadar aspal 4.9% - 6.5% dan $VIM_{4.9\% - 5.9\%}$ pada kadar

aspal 4.9% - 6 %, ditentukan kadar aspal optimum jenis *Esso* 5.5 %. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Penentuan Kadar Aspal Optimum aspal *Esso* Pen.60/70

4.1.4. Hasil Pengujian *Marshall* dan Indeks Stabilitas Sisa (ISS) pada Kadar Aspal Optimum untuk Aspal Pertamina dan Aspal *Esso*

Selanjutnya dilanjutkan pada penelitian tahap II yaitu untuk mencari nilai karakteristik *Marshall* dan ISS campuran pada kondisi standar (2x75) tumbukan dan kepadatan membal (2x400) tumbukan dengan membuat variasi temperatur pemadatan 100^o C, 120^o C, 140^o C, 160^o C dan temperatur campuran tetap 170^o C.

Pada tahap II, juga disiapkan masing-masing dua jenis sampel untuk kondisi *Dry* dan *Soaked*, dengan pembuatan benda uji dilakukan pada kadar aspal 5%, kadar aspal optimum 5.5 %, kadar aspal 6% dan 6.5%, dan Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.7, Tabel 4.8 untuk jenis aspal Pertamina dan Tabel 4.9, Tabel 10 untuk jenis aspal *Esso* hasil secara lengkap terdapat pada Lampiran I sampai Lampiran L.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran *AC-BC* Tahap II jenis aspal Pertamina pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dengan variasi temperatur pemadatan

Karakteristik	Temperatur 100° C				Temperatur 120° C				Temperatur 140° C				Temperatur 160° C			
	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5
Kepadatan (gr/cc)	2.25	2.23	2.20	2.18	2.27	2.25	2.22	2.20	2.27	2.25	2.22	2.20	2.27	2.25	2.22	2.21
<i>VMA</i> (%)	15.48	16.75	18.03	19.21	14.86	16.01	17.33	18.61	14.67	15.97	17.32	18.57	14.59	15.94	17.27	18.35
<i>VFA</i> (%)	59.55	63.33	66.32	69.20	63.11	67.46	70.14	72.38	64.22	67.68	70.20	72.59	64.71	67.91	70.47	73.83
<i>VIM</i> (%)	6.26	6.14	6.07	5.92	5.49	5.21	5.17	5.14	5.25	5.16	5.16	5.09	5.15	5.11	5.10	4.80
Stabilitas (kg)	802	881	791	787	960	1067	1013	996	1015	1073	1053	1007	1016	1075	1058	1009
Kelelahan (mm)	3.23	3.38	3.39	3.48	3.14	3.15	3.24	3.39	2.60	2.96	3.19	3.21	2.50	2.70	3.05	3.08
<i>MQ</i> (kg/mm)	249.2	263.1	235.7	229.6	308.5	341.5	313.5	298.2	393.2	383.7	332.1	314.9	419.2	401.6	351.2	336
Stabilitas sisa (%)	89.4	90.8	90.1	86.8	85.6	85.8	85.7	85.7	87.4	92	87.8	86.7	93.5	97.2	92.1	90.4

Tabel 4.8. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran *AC-BC* Tahap II jenis aspal Pertamina pada kondisi *Refusal Density* (2 x 400) tumbukan dengan variasi temperatur pemadatan

Karakteristik	Temperatur 100° C				Temperatur 120° C				Temperatur 140° C				Temperatur 160° C			
	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5
Kepadatan (gr/cc)	2.30	2.28	2.26	2.24	2.31	2.29	2.26	2.24	2.31	2.29	2.27	2.24	2.31	2.29	2.27	2.25
<i>VMA</i> (%)	13.50	14.70	15.81	17.14	13.28	14.60	15.80	17.13	13.20	14.53	15.74	17.05	13.17	14.31	15.65	16.80
<i>VFA</i> (%)	71.62	75.59	79.26	80.92	73.13	76.27	79.32	80.98	73.71	76.70	79.70	81.45	73.94	78.21	80.32	83.02
<i>VIM</i> (%)	3.83	3.59	3.28	3.27	3.57	3.47	3.27	3.26	3.47	3.39	3.20	3.16	3.43	3.12	3.08	2.85
Stabilitas (kg)	995	1058	977	853	1144	1185	1167	1131	1435	1544	1414	1361	1562	1568	1422	1366
Kelelahan (mm)	2.75	2.80	3.09	3.11	2.45	2.56	2.65	2.71	2.24	2.35	2.43	2.51	2.19	2.31	2.40	2.49
<i>MQ</i> (kg/mm)	366	382.5	320.2	279.4	470.2	466.7	444.2	419.7	647.5	663	593	549.9	721	681	601	554
Stabilitas sisa (%)	85.2	86.7	86.4	85.6	95.2	93.8	94.7	93.2	84.2	86.9	92.2	83.9	89.7	92.4	90.4	89.4

Tabel 4.9. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran *AC-BC* Tahap II jenis aspal *Esso* pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dengan variasi temperatur pemadatan

Karakteristik	Temperatur 100 ⁰ C				Temperatur 120 ⁰ C				Temperatur 140 ⁰ C				Temperatur 160 ⁰ C			
	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5
Kepadatan (gr/cc)	2.25	2.23	2.21	2.18	2.27	2.25	2.22	2.20	2.27	2.25	2.22	2.20	2.28	2.25	2.23	2.21
<i>VMA</i> (%)	15.39	16.62	17.94	19.17	14.72	15.97	17.28	18.55	14.63	15.92	17.25	18.53	14.51	15.83	17.12	18.27
<i>VFA</i> (%)	59.84	63.81	66.56	69.14	63.66	67.44	70.16	72.46	64.17	67.74	70.37	72.59	64.90	68.29	71.11	74.04
<i>VIM</i> (%)	6.18	6.01	6.00	5.92	5.35	5.20	5.16	5.11	5.24	5.14	5.11	5.08	5.09	5.02	4.95	4.74
Stabilitas (kg)	887	989	877	865	1121	1159	1072	1036	1001	1184	1124	1124	1262	1280	1258	1235
Kelelehan (mm)	2.96	3.24	3.28	3.30	2.61	2.66	3.01	3.21	2.49	2.56	2.84	3.10	2.46	2.50	2.73	2.81
<i>MO</i> (kg/mm)	301.5	307.6	272.6	269.1	436.2	437.2	359	325	408.2	467.5	402.5	366.3	526.7	517.7	477.9	453.4
Stabilitas sisa (%)	85.5	86.7	86.1	85.5	94.7	96.8	95.5	92.2	87	88	87.8	86.2	87.6	88.1	86.6	85.8

Tabel 4.10. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran *AC-BC* Tahap II jenis aspal *Esso* pada kondisi *Refusal Density* (2 x 400) tumbukan dengan variasi temperatur pemadatan

Karakteristik	Temperatur 100 ⁰ C				Temperatur 120 ⁰ C				Temperatur 140 ⁰ C				Temperatur 160 ⁰ C			
	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5	5	5.5	6	6.5
Kepadatan (gr/cc)	2.31	2.29	2.27	2.24	2.31	2.29	2.27	2.24	2.31	2.29	2.27	2.24	2.31	2.30	2.27	2.25
<i>VMA</i> (%)	13.35	14.54	15.70	17.02	13.24	14.44	15.67	16.98	13.13	14.28	15.62	16.91	13.13	14.04	15.39	16.67
<i>VFA</i> (%)	72.38	76.40	79.73	81.39	73.17	77.06	79.93	81.61	73.97	78.16	80.23	82.07	73.95	79.83	81.79	83.63
<i>VIM</i> (%)	3.69	3.43	3.18	3.17	3.55	3.31	3.14	3.12	3.42	3.12	3.09	3.03	3.42	2.83	2.80	2.73
Stabilitas (kg)	1109	1187	1168	1142	1293	1505	1323	1267	1448	1760	1682	1564	1742	1790	1787	1762
Kelelehan (mm)	2.53	2.55	2.71	2.93	2.40	2.43	2.46	2.55	2.23	2.33	2.39	2.49	2.16	2.28	2.30	2.45
<i>MO</i> (kg/mm)	443.8	472.3	437.1	395.2	544.8	628	542	500.3	657.1	763	710	636	809	791	784	730
Stabilitas sisa (%)	94.3	95.6	94.6	94.6	89.6	90.2	86.7	86.3	91.6	93.9	93	90.4	91.5	94.8	94.4	91.6

4.2 Pembahasan

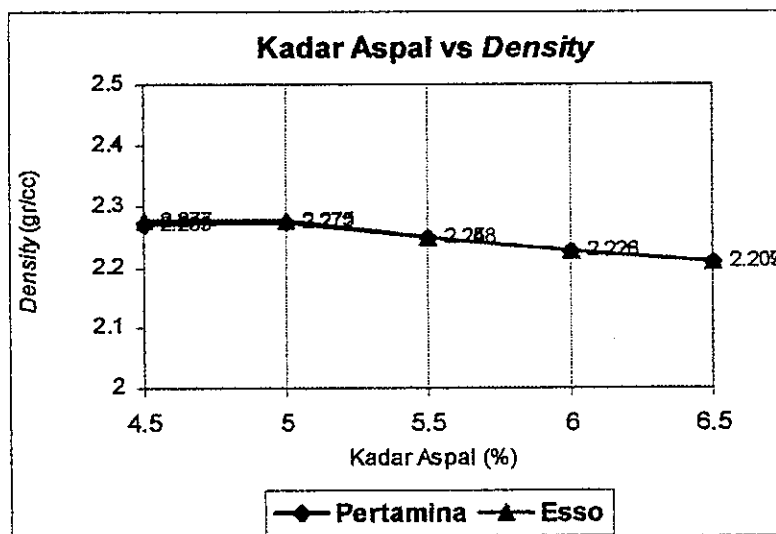
4.2.1. Pengaruh Kadar Aspal pada Aspal Pertamina dan Aspal Esso dari hasil Pengujian Marshall dan ISS Tahap I

- a. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Density* campuran AC-BC.

Nilai *Density* menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi *density* adalah temperatur pemadatan, gradasi, kadar *filler*, energi pemadat, kadar aspal, dan *VMA*. Campuran dengan kepadatan yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih tinggi. Perbandingan nilai *density* antara campuran AC-BC dengan menggunakan aspal Pertamina dan aspal Esso dilihat pada Tabel 4.11, dan Gambar 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.11 Kadar Aspal terhadap Nilai *Density* campuran AC-BC

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		4.5	5	5.5	6	6.5
<i>Density</i> Aspal Pertamina	-	2.269	2.272	2.248	2.226	2.207
<i>Density</i> Aspal Esso	-	2.277	2.275	2.250	2.228	2.209



Gambar 4.4. Grafik hubungan Kadar Aspal vs *Density*

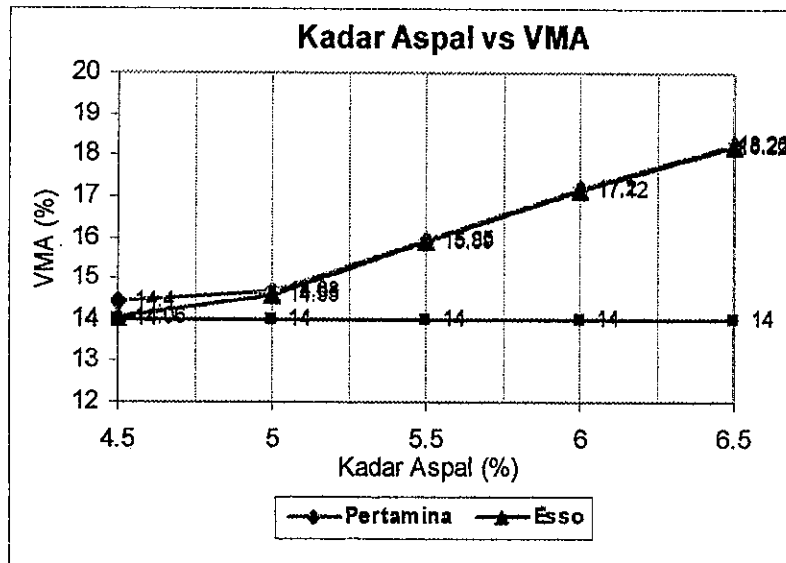
Seperti terlihat pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.4. semakin bertambahnya kadar aspal, semakin renggang campurannya. Pada campuran dengan aspal jenis Pertamina mempunyai nilai Kepadatan sedikit lebih rendah dari aspal jenis *Esso* ini disebabkan berat jenis yang berbeda, aspal Pertamina lebih kecil dari aspal *Esso*. Sedangkan dengan bertambah kadar aspal secara keseluruhannya nilai Kepadatan menurun, salah satu sebab bahan susun benda uji mempunyai tingkat rongga udara yang ada diantara mineral agregat cukup tinggi sehingga kadar aspal masih cukup ruang untuk mengalir dalam rongga campuran, yang mengakibatkan campuran tidak terpengaruh oleh banyaknya kadar aspal, dan menjadikan lebih lentur sehingga tingkat kepadatan juga menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Dalam spesifikasi baru tidak ada persyaratan khusus mengenai tingkat *density*. Sebagai acuan disarankan tingkat *density* > 2 gr/cc.

b. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void in Mineral Agregate (VMA)* campuran AC-BC

Void in Mineral Agregate (VMA) adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran beraspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. *VMA* digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal panas. Besarnya nilai *VMA* dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Hubungan antara kadar aspal dengan *VMA* dapat dilihat pada Tabel 4.12. dan Gambar 4.5, dibawah ini.

Tabel 4.12 Kadar Aspal terhadap Nilai *VMA* campuran AC-BC

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		4.5	5	5.5	6	6.5
<i>VMA</i> Aspal Pertamina	Min.14	14.40	14.68	15.95	17.20	18.26
<i>VMA</i> Aspal <i>Esso</i>	Min.14	14.06	14.55	15.89	17.12	18.22



Gambar 4.5. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *VMA*

Dari Tabel 4.12. dan Gambar 4.5. di atas dapat dilihat bahwa campuran beraspal panas dengan jenis aspal Pertamina mempunyai *VMA* sedikit lebih besar dari jenis aspal *Esso*. Hal ini disebabkan karena titik leleh aspal Pertamina lebih tinggi dari aspal *Esso*, sehingga aspal *Esso* lebih cepat mencair dan memasuki rongga udara. Selanjutnya semakin bertambahnya kadar aspal nilai *VMA* semakin besar, ini disebabkan karena jumlah kadar aspal yang masuk kedalam rongga masih cukup ruang.

Dalam penelitian ini nilai *VMA* yang memenuhi syarat $> 14\%$ untuk jenis aspal Pertamina dan jenis aspal *Esso* pada kadar aspal 4.5% - 6.5%.

- c. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void Filled with Asphalt (VFA)* campuran *AC-BC*.

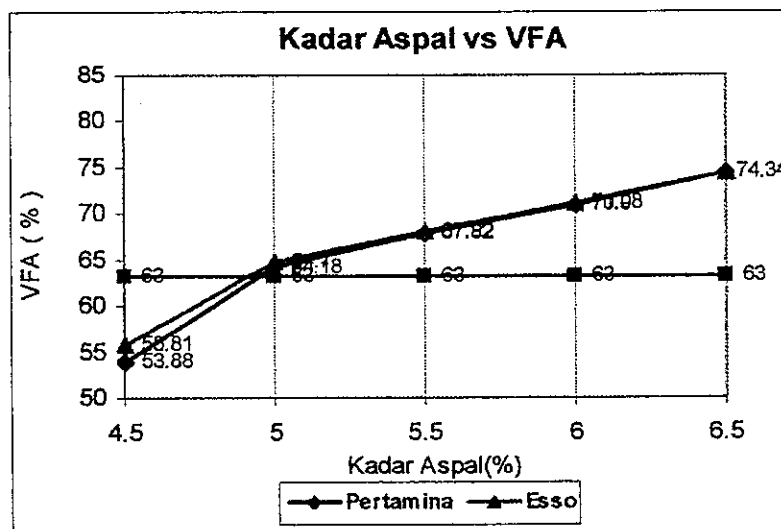
Nilai *VFA* menunjukkan prosentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai *VFA* menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai *VFA* akan menunjukkan semakin kecil nilai *VIM* yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran beraspal panas akan semakin awet. Begitu sebaliknya apabila *VFA* terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal

akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan tipis yang menyebabkan campuran beraspal panas tidak awet.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VFA* dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.6, dibawah ini :

Tabel 4.13 Kadar Aspal terhadap Nilai *VFA* campuran *AC-BC*

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		4.5	5	5.5	6	6.5
<i>VFA</i> Aspal Pertamina	Min.63	53.88	64.18	67.82	70.90	74.31
<i>VFA</i> Aspal Esso	Min.63	55.81	64.70	67.92	71.08	74.34



Gambar 4.6. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *VFA*

Dari Tabel 4.13 dan Gambar 4.6. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *AC-BC* dengan menggunakan kedua jenis aspal mempunyai nilai *VFA* naik seiring bertambahnya kadar aspal, dimana campuran jenis aspal Pertamina mempunyai *VFA* lebih kecil dari jenis aspal *Esso*. Hal ini disebabkan titik lembek lebih tinggi dan penetrasi lebih rendah. *VFA* menunjukkan jumlah kandungan aspal yang mengisi rongga didalam campuran. *VFA* yang rendah berarti jumlah aspal efektif yang mengisi rongga antar butir agregat sedikit, berarti volume rongga udaranya besar. Hal ini akan mengurangi keawetan dari campuran beraspal panas, dan

sebaliknya nilai *VFA* yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding* karena rongga antar butiran terlalu kecil.

Dalam penelitian ini nilai *VFA* yang memenuhi syarat > 63% untuk jenis aspal Pertamina pada kadar aspal 4.8 % - 6.5%, sedangkan jenis aspal *Esso* yang memenuhi syarat > 63 % pada kadar aspal 4.9% - 6.5%.

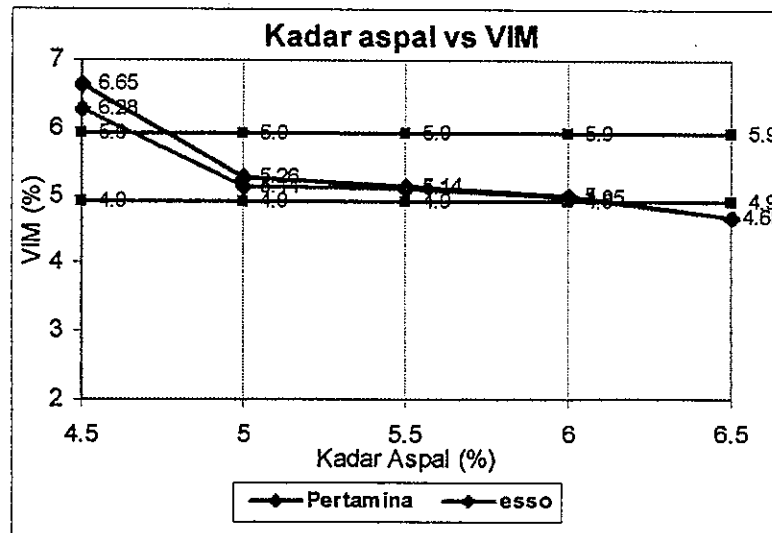
d. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void In the Mix (VIM)* campuran *AC-BC*

VIM dalam spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, 2001, merupakan syarat paling penting sebagai dasar dari perencanaan perhitungan pada tahap II (variasi temperatur pemadatan untuk pemadatan standar 2×75 dan *refusal density* 2×400). *VIM* menyatakan banyaknya prosentase rongga dalam campuran total. Nilai rongga dalam campuran dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran beraspal panas, dengan bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butiran agrgat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran semakin berkurang.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VIM* dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.7, dibawah ini :

Tabel 4.14 Kadar Aspal terhadap Nilai *VIM* campuran *AC-BC*

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		4.5	5	5.5	6	6.5
<i>VIM</i> Aspal Pertamina	4.9 – 5.9	6.65	5.26	5.14	5.0	4.69
<i>VIM</i> Aspal <i>Esso</i>	4.9 – 5.9	6.28	5.14	5.10	4.95	4.68



Gambar 4.7. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *VIM*

Dari Tabel 4.14. dan Gambar 4.7. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *AC-BC* dengan menggunakan kedua jenis aspal, sesuai dalam spesifikasi baru, *VIM* antara 4.9% sampai 5.9%, dimana campuran jenis aspal Pertamina mempunyai *VIM* lebih besar dari jenis aspal *Esso*. Nilai *VIM* yang rendah dibawah 4.9 % berarti rongga pada campuran relatif kecil, menjadikan tidak tersedianya ruang yang cukup, menyebabkan aspal akan naik ke permukaan (*bleeding*). Sebaliknya untuk nilai *VIM* yang tinggi diatas 5.9 % akan menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara, sehingga campuran beraspal panas tersebut kurang awet dan mudah retak (*crack*).

Dalam penelitian ini nilai *VIM* yang memenuhi syarat (4.9%-5.9%) untuk jenis aspal Pertamina pada kadar aspal 4.8% - 6.1%, sedangkan jenis aspal *Esso* yang memenuhi syarat (4.9%-5.9%) pada kadar aspal 4.9% - 6%.

e. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Stabilitas campuran *AC-BC*

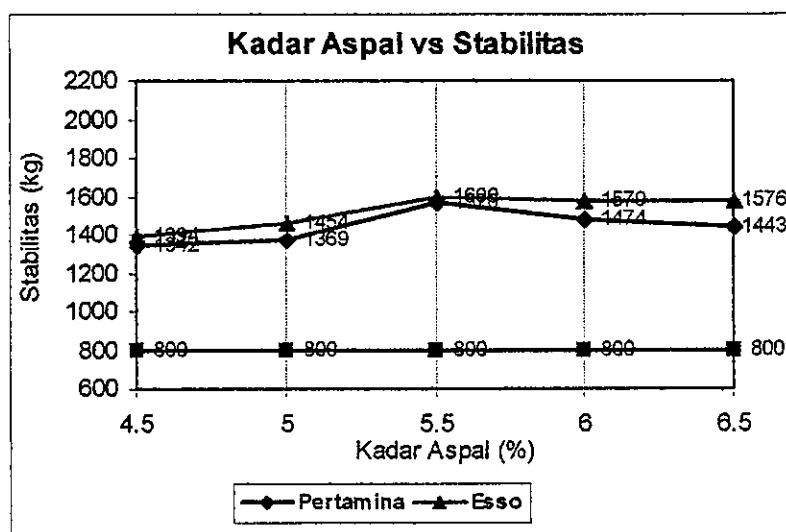
Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat dicapai oleh bahan susun campuran beraspal panas yang dinyatakan dalam satuan beban. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas. Spesifikasi Baru menetapkan untuk lapis Laston *AC-BC* yang dilalui oleh > 1.000.000 *ESA*, stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg. Lapis Laston

AC-BC dengan stabilitas dibawah 800 kg akan mudah terjadi alur (*rutting*) bila dilalui kendaraan berat.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.8, dibawah ini :

Tabel 4.15 Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas campuran *AC-BC*

Karakteristik	Spesifikasi (kg)	Kadar Aspal (%)				
		4.5	5	5.5	6	6.5
Stabilitas Aspal Pertamina	Min. 800	1342	1369	1570	1474	1443
Stabilitas Aspal Esso	Min. 800	1394	1454	1600	1579	1576



Gambar 4.8. Grafik hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas

Dari Tabel 4.15. dan Gambar 4.8. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *AC-BC* dengan menggunakan kedua jenis aspal, sesuai dalam spesifikasi Baru, berada diatas stabilitas minimal 800 kg yang disyaratkan, dengan stabilitas jenis aspal Pertamina lebih rendah jenis aspal *Esso*. Hal ini terkait pada kinerja nilai *Density*, *VFA*, *VFA*, *VIM*, seperti ditunjukkan pada kadar aspal sampai 5.5% jenis aspal pertamina dan aspal *Esso* stabilitas naik sampai 1570 kg dan 1600 kg. Selanjutnya stabilitas turun yang menunjukkan terlalu tebal film aspal yang menyelimuti agregat, sehingga stabilitas menjadi menurun. Secara keseluruhan stabilitas naik

dengan bertambahnya kadar aspal sampai batas tertentu, begitu juga apabila penambahan kadar aspal melebihi batas justru akan menurunkan nilai stabilitas.

f. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Flow* campuran *AC-BC*

Kelelehan (*Flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. *flow* merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas.

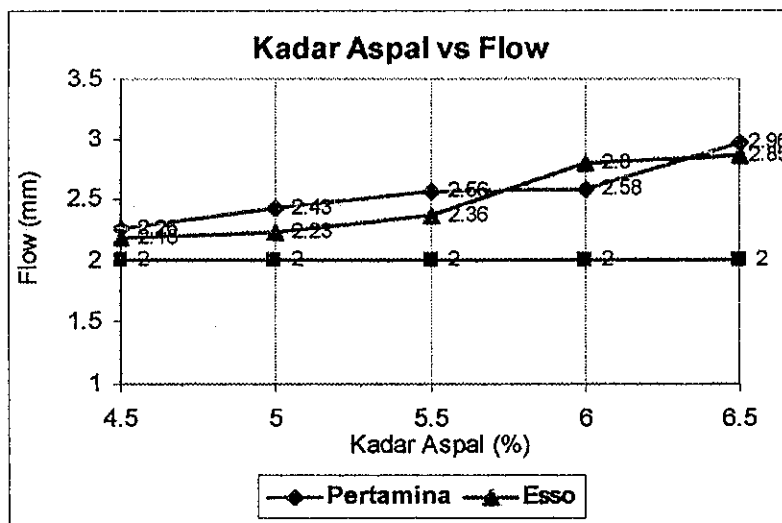
Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi bahan susun benda uji, campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dengan stabilitas tinggi akan cenderung menghasilkan campuran beraspal panas yang kaku dan getas, sehingga akan mudah retak apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran beraspal panas mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (*deformasi plastis*) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat.

Spesifikasi Baru menetapkan untuk lapis Laston *AC-BC* yang dilalui oleh > 1.000.000 *ESA*, *flow* minimum disyaratkan 2 mm. Nilai *flow* dipengaruhi beberapa faktor seperti gradasi bahan susun, kadar aspal, viskositas aspal,

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *flow* dapat dilihat pada Tabel 4.16. dan Gambar 4.9, dibawah ini :

Tabel 4.16. Kadar Aspal terhadap Nilai *Flow* campuran *AC-BC*

Karakteristik	Spesifikasi (mm)	Kadar Aspal (%)				
		4.5	5	5.5	6	6.5
<i>Flow</i> Aspal Pertamina	Min. 2	2.26	2.43	2.56	2.58	2.96
<i>Flow</i> Aspal Esso	Min. 2	2.18	2.23	2.36	2.80	2.86



Gambar 4.9. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *Flow*

Dari Tabel 4.16. dan Gambar 4.9. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *AC-BC* dengan menggunakan kedua jenis aspal, sesuai dalam spesifikasi baru berada diatas *flow* minimal 2 mm yang disyaratkan. Dengan penambahan kadar aspal maka nilai *flow* juga naik, hal ini disebabkan dengan bertambahnya kadar aspal, campuran menjadi semakin plastis. Sesuai sifat aspal sebagai bahan pengikat, maka semakin banyak aspal menyelimuti batuan semakin baik ikatan antara agregat dengan aspal yang menyebabkan nilai *flow* menjadi tinggi.

Dari hasil penelitian seperti pada Tabel 4.16. dan Gambar 4.9. diatas terlihat bahwa campuran jenis aspal Pertamina mempunyai *flow* lebih besar dari jenis aspal Esso kecuali pada kadar aspal 6%. Terlihat sebagai gambaran *flow*_{5.5%} aspal Pertamina 2.56 mm > *flow*_{5.5%} aspal Esso 2.36mm.

g. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Marshall Quotient* campuran *AC-BC*

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai *MQ* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran dan saling mengunci antar butiran yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta

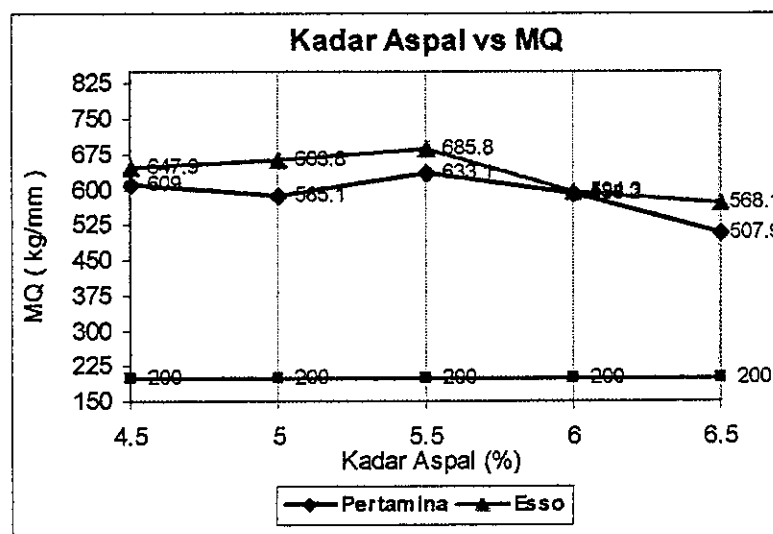
nilai *flow* yang dipengaruhi oleh viskositas, kadar aspal, gradasi bahan susun, dan jumlah tumbukan.

Campuran yang memiliki nilai *MQ* yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki nilai *MQ* tinggi campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai *MQ* adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *MQ* dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.10, dibawah ini :

Tabel 4.17 Kadar Aspal terhadap Nilai *Marshall Quotient* campuran AC-BC

Karakteristik	Spesifikasi (kg/mm)	Kadar Aspal (%)				
		4.5	5	5.5	6	6.5
<i>MQ</i> Aspal Pertamina	Min.200	609	585.1	633.1	588.2	507.9
<i>MQ</i> Aspal Esso	Min.200	647.9	663.8	685.8	594.3	568.1



Gambar 4.10. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *Marshall Quotient*

Dari Tabel 4.17 dan Gambar 4.10. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran AC-BC dengan menggunakan kedua jenis aspal, sesuai dalam spesifikasi baru berada diatas MQ minimal 200 kg/mm yang disyaratkan, dengan hasil diatas terlihat bahwa campuran jenis aspal Pertamina mempunyai MQ lebih kecil dari jenis aspal Esso, sebagai gambaran terlihat pada kadar aspal 5.5% dimana $MQ_{Pertamina}$ 633.1 kg/mm < MQ_{Esso} 685.8 kg/mm.

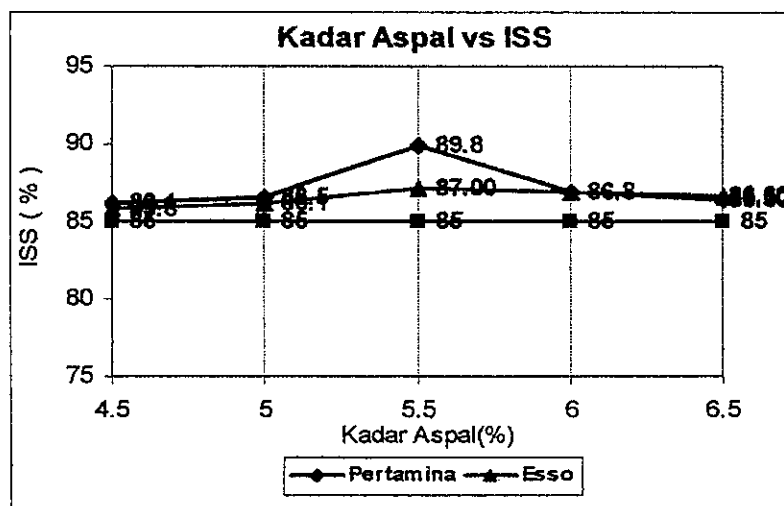
h. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Indeks Stabilitas Sisa campuran AC-BC

Nilai Indeks Stabilitas Sisa diperoleh dengan membandingkan antara nilai stabilitas pada kondisi standar yaitu direndam dalam *water bath* pada suhu 60° C selama 30 (tigapuluh) menit dengan kondisi perendaman yang sama selama 24 (duapuluh empat) jam ini mengindikasikan pendekatan terhadap keawetan (durabilitas) dari suatu campuran beraspal panas.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai Indeks Stabilitas Sisa dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.11, dibawah ini :

Tabel 4.18 Kadar Aspal terhadap Nilai Indeks Stabilitas Sisa campuran AC-BC

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		4.5	5	5.5	6	6.5
ISS Aspal Pertamina	Min. 85	86.1	86.5	89.8	86.8	86.3
ISS Aspal Esso	Min. 85	85.8	86.1	87	86.8	86.6



Gambar 4.11. Grafik hubungan Kadar Aspal dan ISS

Dari Tabel 4.18 dan Gambar 4.11. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *AC-BC* dengan menggunakan kedua jenis aspal, sesuai dalam spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, 2001, berada diatas ISS minimal 85 % untuk beban lalu lintas diatas 1.000.000 *ESA* yang disyaratkan, dengan nilai ISS jenis aspal Pertamina lebih besar dari ISS jenis aspal *Esso*, sebagai gambaran dapat di;ihat pada kadar aspal 5.5%, dimana nilai $ISS_{\text{Pertamina}} 89.8 \% > ISS_{\text{Esso}} 87 \%$.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran beraspal panas yang mengalami perendaman dengan suhu 60°C selama 24 jam dibandingkan dengan perendaman standar akan mengalami penurunan nilai stabilitas. Hal ini disebabkan karena selama proses perendaman terindikasi terdapat air yang masuk kepori-pori campuran, sehingga berpengaruh pada sifat adhesi dan kohesi aspal yang akan mengurangi daya ikat aspal terhadap agregat.

i. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Dust Proportion (DP)* campuran *AC-BC*

Dust Proportion adalah prosentasi kadar *filler* dalam campuran dibagi dengan prosentasi kadar aspal dalam campuran, tujuannya adalah untuk memprediksi kondisi campuran yang baik. Nilai *DP* yang terlalu tinggi menyebabkan campuran menjadi kurang menyatu antara agregat kasar dan agregat halus yang menyebabkan penyerapan aspal oleh *filler* terlalu tinggi. Persyaratan nilai *DP* sesuai dalam spesifikasi baru antara 0.6 sampai dengan 1.2. Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *DP* dapat dilihat pada Tabel 4.19, dibawah ini :

Tabel 4.19 Kadar Aspal terhadap Nilai *Dust Proportion* campuran *AC-BC*

Karakteristik	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		4.5	5	5.5	6	6.5
<i>Dust Proportion</i> Aspal Pertamina	0.6 – 1.2	0.89	0.80	0.73	0.67	0.62
<i>Dust Proportion</i> Aspal Esso	0.6 – 1.2	0.89	0.80	0.73	0.67	0.62

Dari Tabel 4.19 diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *AC-BC* dengan menggunakan kedua jenis aspal, sesuai dalam spesifikasi baru, berada pada Nilai *DP* yang disyaratkan, dimana komposisi bahan susun benda uji dibuat tetap dengan

komposisi nilai *filler* untuk kedua jenis aspal adalah 4 %, sedangkan kadar aspal bervariasi 4.5% nilai $DP = 0.89$, 5% nilai $DP = 0.80$, 5.5% nilai $DP = 0.73$, 6% nilai $DP = 0.67$, 6.5% nilai $DP = 0.62$. Nilai DP mempengaruhi stabilitas yang diperoleh, dimana nilai DP rendah, menunjukkan campuran tersebut plastis, karena mengandung aspal yang tinggi, biasanya tidak ada perbedaan yang menyolok. Nilai DP sedang, campuran meningkat kekakuannya dan nilai stabilitas yang dihasilkan sudah mulai ada perbedaan yang menyolok. Nilai DP tinggi campuran sudah kaku dan terdapat perbedaan yang menyolok terhadap nilai stabilitas yang dihasilkan.

4.2.2 Evaluasi Hasil laboratorium uji *Marshall* dan ISS Tahap I terhadap Spesifikasi

Dari hasil pengujian bahan susun untuk campuran *AC-BC* didapat hasil rekapitulasi yang memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi Baru.

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas untuk jenis aspal Pertamina maupun aspal *Esso* pada tahap I, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2., halaman 46, dan Gambar 4.3., halaman 47. Didapat jenis aspal Pertamina yang memenuhi syarat untuk $VMA >_{14\%}$ pada kadar aspal 4.5% - 6.5%, $VFA_{63\%}$ pada kadar aspal 4.8% - 6.5% dan $VIM >_{4.9\%-5.9\%}$ pada kadar aspal 4.8% - 6.1%, ditentukan kadar aspal optimum jenis Pertamina 5.5 % dan untuk jenis aspal *Esso* yang memenuhi syarat untuk $VMA >_{14\%}$ pada kadar aspal 4.5% - 6.5%, $VFA_{63\%}$ pada kadar aspal 4.9% - 6.5% dan $VIM >_{4.9\%-5.9\%}$ pada kadar aspal 4.9% - 6.0%, ditentukan kadar aspal optimum jenis *Esso* 5.5 %. Selanjutnya dilanjutkan pada penelitian tahap II yaitu untuk mencari nilai karakteristik *Marshall* dan ISS campuran pada kadar aspal optimum (5.5%), dengan membuat variasi temperatur pemadatan pada suhu $100^{\circ}C$, $120^{\circ}C$, $140^{\circ}C$, dan $160^{\circ}C$, serta menetapkan temperatur campuran pada suhu $170^{\circ}C$ pada kondisi standar (2x75) tumbukan dan pada kondisi *refusal density* (2x400) tumbukan.

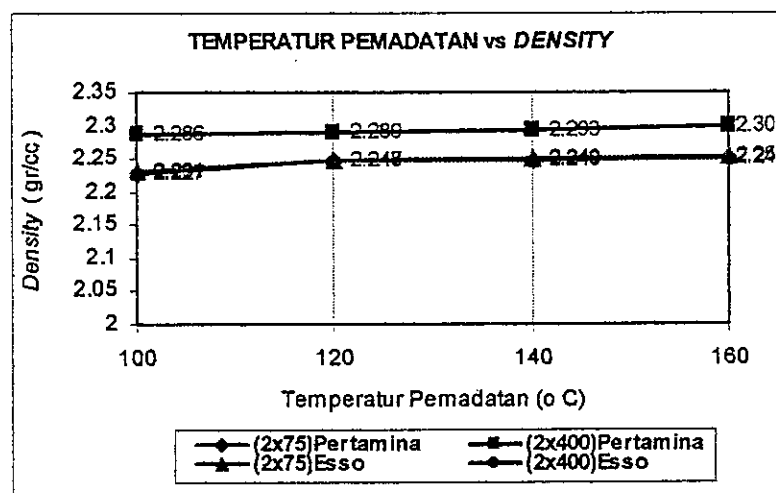
4.2.3 Pengaruh temperatur pemadatan terhadap variasi jumlah tumbukan pada kondisi standar sampai kondisi *Refusal Density* pada Pengujian *Marshall* dan ISS Tahap II untuk jenis Aspal Pertamina dan Aspal *Esso*

- a. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *density* pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan campuran *AC-BC*.

Nilai *density* menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah temperatur pemadatan, gradasi, kadar *filler*, energi pemadat dan kadar aspal, porositas butiran. Campuran dengan kepadatan yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih tinggi. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *density* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dilihat pada Tabel 4.20, dan Gambar 4.12,

Tabel 4.20. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *density* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.

Jenis aspal dan variasi jumlah tumbukan	Spesifikasi (gr/cc)	Variasi Temperatur Pemadatan ($^{\circ}$ C)			
		100	120	140	160
(2x75) Pertamina	-	2.227	2.247	2.248	2.249
(2x75) <i>Esso</i>	-	2.231	2.248	2.249	2.252
(2x400) Pertamina	-	2.282	2.285	2.286	2.292
(2x400) <i>Esso</i>	-	2.286	2.289	2.293	2.30



Gambar 4.12. Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai *density* pada Kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan

Seperti terlihat pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.12, Peningkatan temperatur pemadatan dari 100⁰C sampai dengan 160⁰C mengakibatkan meningkatnya nilai *density* campuran AC-BC. Pemadatan pada temperatur 100⁰C agak sulit dilakukan, hal ini disebabkan viskositas aspal pada temperatur tersebut cukup tinggi sehingga menghasilkan nilai *density* yang rendah. Seiring dengan meningkatnya temperatur pemadatan sampai dengan 160⁰ C pemadatan menjadi lebih mudah dilakukan, hal ini disebabkan viskositas aspal menurun sehingga *density* meningkat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *density* saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 2.227 gr/cc meningkat menjadi 2.249 gr/cc pada temperatur pemadatan 160⁰C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100⁰C sebesar 2.282 gr/cc meningkat menjadi 2.292 gr/cc pada temperatur pemadatan 160⁰C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x400) tumbukan. Sedangkan untuk aspal *Esso* menunjukkan temperatur 100⁰C sebesar 2.231 gr/cc meningkat menjadi 2.252 gr/cc pada temperatur pemadatan 160⁰C pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100⁰C sebesar 2.286 gr/cc meningkat menjadi 2.30 gr/cc pada temperatur pemadatan 160⁰C pada kondisi (2x400) tumbukan. Meningkatnya nilai *density* memberikan pengertian bahwa campuran AC-BC akan lebih rapat dan padat, sehingga bila menerima beban lalu lintas yang tinggi dan berat tidak mudah terjadi deformasi plastis, dan tidak mudah terjadi oksidasi yang dapat menurunkan durabilitas campuran AC-BC. Secara keseluruhan pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *density* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan (2x75 dan 2x400) tumbukan.dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dapat diterima oleh karena nilai *density* berada > 2 gr/cc.

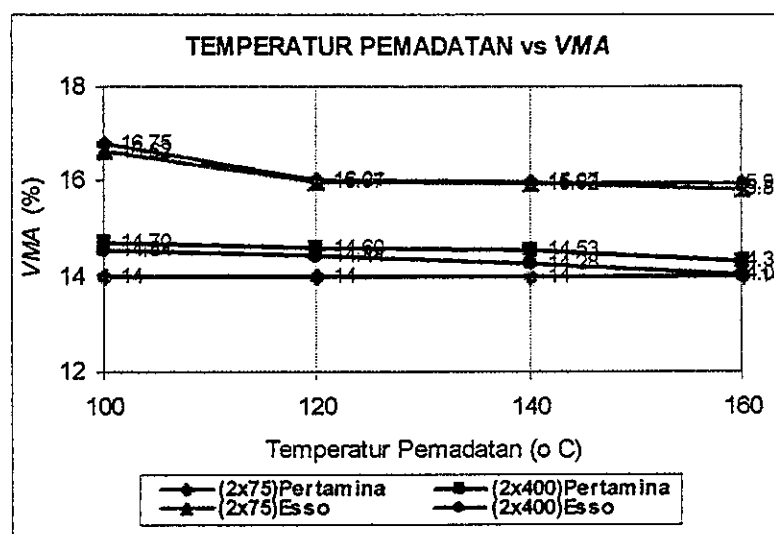
- b. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *Void in Meneral Agreggate (VMA)* pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan campuran AC-BC

VMA adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran beraspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. *VMA* digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal panas. Besarnya nilai *VMA* dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *VMA* pada kadar Aspal optimum

dan variasi jumlah tumbukan.dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dilihat pada Tabel 4.21, dan Gambar 4.13, dibawah ini :

Tabel 4.21. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap *VMA* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.

Jenis aspal dan variasi jumlah tumbukan	Spesifikasi (%)	Variasi Temperatur Pemadatan ($^{\circ}\text{C}$)			
		100	120	140	160
		Nilai <i>VMA</i> (%)			
(2x75) Pertamina	> 14	16.75	16.01	15.97	15.94
(2x75) <i>Esso</i>	> 14	16.62	15.97	15.92	15.83
(2x400) Pertamina	> 14	14.70	14.60	14.53	14.31
(2x400) <i>Esso</i>	> 14	14.54	14.44	14.28	14.04



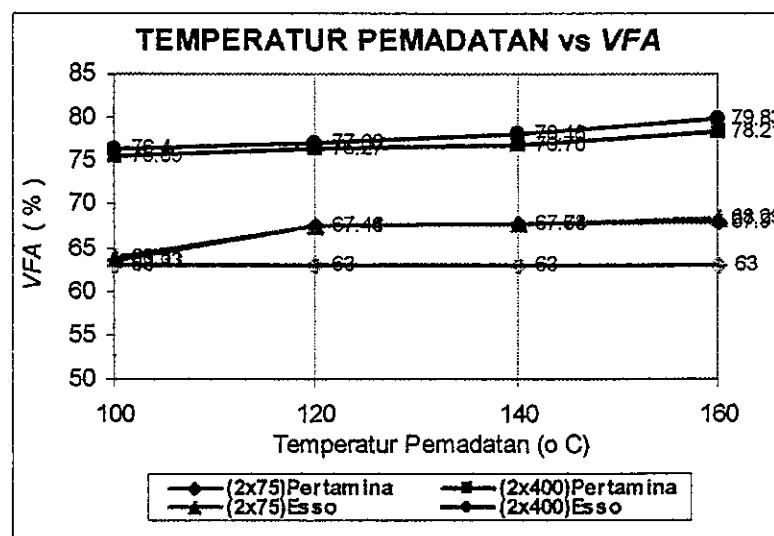
Gambar 4.13. Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai *VMA* pada Kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan

Dari Tabel 4.21 dan Gambar 4.13, di atas dapat dilihat bahwa peningkatan temperatur pemadatan dari 100°C sampai dengan 160°C mengakibatkan menurunnya rongga antar agregat (*VMA*). Pada temperatur pemadatan 100°C viskositas aspal menjadi tinggi, sehingga pada saat dipadatkan sulit dalam penyusunan butiran agregat, yang mengakibatkan volume rongga yang terdapat diantara partikel agregat menjadi besar.

Seiring dengan meningkatnya temperatur pemadatan sampai dengan 160°C menyebabkan viskositas aspal menurun sehingga pada saat dilakukan pemadatan, proses penyusunan butiran agregat menjadi lebih mudah, rongga antar partikel

Tabel 4.22. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap *VFA* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.

Jenis aspal dan variasi jumlah tumbukan	Spesifikasi (%)	Variasi Temperatur Pemadatan ($^{\circ}\text{C}$)			
		100	120	140	160
(2x75) Pertamina	> 63	63.33	67.46	67.68	67.91
(2x75) Esso	> 63	63.81	67.44	67.74	68.29
(2x400) Pertamina	> 63	75.59	76.27	76.70	78.21
(2x400) Esso	> 63	76.40	77.06	78.16	79.83



Gambar 4.14. Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai *VFA* pada Kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan

Dari tabel 4.22 dan Gambar 4.14, Peningkatan temperatur pemadatan dari 100°C sampai dengan 160°C mengakibatkan meningkatnya nilai *VFA* campuran *AC-BC*. Pemadatan yang dilakukan pada temperatur 100°C proses penyusunan butiran agregat yang terselimuti aspal akan menjadi sulit, hal ini disebabkan viskositas aspal pada temperatur tersebut cukup tinggi sehingga menghasilkan nilai *VFA* yang kecil. Seiring dengan meningkatnya temperatur pemadatan sampai dengan 160°C pemadatan menjadi lebih mudah dilakukan, hal ini disebabkan viskositas aspal menurun sehingga *VFA* meningkat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *VFA* saat pemadatan pada temperatur 100°C sebesar 63.33 % meningkat menjadi 67.91 % pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 75.59% meningkat menjadi 78.21 % pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x400)

tumbukan. Sedangkan untuk aspal *Esso* menunjukkan temperatur 100°C sebesar 63.81 % meningkat menjadi 68.29 % pada temperatur pemadatan 160°C pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 76.40 % meningkat menjadi 79.83 % pada temperatur pemadatan 160°C pada kondisi (2x400) tumbukan. Meningkatnya nilai *VFA* yang besar menunjukkan agregat terselimuti aspal secara sempurna sehingga campuran *AC-BC* akan lebih kedap air maupun udara, sehingga tidak mudah teroksidasi pada akhirnya akan meningkatkan durabilitas campuran *AC-BC*. Namun sebaliknya apabila nilai *VFA* kecil, maka kekedapan campuran *AC-BC* terhadap air maupun udara akan berkurang sehingga mudah teroksidasi yang selanjutnya akan menurunkan durabilitas campuran *AC-BC* serta akan mengakibatkan mudah terjadi deformasi plastis. Sebagai persyaratan sesuai spesifikasi baru untuk nilai *VFA* campuran *AC-BC* minimal 63 %. Secara keseluruhan pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *VFA* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan (2x75 dan 2x400) tumbukan.dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dapat diterima oleh karena nilai *VFA* berada $> 63\%$.

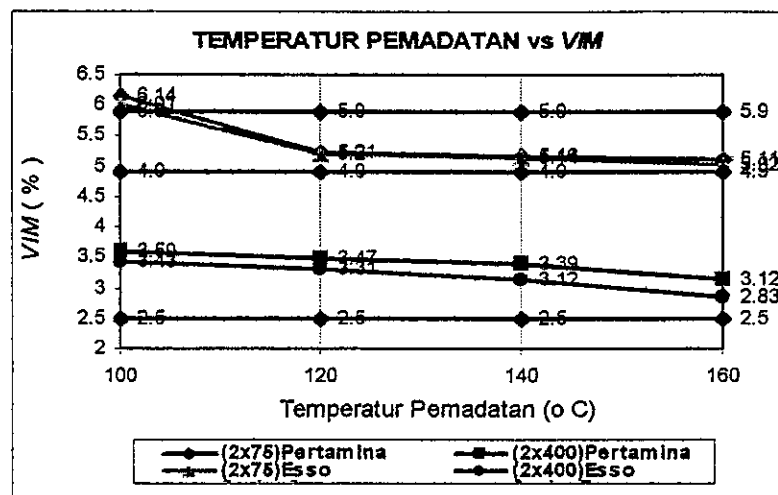
- d. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *Void in the Mix (VIM)* pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan campuran *AC-BC*.

VIM dalam spesifikasi baru merupakan syarat paling penting, selain *VMA* dan *VFA* sebagai dasar dari perencanaan perhitungan pada tahap II (variasi temperatur pemadatan pada 2x75 dan 2x400 tumbukan pada kadar aspal optimum). *VIM* menyatakan banyaknya prosentase rongga dalam campuran total. Nilai rongga dalam campuran dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran, dengan bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butiran agregat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran semakin berkurang.

Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *VIM* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.dengan menggunakan aspal Pertamina dan aspal *Esso* seperti Tabel 4.23, dan Gambar 4.15 dibawah :

Tabel 4.23. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap *VIM* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.

Jenis aspal dan variasi jumlah tumbukan	Spesifikasi (%)	Variasi Temperatur Pemadatan ($^{\circ}\text{C}$)			
		100	120	140	160
(2x75) Pertamina	4.9 – 5.9	6.14	5.21	5.16	5.11
(2x75) Esso	4.9 – 5.9	6.01	5.20	5.14	5.02
(2x400) Pertamina	2.5	3.59	3.47	3.39	3.12
(2x400) Esso	2.5	3.43	3.31	3.12	2.83



Gambar 4.15 Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai *VIM* pada Kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan

Dari tabel 4.23 dan Gambar 4.15, di atas dapat dilihat *VIM* merupakan prosentase rongga udara pada suatu campuran yang telah dipadatkan. Pemadatan yang dilakukan pada temperatur 100°C , proses penyusunan butiran agregat akan menjadi sulit, hal ini disebabkan oleh karena viskositas aspal pada temperatur tersebut tinggi, sehingga mengakibatkan rongga udara alam campuran menjadi besar. Seiring meningkatnya temperatur pemadatan sampai 160°C penyusunan butiran agregat menjadi lebih mudah karena viskositas aspal menurun sehingga rongga udara dalam campuran (*VIM*) menjadi kecil.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *VIM* saat pemadatan pada temperatur 100°C sebesar 6.14 % menurun menjadi 5.11 % pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 3.59 % menurun menjadi 3.12 % pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x400) tumbukan. Sedangkan untuk aspal *Esso*

menunjukkan temperatur 100°C sebesar 6.01 % menurun menjadi 5.02 % pada temperatur pemadatan 160°C pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 3.43 % menurun menjadi 2.83 % pada temperatur pemadatan 160°C pada kondisi (2x400) tumbukan. Nilai *VIM* yang besar akan menjadikan campuran tidak stabil saat dibebani lalu lintas yang berat pada akhirnya akan mengakibatkan terjadinya deformasi plastis, demikian sebaliknya apabila nilai *VIM* kecil, campuran akan lebih stabil dan tahan terhadap deformasi plastis. Sebagai persyaratan sesuai spesifikasi baru untuk nilai *VIM* campuran *AC-BC* standar 4.9 % – 5.9 %, sedangkan nilai *VIM* minimum untuk *refusal density* adalah 2.5 %. Secara keseluruhan pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *VIM* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan (2x75 dan 2x400) tumbukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dapat diterima oleh karena nilai *VIM* masuk didalam spesifikasi yang disyaratkan, hanya pada temperatur 100°C kedua aspal Pertamina dan aspal *Esso* ditolak karena berada diatas spesifikasi yang ditentukan.

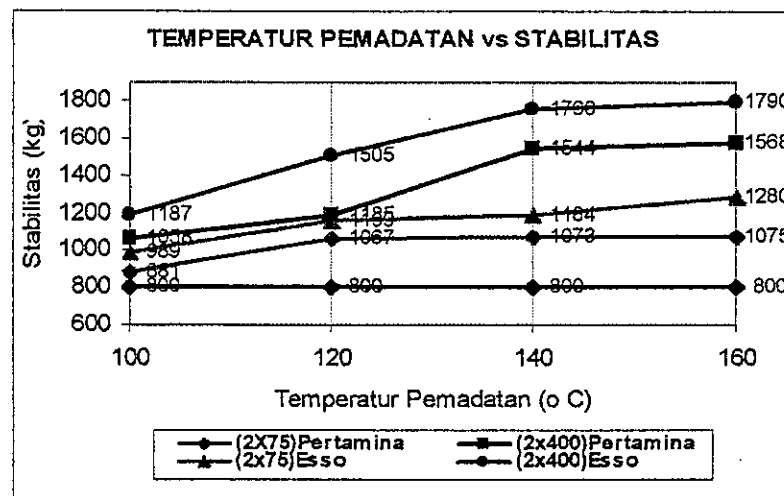
- e. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai Stabilitas pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan campuran *AC-BC*.

Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat dicapai oleh bahan susun campuran beraspal panas yang dinyatakan dalam satuan beban. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas. Spesifikasi baru menetapkan untuk lapis Laston *AC-BC* yang dilalui oleh > 1.000.000 *ESA*, stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg. Lapis Laston *AC-BC* dengan stabilitas dibawah 800 kg akan mudah terjadi alur (*rutting*) bila dilalui kendaraan berat.

Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai stabilitas pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan dengan menggunakan aspal Pertamina dan aspal *Esso* seperti Tabel 4.24, dan Gambar 4.16 dibawah :

Tabel 4.24. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap stabilitas pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.

Jenis aspal dan variasi jumlah tumbukan	Spesifikasi (kg)	Variasi Temperatur Pemadatan ($^{\circ}\text{C}$)			
		100	120	140	160
(2x75) Pertamina	800	881	1067	1073	1075
(2x75) Esso	800	989	1159	1184	1280
(2x400) Pertamina	800	1058	1185	1544	1568
(2x400) Esso	800	1187	1505	1760	1790



Gambar 4.16. Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai stabilitas pada Kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan

Dari tabel 4.24 dan Gambar 4.16 diatas dapat dilihat bahwa Peningkatan temperatur pemadatan dari 100°C sampai dengan 160°C mengakibatkan meningkatnya nilai stabilitas campuran AC-BC. Pemadatan yang dilakukan pada temperatur 100°C proses penyusunan butiran agregat yang terselimuti aspal akan menjadi sulit, hal ini disebabkan viskositas aspal pada temperatur tersebut cukup tinggi sehingga menghasilkan kepadatan yang rendah selanjutnya tahanan gesek campuran rendah dan pada akhirnya stabilitas rendah. Seiring dengan meningkatnya temperatur pemadatan sampai dengan 160°C proses penyusunan butiran agregat menjadi lebih mudah dilakukan, hal ini disebabkan viskositas aspal menurun, sehingga kepadatan meningkat, selanjutnya tahanan gesek campuran meningkat pada akhirnya nilai stabilitas meningkat pula.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilitas saat pemadatan pada temperatur 100°C sebesar 881 kg meningkat menjadi 1075 kg pada temperatur pemadatan

160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 1058 kg meningkat menjadi 1568 kg pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x400) tumbukan. Sedangkan untuk aspal *Esso* menunjukkan temperatur 100°C sebesar 989 kg meningkat menjadi 1280 kg pada temperatur pemadatan 160°C pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 1187 kg meningkat menjadi 1790 kg pada temperatur pemadatan 160°C pada kondisi (2x400) tumbukan.

Nilai stabilitas adalah ukuran kemampuan dari campuran *AC-BC* untuk menahan deformasi plastis dari beban lalu lintas, semakin besar stabilitas mengindikasikan bahwa campuran *AC-BC* akan lebih kokoh dan lebih tahan terhadap terjadinya deformasi plastis dan akan lebih awet. Secara keseluruhan pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai stabilitas pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan (2x75 dan 2x400) tumbukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dapat diterima oleh karena nilai stabilitas berada > 800 kg.

- f. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *flow* pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan campuran *AC-BC*.

Kelelahan (*Flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. *flow* merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas.

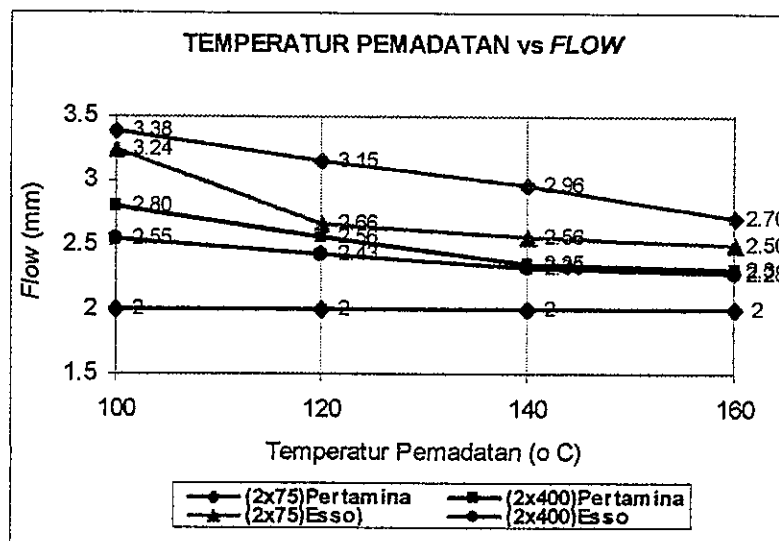
Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi bahan susun benda uji, campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dengan stabilitas tinggi akan cenderung menghasilkan campuran beraspal panas yang kaku dan getas (*brittle*), sehingga akan mudah retak (*crack*) apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran beraspal panas mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat.

Spesifikasi baru menetapkan untuk lapis Laston *AC-BC* yang dilalui oleh > 1.000.000 *ESA*, *flow* minimum yang disyaratkan > 2 mm. Nilai *flow* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi bahan susun, kadar aspal, viskositas aspal.

Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *flow* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dilihat pada Tabel 4.25 dan Gambar 4.17, dibawah ini :

Tabel 4.25. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap *flow* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.

Jenis aspal dan variasi jumlah tumbukan	Spesifikasi (mm)	Variasi Temperatur Pemadatan ($^{\circ}\text{C}$)			
		100	120	140	160
(2x75) Pertamina	> 2.0	3.38	3.15	2.96	2.70
(2x75) Esso	> 2.0	3.24	2.66	2.56	2.50
(2x400) Pertamina	> 2.0	2.80	2.56	2.35	2.31
(2x400) Esso	> 2.0	2.55	2.43	2.33	2.28



Gambar 4.17 Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai *flow* pada Kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan

Dari tabel 4.25 dan Gambar 4.17, di atas dapat dilihat bahwa peningkatan temperatur pemadatan dari 100°C sampai dengan 160°C mengakibatkan menurunnya nilai *flow* campuran AC-BC. Pada temperatur pemadatan 100°C viskositas aspal menjadi tinggi, sehingga pada saat dipadatkan sulit dalam penyusunan butiran agregat, yang mengakibatkan volume rongga yang terdapat diantara partikel agregat menjadi besar, stabilitas rendah dan selanjutnya kekakuan campuran AC-BC rendah yang pada akhirnya nilai *flow* menjadi besar. Seiring dengan meningkatnya temperatur pemadatan sampai dengan 160°C menyebabkan viskositas aspal menurun sehingga pada saat dilakukan pemadatan, proses penyusunan butiran agregat menjadi lebih mudah, rongga dalam campuran mengecil, stabilitas tinggi, selanjutnya akan meningkatkan kekakuan campuran yang pada akhirnya akan memperkecil nilai *flow*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *flow* saat pemadatan pada temperatur 100°C sebesar 3.38 mm menurun menjadi 2.70 mm pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 2.80 mm menurun menjadi 2.31 mm pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x400) tumbukan. Sedangkan untuk aspal *Esso* menunjukkan temperatur 100°C sebesar 3.24 mm menurun menjadi 2.50 mm pada temperatur pemadatan 160°C pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 2.55 mm menurun menjadi 2.28 mm pada temperatur pemadatan 160°C pada kondisi (2x400) tumbukan. Nilai *flow* dapat dihubungkan dengan nilai stabilitas, apabila nilai *flow* besar dan nilai stabilitas rendah, maka mengindikasikan bahwa campuran *AC-BC* akan mudah mengalami deformasi plastis apabila menerima beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Nilai *flow* yang kecil dan stabilitas yang tinggi mengindikasikan meningkatnya tahanan geser campuran *AC-BC* serta memperkecil pengaruh deformasi plastis. Secara keseluruhan pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *flow* pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan (2x75 dan 2x400) tumbukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dapat diterima oleh karena nilai *flow* berada > 2 mm.

- g. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *Marshall Quotient* pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan campuran *AC-BC*.

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai *MQ* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran dan saling mengunci antar butiran yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta nilai *flow* yang dipengaruhi oleh viskositas, kadar aspal, gradasi bahan susun, dan jumlah tumbukan.

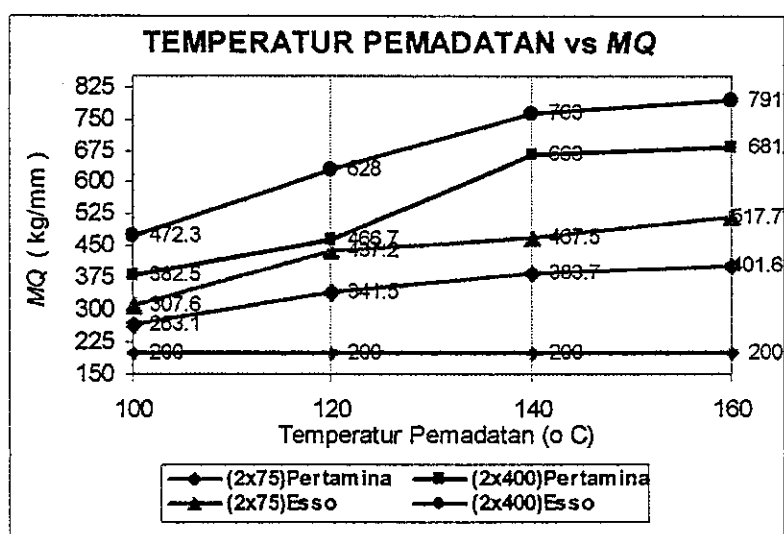
Campuran yang memiliki nilai *MQ* yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki nilai *MQ* tinggi campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai *MQ* adalah gradasi bahan

susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan.

Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai MQ pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dilihat pada Tabel 4.26. dan Gambar 4.18. dibawah ini :

Tabel 4.26. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap MQ pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.

Jenis aspal dan variasi jumlah tumbukan	Spesifikasi (kg/mm)	Variasi Temperatur Pemadatan ($^{\circ}C$)			
		100	120	140	160
(2x75) Pertamina	200	263.1	341.5	383.7	401.6
(2x75) <i>Esso</i>	200	307.1	437.2	467.5	517.7
(2x400) Pertamina	200	382.5	466.7	663	681
(2x400) <i>Esso</i>	200	472.3	628	763	791



Gambar 4.18. Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai MQ pada Kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.

Dari tabel 4.26. dan Gambar 4.18, diatas dapat dilihat bahwa Peningkatan temperatur pemadatan dari $100^{\circ}C$ sampai dengan $160^{\circ}C$ mengakibatkan meningkatnya nilai MQ campuran AC-BC. *Marshall Quotient* yang merupakan perbandingan antara stabilitas dan *flow*, sehingga apabila nilai stabilitas menunjukkan peningkatan, dan *flow* menunjukkan penurunan, maka nilai MQ akan menunjukkan peningkatan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai MQ saat pemadatan pada temperatur 100°C sebesar 263.1 kg/mm meningkat menjadi 401.6 kg/mm pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 382.5 kg/mm meningkat menjadi 681 kg/mm pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x400) tumbukan. Sedangkan untuk aspal *Esso* menunjukkan temperatur 100°C sebesar 307.1 kg/mm meningkat menjadi 517.7 kg/mm pada temperatur pemadatan 160°C pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 472.3 kg/mm meningkat menjadi 791 kg/mm pada temperatur pemadatan 160°C pada kondisi (2x400) tumbukan.

Nilai MQ adalah ukuran untuk memprediksi sifat fleksibilitas campuran *AC-BC*. Semakin besar nilai MQ maka campuran akan semakin kaku dan tahan terhadap deformasi plastis, demikian pula sebaliknya campuran *AC-BC* akan rentan terhadap terjadinya deformasi plastis apabila memiliki nilai MQ rendah. Sebagai persyaratan sesuai spesifikasi baru untuk nilai MQ campuran *AC-BC* minimal 200 kg/mm . Secara keseluruhan pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai MQ pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan (2x75 dan 2x400) tumbukan.dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dapat diterima oleh karena nilai MQ berada $> 200 \text{ kg/mm}$.

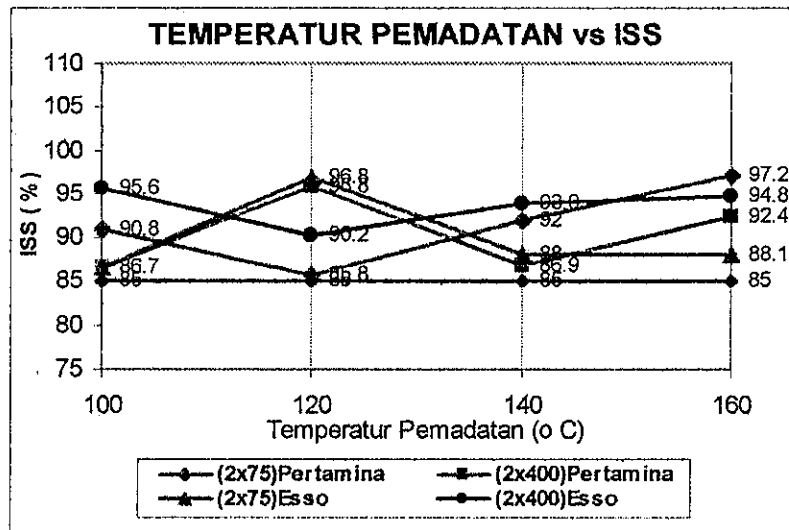
- h. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai Indeks Stabilitas Sisa pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan campuran *AC-BC*.

Nilai Indeks Kekuatan Sisa (ISS) diperoleh dengan membandingkan antara nilai stabilitas pada kondisi standar yaitu direndam dalam *water bath* pada suhu 60°C selama 30 (tigapuluh) menit dengan kondisi perendaman yang sama selama 24 (duapuluh empat) jam ini mengindikasikan pendekatan terhadap keawetan (durabilitas) dari suatu campuran beraspal panas.

Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai ISS pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dilihat pada Tabel 4.27. dan Gambar 4.19. dibawah ini :

Tabel 4.27. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap ISS pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.

Jenis aspal dan variasi jumlah tumbukan	Spesifikasi (%)	Variasi Temperatur Pemadatan ($^{\circ}\text{C}$)			
		100	120	140	160
(2x75) Pertamina	> 85	90.8	85.7	92	97.2
(2x75) Esso	> 85	86.7	96.8	88	88.1
(2x400) Pertamina	> 85	86.7	95.8	86.9	92.4
(2x400) Esso	> 85	95.6	90.2	93.9	94.8



Gambar 4.19. Grafik hubungan temperatur pemadatan dengan nilai ISS pada Kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan.

Spesifikasi baru beton aspal campuran panas 2001, merekomendasikan bahwa indeks stabilitas sisa pada perendaman 24 jam pada suhu 60°C , harus lebih tinggi dari 85 %.

Dari tabel 4.27 dan Gambar 4.19, diatas dapat dilihat bahwa Peningkatan temperatur pemadatan dari 100°C sampai dengan 160°C mengakibatkan sebagian meningkat dan sebagian menurun nilai ISS campuran AC-BC. Pemadatan yang dilakukan pada temperatur 100°C proses penyusunan butiran agregat yang terselimuti aspal akan menjadi sulit, hal ini disebabkan viskositas aspal pada temperatur tersebut cukup tinggi sehingga menghasilkan kepadatan campuran rendah selanjutnya rongga dalam campuran besar dan pada akhirnya stabilitas menjadi rendah. Seiring dengan meningkatnya temperatur pemadatan sampai dengan 160°C , mengakibatkan kepadatan campuran meningkat, rongga dalam

campuran mengecil dan stabilitas meningkat. Kondisi ini mengindikasikan bahwa udara dan air akan sulit meresap kedalam campuran, sehingga campuran akan mampu mempertahankan ikatannya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai ISS saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 90.8 % meningkat menjadi 97.2 % pada temperatur pemadatan 160⁰C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x75) tumbukan, dan pada temperatur 100⁰C sebesar 86.7 % meningkat menjadi 92.4 % pada temperatur pemadatan 160⁰C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x400) tumbukan. Sedangkan untuk aspal *Esso* menunjukkan temperatur 100⁰C sebesar 86.7 % meningkat menjadi 88.1 % pada temperatur pemadatan 160⁰C pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100⁰C sebesar 95.6 % menurun menjadi 94.8 % pada temperatur pemadatan 160⁰C pada kondisi (2x400) tumbukan.

Secara keseluruhan pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai ISS pada kadar Aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan (2x75 dan 2x400) tumbukan.dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dapat diterima oleh karena nilai stabilitas berada > 85 %.

4.2.4. Evaluasi Hasil laboratorium uji *Marshall* dan ISS Tahap II pengaruh temperatur pemadatan pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan campuran *AC-BC* terhadap Spesifikasi

Dari hasil pengujian bahan susun untuk campuran *AC-BC* didapat hasil rekapitulasi yang memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi baru pada tahap II pengaruh temperatur pemadatan pada kadar aspal optimum dan variasi jumlah tumbukan campuran *AC-BC* terhadap Spesifikasi adalah sebagai berikut ini :

Tabel 4.28. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap karakteristik *Marshall* pada variasi tumbukan dan kadar aspal optimum jenis aspal Pertamina

Karakteristik	Spesifikasi	(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan			
		100 ⁰ C	120 ⁰ C	140 ⁰ C	160 ⁰ C	100 ⁰ C	120 ⁰ C	140 ⁰ C	160 ⁰ C
Kepadatan (gr/cc)	-	2.227	2.247	2.248	2.249	2.282	2.285	2.286	2.292
<i>VMA</i> (%)	> 14 %	16.75	16.01	15.97	15.94	14.70	14.60	14.53	14.31
<i>VFA</i> (%)	> 63 %	63.33	67.46	67.68	67.91	75.59	76.27	76.70	78.21
<i>VIM</i> _{2x75} (%)	4.9% - 5.9%	6.14	5.21	5.16	5.11				
<i>VIM</i> _{2x400} (%)	> 2.5 %					3.59	3.47	3.39	3.12
Stabilitas (kg)	> 800 kg	881	1067	1073	1075	1058	1185	1544	1568
<i>Flow</i> (mm)	> 2 mm	3.38	3.15	2.96	2.70	2.80	2.56	2.35	2.31
<i>MQ</i> (kg/mm)	>200 kg/mm	263.1	341.5	383.7	401.6	382.5	466.7	663	681
ISS (%)	> 85 %	90.8	85.8	92	97.2	86.7	95.8	86.9	92.4

Dari hasil pengujian diatas terlihat bahwa semua karakteristik *Marshall* memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, 2001 pada tingkat kepadatan standar (2x75) tumbukan dan kepadatan membal / *refusal density* (2x400) tumbukan, untuk jenis aspal Pertamina ditunjukkan pada tingkat *density* mempunyai nilai cenderung meningkat dari temperatur pemadatan 100⁰ C sebesar 2.227 gr/cc meningkat menjadi 2.249 gr/cc pada temperatur pemadatan 160⁰ C pada (2x75) tumbukan. Sedangkan pada kondisi *refusal density* (2x400) tumbukan temperatur pemadatan 100⁰C sebesar 2.282 gr/cc meningkat menjadi 2.292 gr/cc pada temperatur pemadatan 160⁰C. Tidak ada persyaratan untuk nilai *density*, untuk evaluasi ditetapkan > 2.0 gr/cc.

Nilai *VMA* saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 16.75 % menurun menjadi 15.94 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x75) tumbukan. Sedangkan pada temperatur 100⁰C sebesar 14.70 % menurun menjadi 14.31 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai *VMA* > 14 %, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai *VFA* saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 63.33 % meningkat menjadi 67.91 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100⁰C sebesar 75.59% meningkat menjadi 78.2 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai *VFA* > 63 %, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai *VIM* saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 6.14 % menurun menjadi 5.11 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100⁰C sebesar 3.59 % menurun menjadi 3.12 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai *VIM* > 4.9% - 5.9%, pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan, untuk variasi temperatur pemadatan 100⁰C >5,9% ditolak. Sedangkan persyaratan sampai pada saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan > 2.5 %, semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai stabilitas saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 881 kg meningkat menjadi 1075 kg pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x75) tumbukan dan

pada temperatur 100°C sebesar 1058 kg meningkat menjadi 1568kg pada temperatur pemadatan 160°C , pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai Stabilitas > 800 kg, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai *flow* saat pemadatan pada temperatur 100°C sebesar 3.38 mm menurun menjadi 2.70 mm pada temperatur pemadatan 160°C , pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 2.80 mm menurun menjadi 2.31mm pada temperatur pemadatan 160°C , pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai *flow* > 2 mm, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai *MQ* saat pemadatan pada temperatur 100°C sebesar 263.1 kg/mm meningkat menjadi 401.6 kg/mm pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100°C sebesar 382.5 kg/mm meningkat menjadi 681 kg/mm pada temperatur pemadatan 160°C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai *MQ* $> 200\text{kg/mm}$, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai ISS saat pemadatan pada temperatur 100°C sebesar 90.8 % meningkat menjadi 97.2 % pada temperatur pemadatan 160°C , pada kondisi (2x75) tumbukan, dan pada temperatur 100°C sebesar 86.7 % meningkat menjadi 92.4 % pada temperatur pemadatan 160°C , pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai ISS > 85 %, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Tabel 4.29. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap karakteristik *Marshall* pada variasi tumbukan dan kadar aspal optimum jenis aspal *Esso*

Karakteristik	Spesifikasi	(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan			
		100 ⁰ C	120 ⁰ C	140 ⁰ C	160 ⁰ C	100 ⁰ C	120 ⁰ C	140 ⁰ C	160 ⁰ C
Kepadatan (gr/cc)	-	2.231	2.248	2.249	2.252	2.286	2.289	2.292	2.30
<i>VMA</i> (%)	> 14 %	16.62	15.97	15.92	15.83	14.54	14.44	14.28	14.04
<i>VFA</i> (%)	> 63 %	63.81	67.44	67.74	68.29	76.40	77.06	78.16	79.83
<i>VIM</i> _{2x75} (%)	4.9% - 5.9%	6.01	5.20	5.14	5.02				
<i>VIM</i> _{2x400} (%)	> 2.5 %					3.43	3.31	3.12	2.83
Stabilitas (kg)	> 800 kg	989	1159	1184	1280	1187	1505	1760	1790
<i>Flow</i> (mm)	> 2 mm	3.24	2.66	2.56	2.50	2.55	2.43	2.33	2.28
<i>MQ</i> (kg/mm)	>200 kg/mm	307.6	437.2	467.5	517.7	472.3	628	763	791
ISS (%)	> 85 %	86.7	96.8	88	88.1	95.6	90.2	93.9	94.8

Untuk jenis aspal *Esso* ditunjukkan pada tingkat *density* mempunyai nilai cenderung meningkat dari temperatur pemadatan 100⁰ C sebesar 2.231 gr/cc meningkat menjadi 2.252 gr/cc pada temperatur pemadatan 160⁰ C pada (2x75) tumbukan. Sedangkan pada kondisi *refusal density* (2x400) tumbukan temperatur pemadatan 100⁰C sebesar 2.286 gr/cc meningkat menjadi 2.30 gr/cc pada temperatur pemadatan 160⁰C. Tidak ada persyaratan untuk nilai *density*, untuk evaluasi ditetapkan > 2.0 gr/cc.

Nilai *VMA* saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 16.62 % menurun menjadi 15.83 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x75) tumbukan. Sedangkan pada temperatur 100⁰C sebesar 14.54 % menurun menjadi 14.04 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai *VMA* > 14 %, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai *VFA* saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 63.81 % meningkat menjadi 67.74 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100⁰C sebesar 76.40% meningkat menjadi 79.83% pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai *VFA* > 63 %, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan

sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai *VIM* saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 6.01 % menurun menjadi 5.02 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100⁰C sebesar 3.43 % menurun menjadi 2.83 % pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai *VIM* > 4.9% - 5.9%, pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan, untuk variasi temperatur pemadatan 100⁰C >5,9% ditolak. Sedangkan persyaratan sampai pada saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan > 2.5 %, semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai stabilitas saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 989 kg meningkat menjadi 1280 kg pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100⁰C sebesar 1187 kg meningkat menjadi 1790kg pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai Stabilitas > 800 kg, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai *flow* saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 3.24 mm menurun menjadi 2.50 mm pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100⁰C sebesar 2.55 mm menurun menjadi 2.28mm pada temperatur pemadatan 160⁰C, pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai *flow* > 2 mm, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai *MQ* saat pemadatan pada temperatur 100⁰C sebesar 307.6 kg/mm meningkat menjadi 517.7 kg/mm pada temperatur pemadatan 160⁰C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x75) tumbukan dan pada temperatur 100⁰C sebesar 472.3 kg/mm meningkat menjadi 791 kg/mm pada temperatur pemadatan 160⁰C untuk aspal Pertamina pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai *MQ* > 200kg/mm, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

Nilai ISS saat pemadatan pada temperatur 100°C sebesar 86.7 % meningkat menjadi 88.1 % pada temperatur pemadatan 160°C , pada kondisi (2x75) tumbukan, dan pada temperatur 100°C sebesar 95.6 % menurun menjadi 94.8 % pada temperatur pemadatan 160°C , pada kondisi (2x400) tumbukan. Persyaratan untuk nilai ISS > 85 %, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan semua variasi temperatur pemadatan dapat diterima.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan seperti yang telah disampaikan di muka, dapat diambil suatu kesimpulan dari hasil analisa test *Marshall* tersebut diatas untuk jenis aspal Pertamina maupun aspal *Esso* pada tahap I yang menggambarkan saat dibukanya lalulintas, dimana jalan belum dibuka untuk lalu lintas umum. Didapat hasil kinerja jenis aspal *Esso* lebih baik dari jenis aspal Pertamina, ini ditunjukkan pada :

- a. Hasil Pemeriksaan Sifat fisik aspal, seperti tes Penetrasi jenis aspal *Esso* > aspal Pertamina (66mm>62mm), Titik lembek aspal *Esso* < aspal Pertamina ($51.75^{\circ} < 54^{\circ}$), hasil ini menggambarkan aspal *Esso* lebih cepat mengisi rongga terisi aspal, sehingga film aspal *Esso* lebih tebal menyelimuti permukaan agregat, sehingga secara keseluruhan sifat fisik bahan aspal *Esso* lebih baik dari bahan aspal Pertamina.
- b. Hasil pengujian *Marshall* dan Indek Stabilitas Sisa, didapat nilai *Density*, *VFA*, Stabilitas, *MQ* jenis aspal *Esso* lebih besar yang menunjukkan bahwa lebih tahan terhadap deformasi plastis maupun proses penuaan dari jenis aspal Pertamina serta nilai *VMA*, *VIM*, *Flow*, dan Indek Stabilitas Sisa jenis aspal *Esso* lebih rapat, ini menunjukkan tingkat keawetan lebih baik dari jenis aspal Pertamina.

Dari hasil pengujian *Marshall* dan Indek Stabilitas Sisa tahap II, yang menggambarkan kinerja konstruksi jalan selama melayani kebutuhan lalu lintas sampai akhir pelayanannya, dalam penelitian ini untuk kepentingan masa layanan diatas 1.000.000 *ESA* (*equivalent standard axel*). Penelitian ini dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu cara menganalisis *void* (rongga) dan pengujian material benda uji. Untuk analisis rongga terdiri dari analisis *Density*, *VMA*, *VFA* dan *VIM* pada kadar aspal optimum untuk kedua jenis aspal, ini ditunjukkan pada :

- a. Hasil nilai *density* untuk kedua jenis aspal Pertamina dan *Esso* cenderung meningkat dari mulainya dibukanya untuk lalu lintas sampai masa pelayanannya selesai pada temperatur pemadatan 100°C , sampai pada temperatur pemadatan 160°C $density_{\text{pertamina}} < density_{\text{esso}}$, ini menunjukkan bahwa tingkat kepadatan campuran Laston (*AC-BC*)

terus membesar seiring dengan meningkatnya temperatur pemadatan dimana laston (*AC-BC*) menggunakan bahan aspal jenis *Esso* lebih padat dari pada aspal jenis Pertamina. Tidak ada persyaratan minimal untuk nilai *density* pada campuran Laston (*AC-BC*).

- b. Untuk analisa ketiga rongga (*VMA*, *VFA*, dan *VIM*) pada jenis aspal Pertamina dan aspal *Esso* dapat diuraikan sebagai berikut : Hasil *VMA* pada waktu dibuka lalulintas terus menurun seiring dengan masa pelayanannya selesai, dapat dilihat dari mulainya dibukanya untuk lalu lintas sampai masa pelayananannya selesai pada temperatur pemadatan 100⁰C sampai pada temperatur pemadatan 160⁰C, ini sesuai dengan tingkat *density* meningkat akibat beban lalu lintas nilai *VMA* menjadi semakin rapat. Persyaratan untuk campuran Laston (*AC-BC*) nilai *VMA* minimum 14 %. Kedua jenis aspal pada temperatur pemadatan 100⁰C sampai 160⁰C semua memenuhi persyaratan dengan $VMA_{\text{pertamina}} > VMA_{\text{esso}}$, ini menunjukkan campuran dengan menggunakan jenis aspal *Esso* lebih tahan terhadap deformasi plastis maupun retak lelah.
- c. Hasil *VFA* pada waktu dibuka lalulintas terus membesar seiring dengan masa pelayanannya selesai, dapat dilihat dari mulainya dibukanya untuk lalu lintas sampai masa pelayananannya selesai pada temperatur pemadatan 100⁰C sampai temperatur pemadatan 160⁰C, ini sesuai dengan tingkat kepadatan meningkat dan nilai *VMA* mengecil akibat beban lalu lintas sehingga nilai *VFA* menjadi semakin banyak menyelimuti agregatnya. Persyaratan untuk campuran *AC-BC* nilai *VFA* > 63 %. Kedua jenis aspal pada temperatur pemadatan 100⁰C sampai 160⁰C semua memenuhi persyaratan, dengan $VMA_{\text{pertamina}} < VMA_{\text{esso}}$, ini menunjukkan VMA_{Esso} mencapai keseimbangan antara nilai *VMA* yang lebih kecil dan tebal penyelimutan/film aspal yang lebih tebal, sehingga dapat lebih tahan terhadap deformasi plastis maupun retak lelah.
- d. *VIM* merupakan tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. Hasil *VIM* pada waktu dibuka lalulintas terus menurun seiring dengan masa pelayanannya selesai, dapat dilihat dari mulainya dibukanya untuk lalu lintas sampai masa pelayananannya selesai pada temperatur pemadatan

100°C sampai temperatur pemadatan 160°C, ini sesuai dengan nilai *VMA* mengecil dan nilai *VFA* menjadi semakin tebal akibat beban lalu lintas, sehingga nilai *VIM* menjadi semakin kecil. Persyaratan untuk campuran *AC-BC* nilai *VIM* = 4.9% - 5.9%. Selanjutnya sampai masa pelayanannya selesai nilai *VIM* > 2.5 %. Terlihat bahwa Dari hasil analisis rongga seperti tersebut diatas, temperatur pemadatan sampai 100°C tidak direkomendasi untuk digunakan dalam campuran *AC-BC*, disebabkan *VIM* untuk kedua jenis aspal yang dihasilkan di atas persyaratan yang dimungkinkan campuran Laston (*AC-BC*) berkurang kekedapannya terhadap air, dan berakibat meningkatkan proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat campuran.

Ditinjau dari analisis ketiga rongga diatas jenis aspal *Esso* lebih rapat terlihat dari tingkat rongga udara yang lebih kecil dari aspal Pertamina. Dari tingkat rongga terisi aspal, aspal *Esso* lebih awet karena tingkat penyalutan aspal lebih tebal dari aspal Pertamina, sedangkan dari tingkat rongga dalam campuran total aspal *Esso* lebih tahan terhadap deformasi plastis maupun retak leleh karena *VIM* lebih kecil dari aspal Pertamina.

Untuk pengujian Material benda uji terdiri dari pengujian Stabilitas, *Flow*, *MQ* dan Indek Stabilitas Sisa, seperti ditunjukkan pada :

- a. Hasil pengujian Stabilitas pada waktu dibuka lalu lintas terus membesar seiring dengan masa pelayanannya selesai, dapat dilihat dari mulainya dibukanya untuk lalu lintas sampai masa pelayanannya selesai pada temperatur pemadatan 100°C sampai temperatur pemadatan 160°C, ini sesuai hasil analisis ketiga rongga di atas. Persyaratan untuk campuran *AC-BC* nilai stabilitas > 800 kg. Kedua jenis aspal pada temperatur pemadatan 100°C sampai 160°C semua memenuhi persyaratan, dengan $Stabilitas_{pertamina} < Stabilitas_{esso}$, ini menunjukkan $Stabilitas_{Esso}$ dapat menerima beban lebih besar dari pada Stabilitas Pertamina.
- b. Hasil pengujian *flow* pada waktu dibuka lalu lintas terus mengecil seiring dengan masa pelayanannya selesai, dapat dilihat dari mulainya dibukanya untuk lalu lintas sampai masa pelayanannya selesai pada temperatur pemadatan 100°C sampai temperatur pemadatan 160°C, campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dengan stabilitas tinggi akan cenderung menghasilkan campuran beraspal panas yang kaku dan getas (*brittle*), sehingga akan mudah retak (*crack*) apabila terkena beban lalu lintas yang

tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran beraspal panas mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Spesifikasi baru menetapkan untuk lapis Laston AC-BC yang dilalui oleh > 1.000.000 ESA, *flow* minimum yang disyaratkan > 2 mm. Nilai *flow* dipengaruhi oleh nilai dari stabilitas di atas. Kedua jenis aspal pada temperatur pemadatan 100°C sampai 160°C semua memenuhi persyaratan, dengan $Flow_{\text{pertamina}} > Flow_{\text{esso}}$, ini menunjukkan $flow_{\text{Esso}}$ lebih padat dan kaku sehingga lebih tahan terhadap deformasi plastis maupun retak leleh dari pada Stabilitas Pertamina.

- c. Hasil pengujian MQ pada waktu dibuka lalu lintas terus membesar seiring dengan masa pelayanannya selesai, dapat dilihat dari mulainya dibukanya untuk lalu lintas sampai masa pelayanannya selesai pada temperatur pemadatan 100°C sampai temperatur pemadatan 160°C. Persyaratan untuk campuran AC-BC nilai $MQ > 200$ kg/mm. Kedua jenis aspal pada temperatur pemadatan 100°C sampai 160°C semua memenuhi persyaratan, dengan $MQ_{\text{pertamina}} < MQ_{\text{esso}}$, ini menunjukkan MQ_{Esso} dapat menerima beban lebih besar dan bersifat agak kaku dibandingkan dengan MQ Pertamina.
- d. Hasil pengujian Indeks Stabilitas Sisa pada waktu dibuka lalu lintas bervariasi ada yang membesar dan menurun seiring dengan masa pelayanannya selesai, dapat dilihat dari mulainya dibukanya untuk lalu lintas sampai masa pelayanannya selesai pada temperatur pemadatan 100°C sampai temperatur pemadatan 160°C. Persyaratan untuk campuran AC-BC nilai Indeks Stabilitas Sisa > 85%. Kedua jenis aspal pada temperatur pemadatan 100°C sampai 160°C semua memenuhi persyaratan, dengan $MQ_{\text{pertamina}} < MQ_{\text{esso}}$, ini menunjukkan MQ_{Esso} lebih awet dibandingkan dengan MQ Pertamina.

Dari keempat hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa nilai stabilitas aspal jenis *Esso* sampai akhir pelayanan lebih besar, nilai *flow* lebih kecil, nilai MQ lebih besar dan nilai Indeks Stabilitas Sisa pada akhir masa pelayanan yang lebih besar dari jenis Pertamina, menjadikan nilai aspal jenis *Esso* kinerjanya lebih baik dibandingkan dengan menggunakan aspal jenis Pertamina.

Dari hasil Penelitian pengaruh variasi tingkat kepadatan terhadap sifat *Marshall* dan Indeks Stabilitas Sisa berdasarkan spesifikasi baru pada AC-BC dengan menggunakan aspal jenis Pertamina dan aspal jenis *Esso* Penetrasi 60/70, memenuhi persyaratan untuk

konstruksi lapis lentur (*fleksibel pavement*) pada Lapis Beton (*AC-BC*) dengan beban lalu lintas berat (di atas 1.000.000 *ESA*), dimana ditegaskan untuk menghasilkan kinerja konstruksi jalan yang baik untuk volume lalu lintas yang tinggi harus dipilih target gradasi agregat gabungan yang lewat dibawah daerah restriksi.

5.2 Saran

Dari hasil pengujian bahan agregat – aspal, analisis rongga dan pengujian *Marshall* sebagai standar pengujian campuran beraspal panas, perlu beberapa saran untuk ditindak lanjuti, sebagai berikut :

- a. Disebabkan spesifikasi *density* untuk Laston (*AC-BC*) tidak disyaratkan untuk kepentingan dilapangan, dianjurkan untuk hasil *core drill* lapangan untuk campuran tidak boleh kurang dari 98 % hasil di laboratorium.
- b. Hasil analisis rongga dan pengujian *Marshall* di laboratorium, direkomendasikan temperatur pemadatan antara 110⁰C sampai 160⁰C untuk hal tersebut, disarankan :
 - 1).Temperatur pemcampuran rerata di AMP antara 160⁰C – 170⁰C,
 - 2).Temperatur pemadatan awal, dengan menggunakan *Tandem Roller* dilaksanakan 2 (dua) lintasan, Temperatur lapangan 120⁰C – 150⁰C, untuk menghindari terjadinya nilai stabilitas yang terlalu tinggi dan nilai *flow* yang menjadi terlalu rendah.
 - 3).Pemadatan antara, dengan menggunakan *Tire Roller* dilaksanakan 12 (dua belas) lintasan, Temperatur lapangan 100⁰C – 130⁰C.
 - 4).Pemadatan akhir, *Tandem Roller* dilaksanakan 2 (dua) lintasan, Temperatur lapangan di atas 100⁰C.
 - 5).Penggunaan air untuk melumasi roda supaya tidak terjadi pelekatan pada roda, dapat diperkenankan dengan jumlah seminimal mungkin, supaya tidak terjadi penurunan temperatur yang terlalu tinggi

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, (1998) , *Standard Spesification for transportation Material and Methodes of sampling and testing*, 13th Edition, Washington DC.
- Andik, S, (1998), *Pengaruh Jumlah Tumbukan terhadap Sifat Marshall pada Beton Aspal dan Split Mastik Aspal dengan grading tengah*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil FT-UGM, Yogyakarta.
- Ansori, (200), *Pengaruh Peningkatan jumlah Tumbukan terhadap Karakteristik Campuran Aspal Panas- Agregat berdasarkan Uji Marshall*, Tesis MSTT- UGM, Yogyakarta
- Bagus Priyatno, (2001) , *Metode Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (PRD) Berdasarkan Spesifikasi Yang Disempurnakan* , Dalam Penataran Dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Koperties Wilayah VI, Oktober 2001.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1999), *Pedoman Perencanaan Campura Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*, Penerbit PU
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Edisi 2000, *Perubahan Spesifikasi Campuran Aspal Panas dan lapisan pondasi*, Penerbit Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Tranportasi.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Edisi 2001, *Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas*, Penerbit Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Tranportasi.
- Gunawan, (1993), *Pengaruh Temperatur Pematatan pada Campuran Beton Aspal terhadap VIM, Modulus Kekakuan dan Koefisien Relatif Campuran*, Tugas Akhir, Program Studi Transportasi UGM, Yogyakarta.
- Hanter R.N, (1994), *Bitominous Mixtures in Road Construction*, Thomas Telford Services Ltd, London.
- Harold N. Atkins, PE, (1997), *Higway Materials, Soils and Concretes*, 3th Edition Prentice Hall, New Jersey.
- Henry Kesauli, (1997), *Pengaruh Efek Pemanasan ulang pada Durabilitas Campuran Beton Aspal* , Tugas Akhir, Program Studi Transportasi UGM, Yogyakarta.
- Kennedy, T.W, (1996), *The Bottom line: Superpave System Works*, The Superpave Asphalt Research Program, The University of texas at austin.

- Miftahul Fauziah, (2001), *Pengaruh Kadar Serbuk Belerang sebagai Filler Pengganti Terhadap Karakteristik Beton Aspal*, Tesis MSTT-UGM, Yogyakarta.
- Robert D.Krebs dan Richard D.Walker, (1971), *Highway Materials*, McGraw-Hill,Inc
- Rulia, K, (2002), *Pengaruh Variasi Peningkatan jumlah Tumbukan pada Campuran Beton Aspal dngan Agregat Batu Bulat terhadap Properties Marshall dan Nilai Kohesi*, Tesis MSTT-UGM, Yogyakarta.
- Samsudjarwo M, (2002), *Pengaruh Temperatur Pemasatan terhadap Deformasi Plastis dan Durabilitas Campuran Beton Aspal*, Tesis MSTT-UGM, Yogyakarta.
- Sartono W., (1990) *The Influences of Temperature at Compaction on Asphaltic Concrete Layer in Road Construction, Thesis*, Tidak Dipublikasikan, Technische Universiteit Delft, Delft.
- Shell Bitumen, (1990), *The Shell Bitumen Hand Book*.
- Silvia.S, (1999), *Perkerasan Lentur Jalan Raya* , Nova Bandung.
- Soeprapto.T, (1995), *Bahan dan Struktur Jalan Raya*, Biro Penerbit, Yogyakarta.
- The Asphalt Institute , *Construction of Hot Mix Asphalt Pavements Manual Series No. 22*, Second Edition Lexington USA.
- The Asphalt Institute (1996), *Superpave Mix Design*, Superpave Series No 2(sp-2) Lexington USA.
- The Asphalt Institute (1997) , *Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing* , Superpave Series No 1(sp-1) Lexington USA.
- Yang H. Huang, (1993), *Pavement Analysis and Design*, Prentice Hall New Jersey2 (sp-2) Lexington USA.
- The Asphalt Institute (1997) , *Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing* , Superpave Series No 1(sp-1) Lexington USA.
- Yusbar, (1998), *Pengaruh Temperatur Pemasatan pada Campuran Beton Aspal terhadap Nilai Struktural dan Durabilitas Campuran berbagai ukuran Maksimum Butiran*, Tesis MSTT-UGM, Yogyakarta.