

**LEMBAR PENGESAHAN  
UJIAN AKHIR**

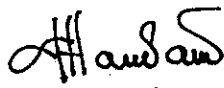
**EVALUASI SIFAT MARSHALL DAN NILAI  
STRUKTURAL CAMPURAN BETON ASPAL  
YANG MENGGUNAKAN BAHAN IKAT  
ASPAL PERTAMINA PEN 60/70 DAN  
ASPAL ESSO PEN 60/70**

Disusun oleh

Hemat Wahyudi  
L4A 000 029

Disetujui :

Pembimbing I



Dr. Ir. Sri Prabandiyani, M. Sc.  
NIP. 130 916 166

Pembimbing II



Ir. Djoko Purwanto, M. S.  
NIP. 131 753 989

**EVALUASI SIFAT MARSHALL DAN NILAI  
STRUKTURAL CAMPURAN BETON ASPAL  
YANG MENGGUNAKAN BAHAN IKAT  
ASPAL PERTAMINA PEN 60/70 DAN  
ASPAL ESSO PEN 60/70**

Disusun Oleh :

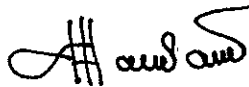
**Hemat Wahyudi**  
L4A 000 029

Dipertahankan di Depan Tim Penguji tanggal :  
2 Desember 2002

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

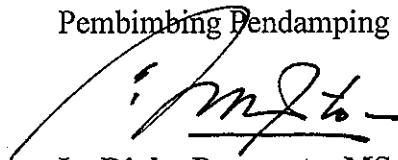
Semarang, 2 Desember 2002

Pembimbing Utama :



Dr. Ir. Sri Prabandiyani, M.Sc

Pembimbing Pendamping



Ir. Djoko Purwanto, MS

Tim Penguji :



1. Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA



2. Drs. Bagus Priyatna, ST, MT



3. Bagus Hario Setiadji, ST, MT

Universitas Diponegoro  
Program Pascasarjana  
Magister Teknik Sipil



Dr. Ir. Surin, M. Eng

## INTISARI

Aspal merupakan salah satu komponen kecil dalam konstruksi lapis lentur. Sebagai bahan ikat agregat, umumnya diperlukan kadar campuran 4 % - 10 % tergantung dari rencana. Perencanaan campuran perlu mempertimbangkan aspek teknis serta aspek lainnya termasuk kemudahan untuk mendapatkan material di lapangan. Oleh karena itu perlu suatu penelitian untuk mencari alternatif apabila terjadi kelangkaan stok material khususnya aspal. Penelitian ini membandingkan aspal keras produksi Pertamina dengan produksi Esso dengan standart Bina Marga.

Untuk mendapatkan hasil yang terbaik dilakukan penelitian secara laboratorium dengan mengetahui sifat Marshall dan Nilai Struktural (modulus kekakuan dan koefisien kekuatan relatif bahan) terhadap aspal keras Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Keras Esso Pen 60/70 pada campuran beton aspal pada kondisi kadar aspal optimum. Pengujian dilakukan dengan mendasarkan nilai VIM Marshall secara konvensional 6 % didapat nilai kadar aspal, nilai kadar aspal tersebut  $\pm 0,5$  % dilakukan tumbukan  $2 \times 400$  ditentukan nilai VIM PRD.

Hasil penelitian individual maupun campuran menunjukkan bahwa dari nilai stabilitas aspal keras jenis Pertamina Pen 60/70 ( 906 kg ) relatif lebih kecil dari pada nilai stabilitas aspal keras Esso Pen 60/70 ( 989 kg ). Dari sisi lain, rongga dalam campuran (VIM) Marshall maupun PRD menunjukkan bahwa Aspal keras Pertamina Pen 60/70 relatif lebih kecil dibandingkan dengan VIM aspal keras Esso Pen 60/70 mengakibatkan udara tidak masuk kedalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh. Rongga antar butir (VMA) Marshall menunjukkan bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih kecil dibandingkan dengan VMA aspal keras Esso Pen 60/70, sedangkan pada PRD terjadi kebalikannya. Rongga terisi aspal (VFB) Marshall maupun PRD menunjukkan bahwa Aspal keras Pertamina Pen 60/70 relatif lebih besar dibandingkan dengan VFB aspal keras Esso Pen 60/70. Hasil pengujian dengan beberapa karakteristik kedua jenis aspal memenuhi persyaratan Bina Marga.

## ABSTRACT

*Asphalt is a small component in the flexible pavement. As a binder, it is commonly needed 4 % - 10 % of total mixtures of the mix design. In the mixed design have to consider the technical aspect and another aspects including to obtain material easily on the site. There for, it is necessary to study the alternative material (asphalt) when asphalt not ready in the market any time. This study to compare both the asphalt Pertamina Pen 60/70 products with the asphalt Esso Pen 60/70 products base on the Bina Marga specifications.*

*In order to have the best result, it is necessary to study in the laboratory to know Marshall characteristic and Structural Values (modulus elasticity and material strengthening coefficients) on both of the asphalt Pertamina Pen 60/70 products with the asphalt Esso Pen 60 / 70 products on the asphalt optimum content. By using the VIM as a Marshall conventional 6 % find the asphalt optimum content value, based on it  $\pm 0,5$  % the VIM-PRD value on the 2 x 400 blow was determined.*

*From the individual test result as well as in the mixed result show that the stability value of the asphalt Pertamina Pen 60/70 products ( 906 kg ) is lower than the stability value of the asphalt Esso Pen 60/70 products ( 989 kg ). Beside that, the Voids in Mix (VIM) as well as the PRD value indicate that the result for the asphalt Pertamina Pen 60/70 products is lower than the VIM value of the asphalt Esso Pen 60/70 products. Which caused impervious layer and the air can not filled in the mixing to result in oksidation and to be damage the asphalts. The result study show that Voids in Mineral Aggregate (VMA) Marshall value of the asphalt Pertamina Pen 60/70 products is lower than the VMA value of the asphalt Esso Pen 60/70 products, but for the PRD value is inversion result. The Voids in Filled With Bitumen (VFB) Marshall as well as PRD value show that the asphalt Pertamina Pen 60/70 products bigger than the VFB value of the asphalt Esso Pen 60/70 products. The result study concerning the characteristics of both asphalt trade fulfill the requirement of Bina Marga specifications.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayat serta atas perkenan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul EVALUASI SIFAT MARSHALL DAN NILAI STRUKTURAL CAMPURAN BETON ASPAL YANG MENGGUNAKAN BAHAN IKAT ASPAL PERTAMINA PEN 60/70 DAN ASPAL ESSO PEN 60/70.

Tesis ini merupakan sebagian dari seluruh rangkaian persyaratan untuk mencapai derajat S-2 pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang. Untuk itu sangat mengharapkan bahwa tesis ini dapat dijadikan salah satu bahan pertimbangan bagi pemerhati dalam menangani permasalahan kerusakan jalan.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih yang tulus dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Sri Prabandiyani, M. Sc. dan Bapak Ir. Djoko Purwanto. MS selaku dosen pembimbing.
2. Bapak Dr. Bambang Riyanto, DEA dan Bapak Ir. Das'at Widodo, MS selaku Tim Pembahas.
3. Pengelola dan Pembantu Pengelola serta para dosen pada pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.
4. Kepala dan staf Balai Pengujian dan Informasi Konstruksi Dinas Permukiman dan Tata Ruang Propinsi Jawa Tengah.
5. Rekan-rekan mahasiswa MTS – Undip yang telah banyak memberikan masukan selama proses penulisan ini.

6. Tri Lestariningsih, Dra. istriku tercinta serta Undiptyo Yudanto, Vardu Muktiaji, Wirid Septasari anakku tersayang, atas kesabaran dan penuh pengertian dalam memberikan dorongan kepada penulis.

Semoga tesis ini bermanfaat bagi kita semua. Amin

Semarang, November 2002

Penulis

Hemat Wahyudi.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
INTISARI	ii
ABSTRACT	iii
PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR ISTILAH	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Aspal	4
2.1.1 Aspal Alam	5
2.1.2 Aspal Buatan	6
2.1.3 Komposisi Aspal	6
2.2 Karakteristik Campuran	7
2.2.1 Stabilitas	8
2.2.2 Durabilitas	8
2.2.3 Fleksibilitas	8
2.2.4 Skid Resistance	9
2.2.5 Fatigue Resistance	9
2.2.6 Workability	9
2.3 Perbedaan Karakteristik Campuran	10
2.4 Modulus Kekakuan Aspal	10
2.5 Konsep Dasar Perancangan	15
2.5.1 Perencanaan Berdasarkan Formula Resep	15
2.5.2 Perencanaan Berdasarkan Pengujian Emperikal	16
2.5.3 Perencanaan Berdasarkan Pengukuran Karakteristik	16
2.6 Hypotesis	17
2.7 Hasil Penelitian Yang Relevan	18
BAB III METODOLOGI	20
3.1 Tujuan Khusus	20
3.2 Metode Dan Desain	20
3.3 Material Untuk Penelitian	21

3.4	Prosedur Penelitian	21
3.4.1	Pengujian Aspal	21
3.4.2	Pengujian Agregat	22
3.4.3	Persyaratan Gradasi	23
3.4.4	Campuran	24
3.4.5	Pengujian Dengan Test Marshall	26
3.4.6	Pengukuran VIM – PRD	27
3.5	Analisa	27
3.5.1	Berat Jenis Aspal	27
3.5.2	Berat Jenis Bulk Campuran Agregat	27
3.5.3	Kelelehan	28
3.5.4	Stabilitas	28
3.5.5	Marshall Quotient	28
3.5.6	Density	28
3.5.7	Void in The Mix	29
3.5.8	Void Filled With Asphalt	29
3.5.9	Void in Mineral Agregat	29
3.6	Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian	30
3.7	Bagan Alir Perencanaan Campuran Dengan Pendekatan PRD	31
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>		<b>32</b>
4.1	Penelitian Aspal	32
4.1.1	Penetrasi	33
4.1.2	Titik Lembek	33
4.1.3	Titik Nyala	33
4.1.4	Daktilitas	34
4.1.5	Berat Jenis	34
4.1.6	Kelarutan Dalam CCL <sub>4</sub>	34
4.1.7	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	34
4.2	Pemeriksaan Agregat	35
4.3	Pemeriksaan Uji Marshall	37
4.3.1	Penentuan Kadar Aspal Optimum	38
4.3.2	Density	39
4.3.3	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	39
4.3.4	Rongga Terisi Aspal (VFB)	40
4.3.5	Stabilitas Marshall	40
4.3.6	Kelelehan (Flow)	41
4.3.7	Marshall Quotient (MQ)	41
4.3.8	Rongga Dalam Campuran (VIM Marshall)	42
4.3.9	Pemeriksaan PRD	42
4.4	Modulus Elastisitas	43
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>45</b>
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	46
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>47</b>



## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1. Klasifikasi Asbuton	5
2.2. Komposisi Aspal	7
2.3. Pengaruh Suhu Terhadap Modulus Elastisitas, Angka Poisson	10
3.1. Persyaratan Aspal	20
3.2. Persyaratan Agregat Kasar	21
3.3. Persyaratan Agregat Halus	21
3.4. Persyaratan Gradasi Agregat	23
3.5. Persyaratan Campuran Beraspal	25
3.6. Persyaratan Campuran Beraspal AC-WC	26
4.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Keras Pertamina Pen 60/70	32
4.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Keras Esso Pen 60/70	32
4.3. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Batu Pecah Ukuran Maks ¾"	35
4.4. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Batu Pecah Ukuran Maks ½"	35
4.5. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Batu	35
4.6. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Pasir	36
4.7. Hasil Uji Marshall Campuran Beton Aspal Menggunakan Aspal Keras Pertamina Pen 60/70	37
4.8. Hasil Uji Marshall Campuran Beton Aspal Menggunakan Aspal Keras Esso Pen 60/70	37
4.9 VIM-PRD Aspal Pertamina dan VIM-PRD Aspal Esso	43

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Nomogram Van der Poel	12
2.2. Nomogram Penentuan Kekakuan Campuran Oleh Shell	13
2.2. Komponen Dalam Campuran	14
3.1. Gradasi Agregat Campuran	24
4.1. Rentang Kadar Aspal Untuk Beton Aspal Menggunakan Aspal Keras Pertamina Pen 60/70 Yang Memenuhi Spesifikasi	38
4.2. Rentang Kadar Aspal Untuk Beton Aspal Menggunakan Aspal Keras Esso Pen 60/70 Yang Memenuhi Spesifikasi	38
4.3. Grafik Hubungan Antara Density Dengan Kadar Aspal	39
4.4. Grafik Hubungan Antara VMA Dengan Kadar Aspal	39
4.5. Grafik Hubungan Antara VFB Dengan Kadar Aspal	40
4.6. Grafik Hubungan Antara Stabilitas Marshall Dengan Kadar Aspal	40
4.7. Grafik Hubungan Antara Flow Dengan Kadar Aspal	41
4.8. Grafik Hubungan Antara MQ Dengan Kadar Aspal	41
4.9. Grafik Hubungan Antara VIM Marshall Dengan Kadar Aspal	42
4.10 VIM-PRD Aspal Pertamina dan VIM-PRD Aspal Esso	43
4.11 Grafik Hubungan Antara VIM - PRD Dengan Kadar Aspal	43

## DAFTAR ISTILAH

Aggregate	: Sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya
PRD	: Percentage Refusal Density / persen kepadatan mutlak
SST	: Setara Standar Sumbu Tunggal
ESA	: Equivalent Standard Single Exle
VIM	: Voids in Mix / rongga dalam campuran
VMA	: Voids in Mineral Aggregate / rongga diantara partikel agregat
VFB	: Voids in Filled With Bitumen / rongga terisi aspal
Laston	: Lapis Beton Aspal
Lataston	: Lapis Tipis Beton Aspal
Latasir	: Lapis Tipis Aspal Pasir
Filler	: Bahan pengisi
FF	: Filler Fraction / fraksi pengisi
FA	: Fine Aggregate / agregat halus
CA	: Coarse Aggregate / agregat kasar
AC-WC	: Asphalt Concrete - Wearing Coarse / beton aspal untuk lapis aus
SNI	: Standar Nasional Indonesia
AASHTO	: The American Association of State Highway and Transportation Officials

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran A. Pemeriksaan Aspal Keras Pen 60/70 Ex Pertamina :</b>	
1. Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Keras Pen 60/70 Ex Pertamina	49
2. Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Keras Pen 60/70 Ex Pertamina	50
3. Hasil Pemeriksaan Titik Nyala Aspal Keras Pen 60/70 Ex Pertamina	51
4. Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Keras Pen 60/70 Ex Pertamina	52
5. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Keras Pen 60/70 Ex Pertamina	53
6. Hasil Pemeriksaan Kelarutan Dalam CCL <sub>4</sub> Aspal Keras Pen 60/70 Ex Pertamina	54
7. Hasil Pemeriksaan Penetrasi Setelah Kehilangan Berat Aspal Keras Pen 60/70 Ex Pertamina	55
8. Hasil Pemeriksaan Kehilangan Berat Aspal Keras Pen 60/70 Ex Pertamina	56
9. Hasil Pemeriksaan Kelekatan Aspal Keras Pen 60/70 Ex Pertamina	57
10. Percobaan Marshall Aspal Pertamina Pen 60/70	58
11. Grafik Hubungan Parameter Campuran Aspal Dengan Kadar Aspal Pertamina Pen 60/70	59
12. Hasil Rancangan Campuran Rencana AC-WC Aspal Keras Pertamina Pen 60/70	60
13. Percobaan Kecepatan Mutlak Aspal Pertamina Pen 60/70	61
<b>Lampiran B. Pemeriksaan Aspal Keras Pen 60/70 Ex Esso :</b>	
14 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Keras Pen 60/70 Ex Esso	62
15 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Keras Pen 60/70 Ex Esso	63
16 Hasil Pemeriksaan Titik Nyala Aspal Keras Pen 60/70 Ex Esso	64
17 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Keras Pen 60/70 Ex Esso	65
18 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Keras Pen 60/70 Ex Esso	66
19 Hasil Pemeriksaan Kelarutan Dalam CCL <sub>4</sub> Aspal Keras Pen 60/70 Ex Esso	67
20 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Setelah Kehilangan Berat Aspal Keras Pen 60/70 Esso	68
21 Hasil Pemeriksaan Kehilangan Berat Aspal Keras Pen 60/70 Ex Esso	69
22 Hasil Pemeriksaan Kelekatan Aspal Keras Pen 60/70 Ex Esso	70
23 Percobaan Marshall Aspal Esso Pen 60/70	71
24 Grafik Hubungan Parameter Campuran Aspal Dengan Kadar Aspal Esso Pen 60/70	72
25 Hasil Rancangan Campuran Rencana AC-WC Aspal Keras Pen 60/70 Ex Esso	73
26 Percobaan Kecepatan Mutlak Aspal Esso Pen 60/70	74
<b>Lampiran C. Pemeriksaan Agregat :</b>	
27 Kombinasi Agregat AC WC-1	75
28 Analisa Pembagian Butiran Batu Pecah Ukuran Maks $\frac{3}{4}$ "	76
29 Analisa Pembagian Butiran Batu Pecah Ukuran Maks $\frac{1}{2}$ "	77
30 Analisa Pembagian Butiran Abu Batu	78
31 Analisa Pembagian Butiran Pasir	79
32 Penimbangan Material Untuk Percobaan Marshall	80
33 Penimbangan Material Untuk Percobaan PRD Aspal Pertamina	81
34 Penimbangan Material Untuk Percobaan PRD Aspal Esso	82
35 Hasil Pemeriksaan Keausan Batu Pecah Maks $\frac{3}{4}$ " Dengan Mesin Los Angeles	83
36 Hasil Pemeriksaan Indek Kepipihan Batu Pecah Maks $\frac{3}{4}$ "	84
37 Hasil Pemeriksaan Soundness Batu Pecah Maks $\frac{3}{4}$ "	85
38 Hasil Pemeriksaan Fraksi Lunak Batu Pecah Maks $\frac{3}{4}$ "	86
39 Hasil Pemeriksaan Sand Equivalent Pasir	87
40 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar Batu Pecah Ukuran Maks $\frac{3}{4}$ "	88
41 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar Batu Pecah Ukuran Maks $\frac{1}{2}$ "	89
42 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir	90
43 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Abu Batu	91
44 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum (GMM)	92

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Konstruksi jalan di Indonesia belakangan ini sebagian besar merupakan konstruksi lapis lentur, dimana lapis permukaan jalan menggunakan bahan ikat aspal. Salah satu material konstruksi lentur, aspal merupakan salah satu komponen umumnya hanya 4 – 10 % berdasarkan berat atau 10 - 15 % berdasarkan volume (Das'at W, 1999). Pada saat ini proyek – proyek jalan baik Proyek Rehabilitasi & Pemeliharaan Jalan, Proyek Peningkatan Jalan maupun Proyek Pembangunan Jalan yang dibiayai dengan dana dari bantuan luar negeri, bahan ikat untuk konstruksi lapis permukaan umumnya disyaratkan untuk menggunakan aspal Esso. Aspal Esso bukan produksi dalam negeri, tetapi aspal Esso harus didatangkan dari Singapura.

Dengan memperhatikan dari segi penghematan devisa, hal tersebut tentunya tidak menguntungkan negara. Dari sisi yang lain, Pertamina sebagai perusahaan negara disamping memproduksi bahan bakar minyak, juga memproduksi aspal sejenis untuk keperluan dalam negeri maupun untuk diekspor, yaitu aspal dengan Pen 60/70.

Berdasarkan fenomena tersebut di atas, perlu dikaji mengenai sifat Marshall dan Nilai Struktural (modulus kekakuan dan koefisien kekuatan relatif bahan) campuran beton aspal yang menggunakan bahan ikat aspal Pertamina dan aspal Esso. Dari hasil kajian tersebut, diharapkan dapat diketahui seberapa jauh perbedaan sifat Marshall dan Nilai Struktural Campuran Beton Aspal yang menggunakan kedua jenis aspal tersebut, dimana aspal mempunyai sifat akan berubah akibat panas dan umur, aspal akan menjadi kaku dan rapuh akhirnya daya adhesinya terhadap partikel agregat akan berkurang. Perubahan ini dapat diatasi / dikurangi jika sifat-sifat aspal dikuasi dan dilakukan langkah-langkah yang baik dalam proses pelaksanaan.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui sejauh mana perbedaan Sifat Marshall dan Nilai Struktural lapis perkerasan dengan menggunakan Aspal Pertamina bila dibandingkan dengan menggunakan Aspal Esso pada campuran aspal beton, pada kondisi kadar aspal optimum, sehingga dapat memberikan hasil yang terbaik secara laboratorium.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Penelitian masalah penggunaan aspal sebagai bahan ikat pada campuran beton aspal yang menggunakan Aspal Pertamina atau menggunakan Aspal Esso, merupakan suatu alternatif pada pengembangan ilmu pengetahuan tentang pemilihan bahan aspal yang akan dipergunakan dalam campuran beton aspal pada lapis perkerasan jalan.

Sementara ini, di dalam negeri telah tersedia aspal dari Pertamina, namun kebutuhan aspal dalam negeri terus meningkat, sedangkan kapasitas produksi terbatas. Pada bulan November hingga Desember 2000 kilang minyak di Cilacap mengalami over haul, praktis semua kegiatan produksi mengalami keterlambatan termasuk produksi aspalnya. Padahal, pada bulan-bulan tersebut permintaan akan aspal untuk menyelesaikan proyek jalan khususnya di Jawa – Bali dan juga di seluruh Indonesia pada umumnya masih banyak membutuhkan aspal untuk menyelesaikan proyek pada Tahun Anggaran 2000. Jalan satu satunya agar tidak terjadi kelambatan proyek, Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah (dahulu Direktorat Jenderal Bina Marga) Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah menginstruksikan ke seluruh proyek supaya menggunakan aspal produksi non Pertamina.

Dengan membandingkan penggunaan aspal produksi dalam negeri (Pertamina) dengan aspal produksi luar negeri (Esso) yang dilihat dari sisi nilai struktural campuran

beton aspal, bila terjadi kekosongan stok aspal dalam negeri, maka tidak di ragukan lagi bahwa proyek akan bisa mengatasi kesulitan mendapatkan aspal yang memenuhi persyaratan.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini dibatasi pada penggunaan aspal minyak Pertamina dibandingkan dengan aspal minyak Esso sebagai bahan ikat campuran beton aspal. Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium / Balai Pengujian dan Informasi Konstruksi Dinas Permukiman dan Tata Ruang Propinsi Jawa Tengah. Ruang lingkup penelitian terbatas pada :

1. Tinjauan terhadap nilai struktural campuran perkerasan dengan Aspal Minyak Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Esso Pen 60/70 dan tidak membahas jenis susunan lainnya yang sudah ditetapkan.
2. Memasukkan kadar aspal dengan variasi kadar aspal optimum  $\pm 1,5$  % dengan interval 0,5 %.
3. Pencampuran menggunakan Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak Standart Bina Marga, Dep. PU.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Aspal

Peramalan kondisi perkerasan jalan adalah bagian yang sangat sulit secara teknis dari seluruh rangkaian manajemen perkerasan jalan. Hal ini dikarenakan ketidak-tentuan perilaku perkerasan jalan di bawah perubahan beban jalan dan faktor lingkungan, dan kesulitan untuk mengkuantifikasikan beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi perkerasan jalan. (Mohamad, 1998).

Aspal merupakan material utama untuk konstruksi lapis perkerasan lentur jalan raya yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, sifat adhesif, kedap air serta mudah dikerjakan. Aspal mempunyai sifat plastis yang dengan kelenturannya mudah diawasi untuk dicampur dengan agregat. Lebih jauh lagi, aspal sangat tahan terhadap asam, alkali dan garam-garaman. Pada suhu atmosfer, aspal merupakan benda padat atau semi padat, tetapi aspal akan mudah dicairkan dengan cara dipanaskan, atau dilakukan pencampuran dengan pengencer petroleum dalam berbagai kekentalan, atau dengan membuat emulsi bahan alam yang terkandung dalam hampir semua minyak bumi yang diperoleh sebagai hasil penyulingan.

Aspal didefinisikan sebagai campuran yang terdiri dari bitumen dan mineral, sedangkan yang dimaksud dengan bitumen yaitu bahan yang berwarna coklat hingga hitam, berbentuk keras hingga cair, mempunyai sifat lekat yang baik, larut dalam  $CS_2$  atau  $CCL_4$ , mempunyai sifat berlemak dan tidak larut dalam air. Secara kimiawi bitumen terdiri dari gugusan aromatik, naphthen dan alkan sebagai bagian-bagian terpenting dan secara kimia fisika merupakan colloid, dimana butir-butir yang merupakan bagian yang padat (asphaltene) berada dalam fase cairan disebut malten (Moerwono, 1998). Aspal



digunakan untuk material jalan terdiri dari tiga jenis, yaitu : aspal alam, aspal buatan (bitumen), dan ter.

### 2.1.1 Aspal Alam

Di Indonesia, aspal alam ditemukan di P. Buton, Sulawesi Tenggara dan dikenal dengan Aspal Buton (Asbuton). Bitumen asbuton berasal dari minyak bumi yang dekat dengan permukaan bumi. Minyak bumi meresapi batu kapur yang porous kemudian melalui periode waktu yang panjang dan berlangsung secara alamiah serta terjadi penguapan fraksi ringan dari minyak. Mula-mula gas yang menguap kemudian diikuti oleh gasoline, kerosine, diesel oil yang akhirnya tinggal bitumen dalam batuan kapur.

Asbuton telah ditemukan  $\pm$  60 tahun yang lalu dan tersebar lebih dari 20 lokasi dengan deposit cukup besar, antara lain di Kabungka, Lawale dan Gala Babi. Kadar bitumen asbuton di Kabungka relatif rendah, yaitu 10 %-30 % dengan penetrasi 0-8 %, bila dibandingkan dengan asbuton di Lawe dan Gala Babi yang mengandung bitumen > 30 % dan penetrasi > 15% (Akbar, 2000). Berdasarkan kadar bitumen yang dikandungnya aspal buton dibedakan dengan kode B10, B13, B16, B20, B25, dan B30. (Aspal buton B10 adalah aspal buton dengan kadar bitumen rata-rata 10 %). Klasifikasi kadar bitumen asbuton dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Klasifikasi Asbuton*

Kode	Nama	Kadar Bitumen (%)
B 10	Asbuton B 10	9,0 – 11,4
B 13	Asbuton B 13	11,5 – 14,5
B 16	Asbuton B 16	14,6 – 17,9
B 20	Asbuton B 20	18,0 – 22,5
B 25	Asbuton B 25	22,6 – 27,4
B 30	Asbuton B30	27,5 – 32,5

Sumber : *Asbuton, PT. Sarana Karya, 1999.*

### 2.1.2 Aspal Buatan

Aspal buatan adalah bitumen yang merupakan jenis aspal hasil penyulingan minyak bumi yang mempunyai kadar parafin yang rendah dan biasa disebut paraffin base crude oil. Minyak bumi banyak mengandung gugusan aromatik dan siklik sehingga kadar aspalnya tinggi dan kadar parafinnya rendah. Aspal buatan terdiri dari berbagai bentuk padat, cair, dan emulsi.

#### ❖ Aspal Padat

Aspal padat atau bitumen ini merupakan hasil penyulingan minyak bumi yang kemudian disuling sekali lagi pada suhu yang sama tetapi dengan tekanan rendah (hampa udara), sehingga dihasilkan bitumen yang disebut dengan straightrun bitumen.

#### ❖ Aspal Cair

Aspal cair adalah aspal keras yang dicampur dengan pelarut. Jenis aspal cair tergantung dari jenis pengencer yang digunakan untuk mencampur aspal keras tersebut.

#### ❖ Ter

Ter adalah istilah umum cairan yang diperoleh dari mineral organik seperti kayu atau batu-bara melalui proses pemijaran atau destilasi pada suhu tinggi tanpa zat asam. Sedangkan untuk konstruksi jalan dipergunakan hanya ter yang berasal dari batu-bara, karena ter kayu sangat sedikit jumlahnya.

### 2.1.3 Komposisi Aspal

Aspal sebagai bahan pengikat pada aspal campuran panas, mempunyai sifat fisik yang ditentukan oleh komposisi kimia. Unsur hidrokarbon yang sangat kompleks, sangat sukar untuk memisahkan molekul-molekul yang membentuk aspal tersebut.

Disamping itu setiap sumber dari minyak bumi menghasilkan komposisi molekul yang berbeda.

Komposisi dari aspal terdiri dari Asphaltene dan Maltene. Asphaltene merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang larut dalam heptane. Maltene larut dalam heptane, merupakan cairan kental yang terdiri dari resin dan oil. Resin adalah cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi dari aspal, merupakan bagian yang mudah hilang atau berkurang selama masa pelayanan jalan. Sedangkan oil yang berwarna lebih muda merupakan media dari Asphaltene dan resin (Sukirman, 1999). Faktor kimia yang mempengaruhi kandungan fisik aspal merupakan dasar pemahaman faktor yang mengontrol kegunaan aspal itu sendiri. Komposisi kimia aspal dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 *Komposisi Kimia Aspal Pertamina*

Unsur Kimia	Asphalt Cement Penetrasi 60/70
• Asphaltene	19,93 %
• Maltene	-
• Basa nitrogen	27,88 %
• Accidafin -1 (A1)	13,45 %
• Accidafin -2 (A2)	20,40 %
• Parafin (P)	18,34 %

Sumber : PT. Pertamina Cilacap, 2000

## 2.2 Karakteristik Campuran

Aspal dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan pengikat, akan memberikan ikatan yang kuat antara aspal dengan agregat. Sebagai bahan pengisi, aspal akan mengisi rongga antara butir agregat dan pori yang ada dari agregat (Sukirman., 1999). Karakteristik campuran yang dimiliki oleh beton aspal adalah :

### 2.2.1 Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan campuran untuk melawan deformasi atau perubahan bentuk yang disebabkan oleh lalulintas yang harus dipikul. Stabilitas tergantung dari gaya gesek (internal friction) dan kohesi (cohesion), sedangkan internal friction tergantung pada surface texture, gradasi agregat, bentuk kombinasi dari gaya gesek dan kemampuan saling mengunci dari agregat pada campuran. Tahan gesek akan bertambah seiring dengan bertambahnya kekerasan dan area permukaan kontak agregat (Asphalt Insitute, 1983).

### 2.2.2 Durabilitas

Durabilitas adalah keawetan / daya tahan terhadap kemampuan lapis keras untuk menahan terjadinya disintegrasi karena pengaruh cuaca dan lalu-lintas. Pengaruh yang dapat mempertinggi durabilitas adalah jumlah aspal yang tinggi, gradasi yang rapat serta pelaksanaan pemadatan yang memenuhi persyaratan.

### 2.2.3 Fleksibilitas

Fleksibilitas lapis perkerasan adalah sifat untuk menyesuaikan perubahan bentuk yang terjadi di bawahnya tanpa mengalami retak-retak, sifat ini bertolak belakang dengan stabilitas, maka dalam perencanaan, kedua sifat ini diusahakan dicapai optimumnya, karena usaha memaksimumkan sifat yang satu berarti meminimumkan sifat yang lainnya. Umumnya fleksibilitas campuran aspal akan tinggi dengan menambah kadar aspal, menggunakan aspal dengan daktilitas tinggi, mengurangi tebal lapis keras dan menggunakan gradasi agregat relatif terbuka.

#### 2.2.4 Skid Resistance (kekesatan)

Kekesatan adalah kemampuan lapis permukaan (surface) 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. Nilai kekesatan yang tinggi dapat diperoleh dengan cara menggunakan agregat dengan mikrotektur tinggi dan nilai abrasi rendah, sehingga membuat kondisi permukaan mempunyai makrotektur tinggi, misalnya dengan chipping, dan mengurangi kadar aspal.

#### 2.2.5 Fatigue Resistance (ketahanan terhadap kelelahan)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan lapisan untuk menahan lendutan berulang dari roda kendaraan yang melintasi perkerasan lapisan campur aspal. Ketahanan terhadap fatik adalah kemampuan lapisan untuk menahan lendutan berulang tersebut tanpa terlalu cepat mengalami retak.

#### 2.2.6 Workability

Workability atau kemudahan terhadap pelaksanaan adalah merupakan tuntutan yang terutama, menonjol dalam proses penghamparan dan pemadatan. Campuran yang di laboratorium menunjukkan stabilitas yang tinggi bukan tidak mungkin di lapangan ternyata sulit dihampar dan atau dipadatkan. Kesulitan pencampuran jarang terjadi bila agregat cukup kering dan binder yang dipergunakan mempunyai viskositas pencampuran yang dapat dicapai pada suhu yang wajar.

### 2.3 Perbedaan Karakteristik Campuran

Ahmad (2001) berpendapat bahwa campuran beton aspal yang menggunakan aspal keras merk Pertamina Pen 60/70 dan aspal keras merk Esso pen 60/70 adalah

sebagai berikut : makin tinggi suhu maka nilai modulus elastis aspal makin turun, sedangkan angka Poisson cenderung akan terjadi kebalikannya seperti dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pengaruh Suhu Terhadap Modulus Elastisitas, Angka Poisson

Suhu (o C)	Modulus Elastisitas (Mpa)		Angka Poisson	
	Pertamina	Esso	Pertamina	Esso
25	298,5	324,90	0,391	0,369
50	98,89	120,51		
80	52,04	62,18	0,554	0,511

Sumber : Ahmad, 2001.

## 2.4 Modulus Kekakuan Aspal

Untuk memperkirakan besar modulus campuran dilakukan prediksi modulus kekakuan bitumen (aspal) terlebih dahulu. Ada beberapa rumusan empiris untuk menentukan nilai modulus kekakuan aspal sebagai berikut :

### 1. Metode Brown. SF (1980), untuk dapat menghitung nilai kekakuan bitumen ( $S_{bit}$ )

dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan dari Ullidz seperti berikut ini :

$$S_{bit} = 1,157 \cdot 10^{-7} \cdot (T_w)^{-0,368} \cdot 2,7-PI_r \cdot (SP_r - T)^5 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

$S_{bit}$  : kekakuan bitumen / bitumen stiffnes (MPa)

$T_w$  : lama pembebanan

$T$  : temperatur perkerasan yang ditinjau ( $^{\circ}C$ )

$PI_r$  : recovered penetration index

$SP_r$  : recovered softening point ( $^{\circ}C$ )

Untuk memperoleh nilai  $S_{bit}$  diperlukan data-data sebagai berikut :

- a. Lama pembebanan ( $T_w$ ). nilai ini berkaitan dengan sifat rheologi aspal, dimana semakin lama pembebanannya, sifat aspal berubah dari elastik menjadi viscous.

Dan untuk mendapatkan nilai  $T_w$  digunakan rumus 2.2

$$\text{Log } T_w = 5 \cdot 10^{-4} H - 0,2 - 0,94 \log V \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

H : tebal perkerasan (mm)

V : kecepatan kendaraan (km / jam) atau  $T_w = L / V$

L : diameter tapak roda

- b. Titik lembek aspal (SPr), penggunaan nilai ini untuk kondisi setelah dihamparkan, yang dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\text{SPr} = 98,4 - 26,35 \log Pr \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

Pr : penetrasi pada kondisi dihamparkan

Pr : 0,65 Pi

Pi : penetrasi pada kondisi asli

- c. Indek penetrasi aspal (Pir), yaitu nilai yang menyebutkan sifat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur. Nilai diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.4)

$$\text{Pir} = \frac{20\text{SPr} + 500 \log Pr - 1951,4}{- 50 \log Pr + \text{SPr} + 120,14} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan batas nilai Pir = - 1 sampai dengan + 1.

## 2. Metode Van der Poel

Bitumen Stiffness ( $S_{bit}$ ) merupakan perbandingan dari tegangan dan regangan pada aspal yang merupakan fungsi dari lamanya pembebanan, perbedaan temperatur (antara  $T_{800}$  / titik lembek dengan suhu perkerasan) dan indik penetrasi.

Nilai kekakuan (bitumen stiffness) dapat dilihat diperkirakan dengan bantuan nomogram yang dikembangkan oleh Van der Poel (Gambar 2.1), data yang diperlukan adalah :

- a. Waktu pembebanan (t) = detik, berdasarkan rumus emperis

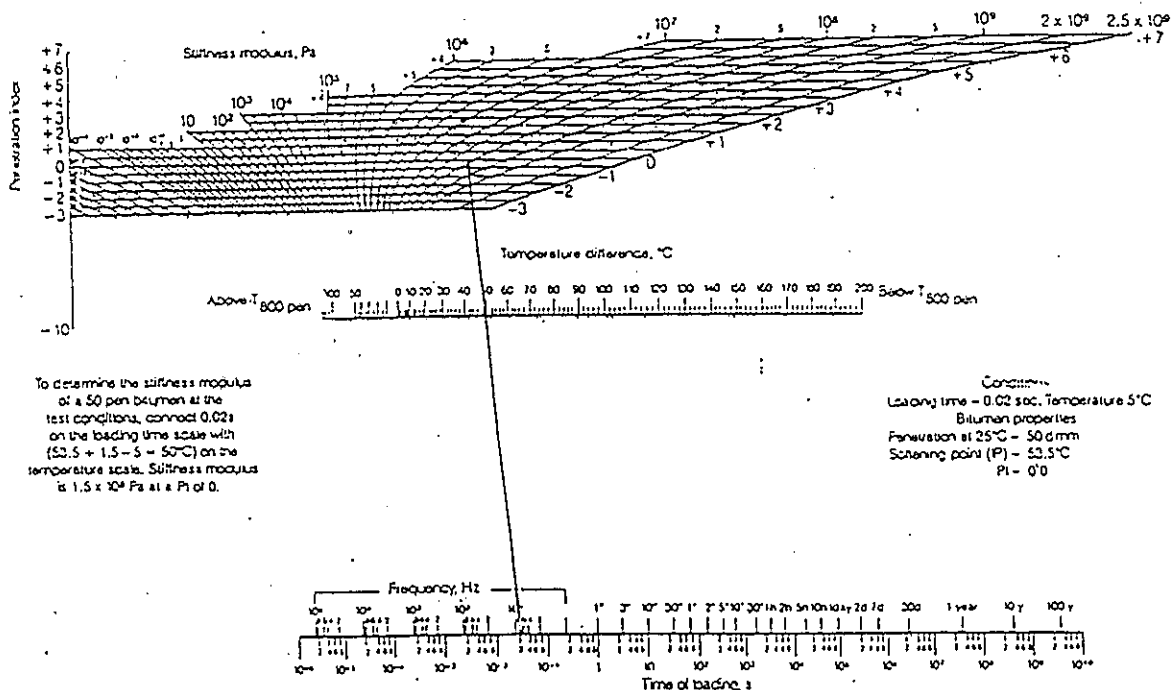
$$tw = L / V (dt)$$

dimana L adalah tapak roda (27,7778 cm)

- b. Temperatur rencana perkerasan (T) °C
- c. Titik lembek atau softening point (S<sub>pr</sub>)
- d. Indek Penetrasi (PI), dapat dihitung dari temperatur titik lembek (T<sub>v</sub>) dan penetrasi aspal setelah diharapkan dengan persamaan sbb :

$$PI = \frac{20T_v + 500 \log(\text{pen}) - 1951,4}{T_v - 50 \log(\text{pen}) + 120,14} \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan batas nilai Pir = - 1 sampai dengan + 1.



- Nomograph for determining the stiffness modulus of bitumens<sup>(15)</sup>

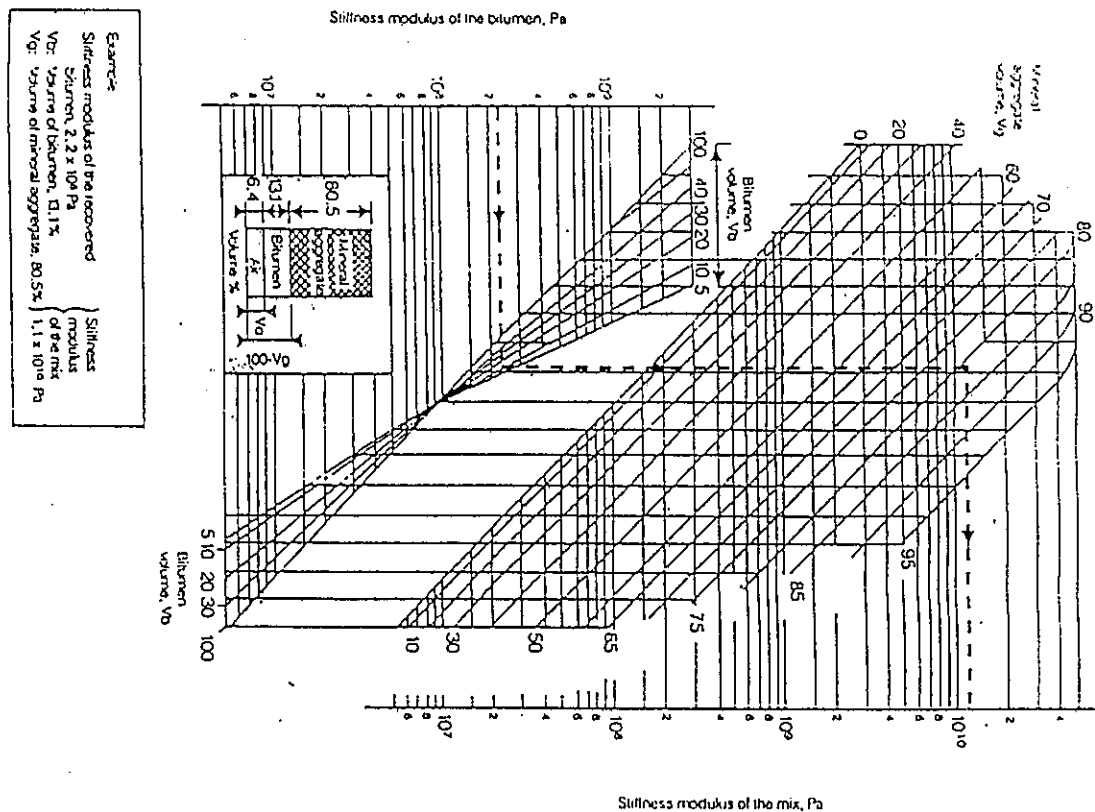
Gambar 2.1 Nomogram Van der Poel



3. Metode Shell (1972). Untuk menentukan kekakuan campuran (mix stiffness) yang dikembangkan oleh Shell Oil selama lebih 20 tahun, digunakan nomogram (Gambar 2.2) untuk mencari modulus bitumen dan nilai ini sebagai input dalam penentuan modulus kekakuan campuran. Input dalam penentuan modulus kekakuan yaitu :
- Modulus kekakuan bitumen (aspal)
  - Perbandingan volume penyusun campuran.

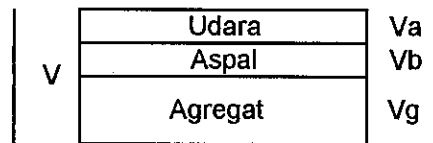
Komposisi dari volume campuran dalam kondisi padat dapat dilihat dengan :

- $V_g$  : prosentase volume agregat  
 $V_a$  : prosentase volume udara  
 $V_b$  : prosentase volume bahan ikat aspal  
 $V$  : volume total



Gambar 2.2 Nomogram penentuan kekakuan campuran oleh Shell

Komposisi komponen dalam campuran dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah



Gambar 2.3 *Komponen dalam campuran*

Apabila dalam campuran terdapat komposisi masing-masing sebagai berikut :

- a. P1 prosentase dari agregat g1, dengan berat jenis G1
- b. P2 prosentase dari agregat g2, dengan berat jenis G2
- c. Pi prosentase dari agregat gi, dengan berat jenis Gi
- d. Pb prosentase dari aspal dalam campuran, dengan berat jenis Gb

Untuk mendapatkan nilai-nilai yang dibutuhkan guna menentukan nilai kekakuan campuran lebih dahulu dicari nilai berat jenis agregat campuran (Gsb) dengan persamaan 2.6

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots P_i}{(P_1/G_1) + (P_2/G_2) + \dots (P_i/G_i)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Berat jenis campuran maksimum teoritis (Gmm) :

$$G_{mm} = 100 / (100 - P_b)/G_{sb} + P_b/G_b \dots\dots\dots(2.7)$$

Berat jenis campuran nyata (Gmb) : nilai diperoleh dengan percobaan pemindahan air.

Berat jenis agregat padat (Gsc)

$$G_{sc} = G_{mb} \times (100 - P_b) / 100 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dari nilai-nilai diatas digunakan untuk menentukan perbandingan volume masing-masing elemen penyusun.

Prosentase volume agregat (Vg)

$$V_g = 100 \times G_{sc} / G_{sb} \dots\dots\dots(2.9)$$

Prosentase volume udara ( $V_a$ )

$$V_a = 100 \times (1 - G_{mb} / G_{mm}) \dots\dots\dots(2.10)$$

Prosentase Volume bahan ikat aspal ( $V_b$ )

$$V_b = 100 \times G_{mb} / G_{mm} - V_g \dots\dots\dots(2.11)$$

## 2.5 Konsep Dasar Perancangan

Konsep dasar suatu konstruksi lapis perkerasan yang terpenting yaitu :

- a. Aman. Adalah mampu menahan beban tanpa terjadi kerusakan / deformasi yang berarti, sehingga konstruksi mampu menerima beban yang bekerja di atasnya.
- b. Nyaman. Yaitu suatu konstruksi lapis keras harus mempunyai tingkat kerataan sehingga tidak menimbulkan guncangan terhadap kendaraan.
- c. Ekonomis. Konstruksi lapis keras membutuhkan biaya yang murah terhadap pembangunan dan perawatan serta sangat minim biaya yang dikeluarkan terhadap pemakai jalan.

### 2.5.1 Perencanaan Berdasarkan Formula Resep

Prosedur campuran Hot Rolled Asphalt (HRA) yang dikembangkan di Inggris adalah salah satu contoh dari formula resep untuk campuran. Resep rencana campuran diperoleh dari akumulasi pengalaman setempat selama lebih setengah abad. Namun demikian, peningkatan volume lalu lintas dan beban gandar kendaraan, dan keinginan untuk lebih mengoptimalkan bahan setempat telah mendorong perkembangan prosedur perencanaan campuran yang lebih terukur.

### 2.5.2 Perencanaan Berdasarkan Pengukuran Karakteristik Fundamental Campuran

Karakteristik campuran berdasarkan kinerja adalah karakteristik campuran yang berhubungan dengan respon perkerasan jalan terhadap beban. Setelah sasaran kinerja tertentu didefinisikan maka target karakteristik campuran dapat ditetapkan. Atau sebaliknya, dengan mengetahui karakteristik campuran maka kinerja perkerasan dapat diperkirakan. Project Strategic Highway Research Program di Amerika Serikat menghasilkan spesifikasi campuran dan sistem perencanaan analisa campuran berbasis kinerja merupakan salah satu yang termaju saat ini. Produknya dikenal sebagai Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave).

### 2.5.3 Perencanaan Berdasarkan Pengujian Emperikal

Metode Marshall untuk perencanaan campuran aspal dikembangkan di Amerika Serikat untuk campuran aspal beton (bergradasi menerus). Walaupun prosedur Marshall mengeluarkan besaran-besaran namun pada dasarnya metode Marshall adalah prosedur emperikal. Batasan nilai pengujian seperti stabilitas dan flow ditetapkan berdasarkan pengamatan kinerja di lapangan. Kekurangan metode ini adalah domain dimana validitasnya berlaku terbatas pada kondisi dimana metode tersebut dikembangkan. Ekstrapolasi penggunaan metode Marshall pada kondisi dan bahan yang berbeda dengan kondisi bahan dimana metode empirik ini dikembangkan dapat menimbulkan kerancuan dalam menganalisis suatu rencana campuran (Mahboub et al.1991).

Presedur Marshall mempunyai sejumlah kelemahan tetapi peosedur ini praktis, tersedia dimana-mana sehinga merupakan de facto standard dalam teknologi campuran aspal di Indonesia. Selain untuk perencanaan aspal beton, metode ini telah digunakan dalam perencanaan campuran aspal lainnya seperti Split Mastic Asphalt (SMA), dan campuran-campuran yang menggunakan Asbuton. Bahkan penggunaannya untuk merencanakan campuran Hot Rolled Sheet (HRS) telah dipraktekkan di Indonesia

sebelum di Inggris sendiri menerapkannya untuk Hot Rolled Asphalt (HRA). Atas dasar itu maka prosedur Marshall tetap dipertahankan dalam spesifikasi baru campuran. Namun kriteria yang digunakan terutama didasarkan kepada kinerja campuran yang dikembangkan dalam pengalaman lokal di Indonesia ditambah kajian dari sumber-sumber lain.

### 3. Perencanaan Campuran Kepadatan Mutlak (Percentage Refusal Density / PRD)

Kepadatan mutlak dimaksudkan sebagai kepadatan tertinggi (maksimum) yang dicapai sehingga campuran tersebut praktis tidak dapat menjadi lebih padat lagi. Kepadatan mutlak adalah masa persatuan volume termasuk rongga contoh benda uji yang dipadatkan sampai mencapai kepadatan mutlak sesuai dengan metode pengujian tertentu. Perencanaan campuran beraspal dengan metode PRD dilakukan sebagai pendekatan atau simulasi adanya pemadatan oleh lalu lintas. Campuran beraspal yang dirancang untuk melayani lalu lintas berat, dikontrol berdasarkan pemilihan bahan dan komposisi campuran rencana.

PRD atau derajat kepadatan mutlak merupakan ratio antara kepadatan mutlak benda uji lapangan terhadap kepadatan refusal dalam satuan persen. PRD adalah suatu ukuran relatif dari suatu contoh campuran beraspal, yang dapat digunakan untuk pekerjaan pengendalian mutu. PRD dinyatakan sebagai persentase kepadatan bulk contoh inti terhadap contoh tersebut setelah dipanaskan dan dipadatkan kembali sampai kepadatan refusal. Pada umumnya nilai minimum PRD disyaratkan 93 %.

## 2.6 Hipotesis

Sehubungan dengan pembahasan penelitian kepadatan mutlak ini, ada beberapa pernyataan hipotesis yang akan muncul diantaranya :

1. Modulus kekakuan campuran aspal dipengaruhi simulasi kepadatan dan berat lalu lintas.
2. Dengan persyaratan yang sama, akan didapat hasil campuran yang sama tergantung dari sifat bahan aspalnya.
3. Mempengaruhi sifat Marshall campuran beton aspal.

## **2.7 Hasil Penelitian Yang Relevan**

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti, yaitu :

1. Ahmad (2001) mengadakan penelitian pengaruh variasi suhu perkerasan terhadap modulus elastisitas dan angka poisson campuran beton aspal yang menggunakan aspal keras AC 60/70 merek Pertamina dan aspal keras AC 60/70 merek Esso. Hasilnya menunjukkan bahwa makin tinggi suhu pengujian, makin tinggi angka poisson namun nilai modulus campuran beton aspal makin turun.
2. Muhammad Ali Akbar (2000) mengadakan penelitian terhadap evaluasi nilai struktural asmin ( Pertamina) dengan modifier bitumen asbuton. Ia menyatakan bahwa kenaikan kadar bitumen aspal dalam campuran aspal + BE (Bitumen Epoure) menyebabkan kenaikan nilai penetrasi, kenaikan titik lembek, kenaikan nilai modulus aspal.
3. Ansori (2000) mengadakan penelitian pengaruh peningkatan jumlah tumbukan terhadap karakteristik campuran aspal panas – agregat berdasarkan uji Marshall. Hasilnya menunjukkan bahwa pengaruh peningkatan jumlah tumbukan terhadap properties Marshall test

menyebabkan nilai properties Marshall density, VFB, stabilitas, dan MQ naik, sedangkan nilai VMA dan VIM turun hingga mencapai nilai optimum.

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Tujuan Khusus

Penelitian ini dilakukan untuk perencanaan campuran beraspal panas dimana contoh benda ujinya dipadatkan sesuai dengan tata cara penentuan kepadatan mutlak (Percentage Refusal Density) Bina Marga 1999 untuk lapis beton aspal. Untuk lebih memfokuskan penelitian, mengingat banyaknya jenis lapis perkerasan campuran beraspal dipilih lapis perkerasan AC-WC. Pemilihan ini dilakukan dengan :

- a. Membatasi jumlah sampel yang harus dibuat dan diteliti.
- b. Lapis perkerasan AC-WC adalah dipergunakan untuk lapis perkerasan jalan.
- c. Kemudahan memperoleh bahan, terutama agregat kasar yang tersedia.

#### 3.2 Metode dan Desain

Tahap awal penelitian yang dilakukan di laboratorium adalah memeriksa mutu bahan aspal dan mutu agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran. Sesuai dengan spesifikasi (Bina Marga 1999) mutu bahan untuk lapis perkerasan beraspal dapat dilihat pada Tabel 3.1 s/d Tabel 3.3

Tabel 3.1 *Persyaratan Aspal*

No.	Jenis Pemeriksaan	Syarat		Satuan
		Minimum	Maksimum	
1	Penetrasi 25 * C, 100 gr, 5 detik	60	79	0,1 mm
2	Titik lembek ring dan bola	48	-	derajat C
3	Titik nyala (Cleveland open cup)	200	-	derajad C
4	Daktilitas	100	-	cm
5	Berat jenis 25 * C	1	-	
6	Kelarutan dalam CCL4	99	-	persen berat
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	persen
8	Kehilangan berat	-	0,4	persen berat



Tabel 3.2 *Persyaratan Agregat Kasar*

No.	Jenis pemeriksaan	Syarat	Satuan
1	Keausan	< 40	persen
2	Kelekatan terhadap aspal	> 95	persen
3	Berat Jenis Bulk	> 2,5	gr / cc
4	Berat Jenis SSD	> 2,5	gr / cc
5	Berat Jenis Apparent	> 2,5	gr / cc
6	Penyerapan	< 3	persen

Tabel 3.3 *Persyaratan Agregat Halus*

No.	Jenis pemeriksaan	Syarat	Satuan
1	Sand equivalent	> 50	persen
2	Berat Jenis Bulk	> 2,5	gr / cc
3	Berat Jenis SSD	> 2,5	gr / cc
4	Berat Jenis Apparent	> 2,5	gr / cc
5	Penyerapan	< 3	persen

Perencanaan campuran percobaan laboratorium dilakukan dalam tiga tahap, yaitu menentukan jenis campuran yang diperlukan, memilih beberapa fraksi agregat yang akan dipergunakan, mencampur masing-masing agregat sesuai dengan proporsi.

### 3.3 Material Untuk Penelitian

Material yang dipergunakan dalam penelitian ini diambil dari beberapa tempat :

- a. Agregat batuan kasar, dan agregat batuan halus dari Kulon Progo
- b. Aspal produksi Pertamina pen 60/70, PT. Pertamina Cilacap
- c. Aspal produksi Esso pen 60/70, PT. Asphalt Bangun Sarana Jakarta

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Pengujian Aspal

Agar kualitas aspal dapat dijamin untuk dapat memenuhi umur rencana pada pekerjaan perkerasan jalan beberapa hal yang perlu diadakan pengujian adalah :

- a. Pengujian penetrasi, bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Peralatan yang diperlukan sesuai standar AASHTO T 49 68.

- b. Pengujian terhadap titik leleh. Temperatur pada saat dimulai menjadi lunak tidak sama pada setiap hasil produksi aspal walaupun mempunyai nilai petetrasi yang sama, oleh karenanya temperatur tersebut dapat diperiksa dengan mengikuti prosedur SK SNI.M 20 1990 F.
- c. Pemeriksaan daktilitas, tujuannya untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri, yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pemeriksaan mengikuti prosedur PA 0306 76 (AASHTO T 51 74)
- d. Pemeriksaan kelarutan  $CCL_4$  dilakukan untuk menentukan jumlah bitumen yang larut dalam karbon tetraklorida. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA 0305 76 (AASHTO T 44 70).
- e. Pemeriksaan titik nyala yang meliputi pemeriksaan titik nyala dan titik bakar untuk aspal keras. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA 0303 76 (AASHTO T 48 74).
- f. Pemeriksaan berat jenis. Berat jenis adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu, yaitu  $25^0$  C. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA 0307 76 (AASHTO T 228 68).
- g. Pemeriksaan kehilangan berat dilakukan untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. Prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T 47 68.

### 3.4.2 Pengujian Agregat

Agar kualitas agregat dapat dijamin untuk dapat memenuhi umur rencana pada pekerjaan perkerasan jalan, maka beberapa hal yang perlu diadakan pengujian adalah :

- a. Diperlukan analisa saringan untuk agregat kasar maupun jenis agregat halus, dimana prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T47-82 atau SNI.03-1969-1990.

- b. Pengujian terhadap soundness (keawetan agregat), dimana prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T107-74.
- c. Pengujian kelekatan agregat dengan prosedur pemeriksaan mengikuti PB-0205-74 atau SNI.03-2439-1991.
- d. Pengujian terhadap keausan agregat dimana prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T98-76 atau SNI.03-2417-1991.
- e. Pengujian terhadap berat jenis untuk penyerapan agregat kasar dengan prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T85-74 atau SNI.03-1969-1990.
- f. Pengujian terhadap berat jenis untuk penyerapan agregat halus dengan prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T84-74 atau SNI.03-1070-1990.
- g. Pengujian terhadap sand equivalent dengan peralatan : stop watch, alat spatula dan oven yang panasnya  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Alat untuk melihat sand equivalent seperti silinder ukur, sifon, tutup karet, kaki pemberat, irigator dan tabung gas. Cawan ukuran 57 mm dengan isi 85 ml dan corong. Prosedur pemeriksaan mengikuti SNI.03-4428-1997.

### 3.4.3 Persyaratan Gradasi

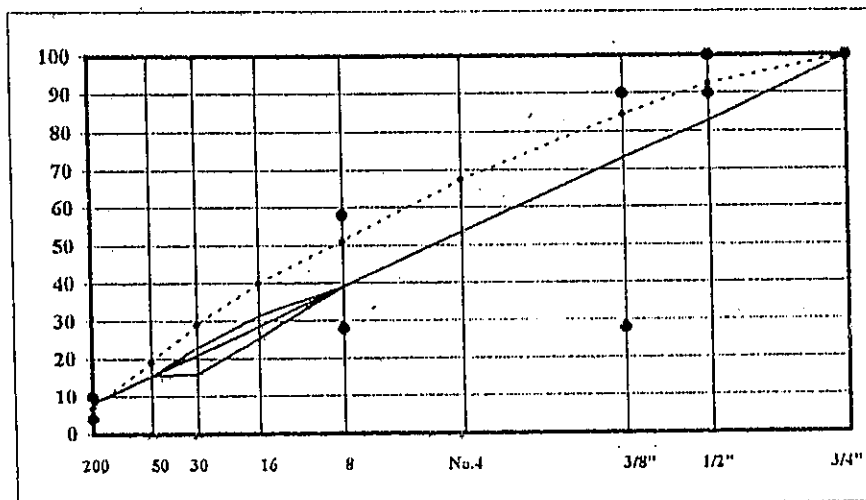
Persyaratan gradasi agregat untuk campuran beraspal oleh Bina Marga 1999 sebagaimana ada pada Tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 *Persyaratan Gradasi Agregat*

Ukuran		HRSS	HRSS	HRSS	HRSS	AC	AC
(mm)	(inch)	A	B	WC	BC	WC	BC
37,5	1,5						100
25	1					100	90 - 100
19	3 / 4	100	100	100	100	100 - 90	<=90
12,5	1 / 2			75 - 85	65 - 100		
9,5	3 / 8	90 - 100		75 - 85	35 - 55	23 - 58	19 - 45
2,36	# 8	90 - 100		50 - 72	35 - 55	23 - 58	19 - 45
0,600	# 30			35 - 60	15 - 35		
0,075	# 200	10. - 15		6. - 12	2. - 9	2. - 8	1. - 7

Sumber, Bina Marga, 1999

Dengan persyaratan gradasi lainnya seperti yang disebutkan dalam spesifikasi Bina Marga tersebut untuk lapis perkerasan beraspal AC-WC dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Gradasi Agregat Campuran

Pada penelitian ini digunakan gradasi untuk AC-WC1 dengan persyaratan :

- Gradasi agregat campuran yang dihasilkan harus sejauh mungkin dari kurva Fuller.
- Gradasi yang dihasilkan tak boleh memotong zone tertutup (restricted zone):
- Gradasi agregat yang dihasilkan terletak dalam titik kontrol.

Pemilihan gradasi (untuk AC-WC1) dilakukan sebagai berikut :

- Parameter masing-masing agregat diperiksa di laboratorium. Parameter yang diperlukan untuk penyusunan ini adalah gradasi masing-masing agregat.
- Dengan menggunakan kriteria bahwa gradasi campuran yang dihasilkan, sbb:
  - Sejauh mungkin dari kurva Fuller (garis tebal dalam grafik)
  - Tidak memotong zona tertutup (restricted zone)
  - Terletak di dalam titik kontrol (dot tebal pada grafik)
- Dengan menggunakan bantuan program spreadsheet dan grafik komputer yang berdasarkan coba-coba, porsi (prosentase terhadap berat) dari masing-masing agregat dicoba, sehingga kombinasinya memenuhi kriteria tersebut pada butir 2

4. Untuk melaksanakan percobaan selanjutnya, masing-masing agregat ditimbang sesuai dengan porsi (posentase) yang telah didapatkan pada butir 3

### 3.4.4 Campuran

Untuk lapis perkerasan beraspal yang perencanaannya dilakukan dengan metode kepadatan mutlak Bina Marga memberikan persyaratan sebagaimana ada pada

Tabel 3.5

Tabel 3.5 Persyaratan Campuran Beraspal

Sifat - Sifat Campuran				Latasir		Lataston		Laston		
				A	B	L. Aus	L. Pond	L. Aus	L. Pond	
Penyerapan Aspal, % berat campuran				2,0		1,7				
Kadar Aspal total, % berat campuran				Maks. Sesuai dengan persyaratan yang harus dipenuhi dalam tabel ini						
Jumlah Tumbukan Marshall 2X tiap permukaan				50	75		112 *)			
Rongga Dalam Campuran (VIM), %				Min	3	3		3		
				Maks.	6	6		8		
Rongga Di Antara Mineral Agregat (VMA), %				Min	20	18	16			
Rongga Terisi Aspal (VFB), %	La lu Lin tas	> 1.000.000 ESA	Min	Jangan digunakan untuk lalu lintas berat	65					
		> 500.000 ESA	Min		68.-					
		< 1.000.000 ESA	Maks.		75					
		< 500.000 ESA	Min		-					
Stabilitas Marshall, kg				Min	200	800		1800 *)		
				Maks.	850	-		-		
Kelelehan, mm				Min	2				3 *)	
				Maks.	3	-				
Hasil bagi Marshall, kg / mm				Min	80	200				
				Maks.	-	-				
Stabilitas Sisa, perendaman 24 jam Pada Suhu 60 * C, %				Min	75					
				Maks.	-					
Rongga dalam Campuran (kepadatan mutlak, % Lihat Catatan **)	La lu Lin tas	> 1.000.000 ESA	Min	Jangan digunakan untuk lalu lintas berat	3					
		> 500.000 ESA	Min		2					
		< 1.000.000 ESA	Maks.		-					
		< 500.000 ESA	Min		1					
				Maks.	-					

Catatan :

- \*) Modifikasi Marshall, diameter cetakan benda uji 152,4 mm (lih. Lamp. B-3). Untuk kondisi kepadatan mutlak gunakan alat penumbuk getar agar terhindar dari kemungkinan adanya agregat yang pecah.
- \*\*\*) Untuk lalu lintas yang bergerak sangat lambat atau lalu lintas mengatur (chanelazied) yang berat, gunakan kriteria untuk satu tingkat ESA atau SST (Setara Sumbu-Standar Tunggal) yang lebih tinggi
- \*\*\*) Berat Jenis efektif agregat dihitung berdasarkan pada Berat Jenis Maksimum Campuran dengan Rice Method (ASTHO T - 209)

Dari tabel tersebut persyaratan untuk campuran beraspal AC-WC, yang digunakan untuk penelitian ini seperti pada Tabel 3.6

Tabel 3.6 *Syarat Campuran Beraspal AC-WC*

Sifat - sifat campuran	Satuan	Syarat Campuran	
		Minimum	Maksimum
Penyerapan Aspal	%		1,7
Rongga dalam campuran (VIM)	%	3	6
Rongga diantara mineral agregat (VMA)	%	16	.-
Rongga terisi aspal (VBA)	%	65	.-
Stabilitas Marshall	kg	800	.-
Kelelahan	mm	2	.-
Hasil bagi Marshall	kg / mm	200	.-
Perendaman 24 jam pada suhu 60 *C	%	75	.-
Rongga dalam campuran PRD (Catatan **)	%	3	.-

#### 3.4.5 Pengujian Dengan Test Marshall

Peralatan yang dipakai.

- a. Alat penumbuk untuk pemadat benda uji, dengan berat 4,5 kg ( 10 pound) dan tinggi tumbukan 45 cm (18")
- b. Cetakan benda uji yang terbuat dari besi baja berbentuk silinder dengan ukuran 10 cm, tinggi 7,5 cm pada bagian bawah silinder terdapat pelat serta dilengkapi dengan peralatan berbentuk silinder yang berfungsi sebagai penyambung silinder yang satu dengan silinder yang lain.
- c. Sebuah alat injektor elektrik untuk melepas benda uji.

Uji Marshall terdiri atas :

- a. Alat untuk menekan benda uji berbentuk setengah lingkaran satu pasang.
- b. Arloji sebagai petunjuk kelelahan dan temperatur suhu 200 – 300°C.
- c. Alat penekan benda uji berbentuk cincin dengan kapasitas 2500 kg (500 pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound) dan arloji untuk penekan benda uji dengan tingkat ketelitian 0,0025 cm (0,0001).

Peralatan lainnya adalah :

- a. Spatula dan timbangan dengan angka ketelitian 0,10 gr.
- b. Panci untuk benda uji dipanaskan.
- c. Termometer 420<sup>0</sup> C dan senduk pengaduk.
- d. Oven untuk memanaskan bahan secara konstan.
- e. Water batch (bak perendam) dilengkapi dengan alat pengatur suhu.

#### 3.4.6 Pengukuran Voids in Mix – Percentage Refusal Density (VIM – PRD)

Pada VIM 6 % pengujian dengan test Marshall (3.4.5) diperoleh nilai kadar aspal tertentu, kemudian dibuatkan campuran dengan kadar aspal  $\pm 0,5$  % dari kadar aspal tertentu tersebut dan campuran ditumbuk 400 kali dalam tiga campuran. Selanjutnya diukur VIM – PRD dan tentukan kadar aspal optimum.

### 3.5 Analisa

#### 3.5.1 Berat Jenis Aspal

$$\text{BJ Aspal} = \frac{\text{Berat}}{\text{Volume}} \text{ pada suhu } 25^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots(3.1)$$

#### 3.5.2 Berat Jenis Bulk Campuran Agregat.

Berat jenis bulk agregat adalah merupakan hasil gabungan antara berat jenis agregat kasar dan agregat halus dengan rumus sbb :

$$\text{BJ Agregat} = \frac{(X \times F_1) + (Y \times F_2)}{100} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan : X = Prosentase agregat kasar

Y = Prosentase agregat halus

F<sub>1</sub> = Berat jenis bulk agregat kasar

F<sub>2</sub> = Berat jenis bulk agregat halus

Dari data tersebut diatas diperoleh harga Density, Stabilitas, Marshall Quotient.

### 3.5.3 Kelelehan (Flow)

Nilai Flow = r didapat dari pembacaan arloji flow yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan 0,01 mm.

### 3.5.4 Stabilitas

Nilai stabilitas dari benda uji didapat dari pembacaan arloji stabilitas alat tekan Marshall. Angka ini dikoreksi dengan angka kalibrasi alat dan angka koreksi ketebalan benda uji. Rumus Stabilitas adalah :

$$S = S_1 \times g \times 0,4536 \dots \dots \dots (3.3)$$

$$S_1 = (2,7497 \times P^{0,9887})$$

Keterangan P = Pembebanan arloji stabilitas (lbs)

g = Angka koreksi tebal benda uji

S = Angka stabilitas terpakai (kg)

S<sub>1</sub> = Angka stabilitas kalibrasi alat (lbs)

### 3.5.5 Marshall Quotient

Perhitungan nilai Marshall quotient didasarkan atas rumus

$$MQ = S / r \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan S = Nilai stabilitas terpakai (kg)

r = Nilai kelelehan (mm)

MQ = Nilai Marshall Quotient (kg / mm)

### 3.5.6 Density

Nilai density dihitung dengan rumus :  $g = c / f \dots \dots \dots (3.5)$

Keterangan f = d - e



c = Berat benda uji sebelum direndam (gram)

d = Berat benda uji jenuh air (gram)

e = Berat benda uji dalam air (gram)

f = Isi benda uji (ml)

g = Berat isi benda uji (gram / ml)

### 3.5.7 Void in The Mix (VIM)

VIM adalah nilai prosentase rongga yang ada dalam campuran, didapat dengan rumus sbb :

$$\text{VIM} = 100 - i - j \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan i = Prosen volume aspal

j = Prosen volume agregat

### 3.5.8 Void Filled With Asphalt (VFB)

VFB adalah nilai prosentase rongga yang terisi aspal efektif, didapat dari rumus sbb :  $\text{VFB} = i/l \dots\dots\dots(3.7)$

Keterangan i = Prosen volume aspal

l = Prosen rongga agregat

### 3.5.9 Void in Mineral Agregat (VMA)

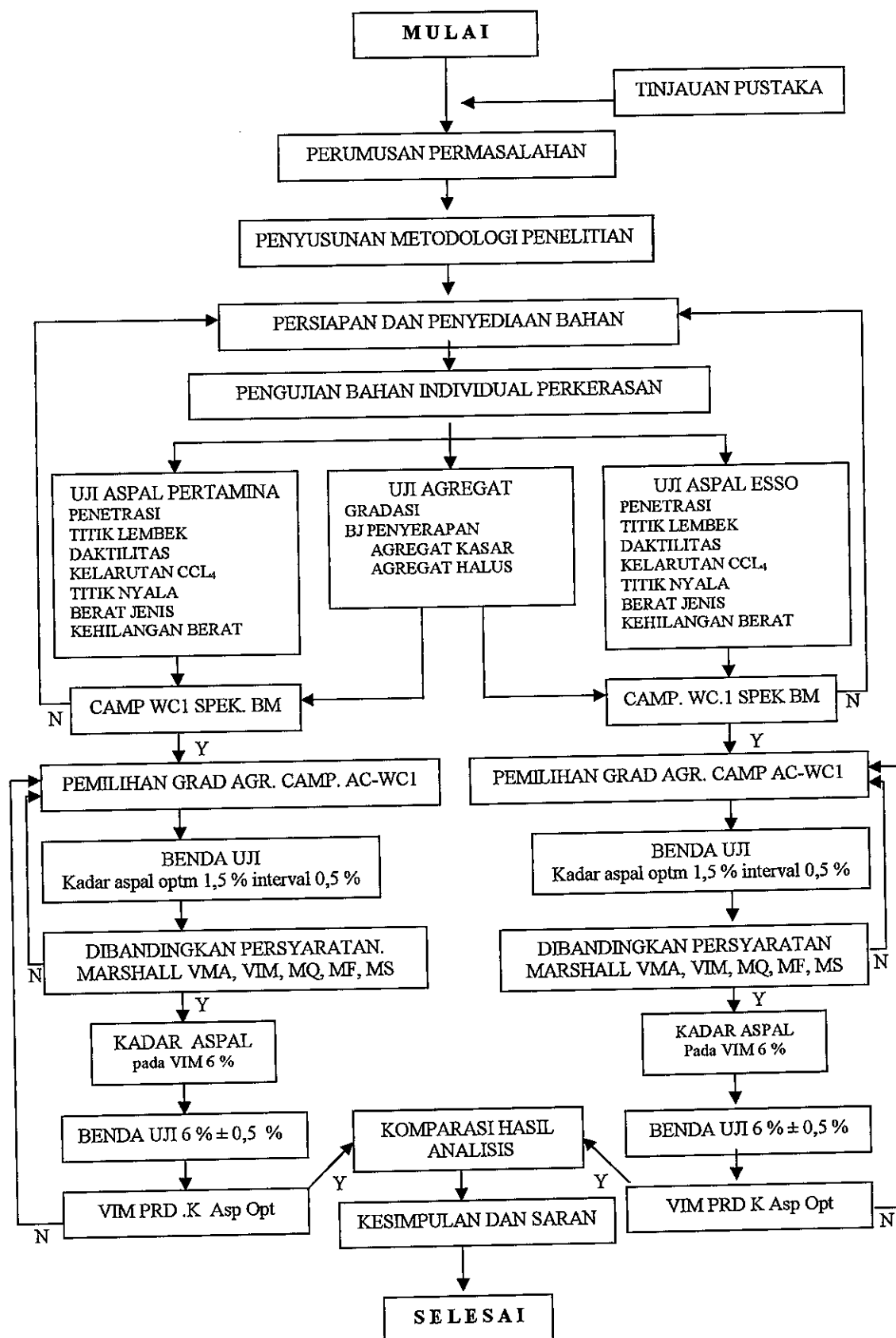
$$\text{VMA} = 100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan :  $G_{mb}$  = berat volume benda uji (gr / cc)

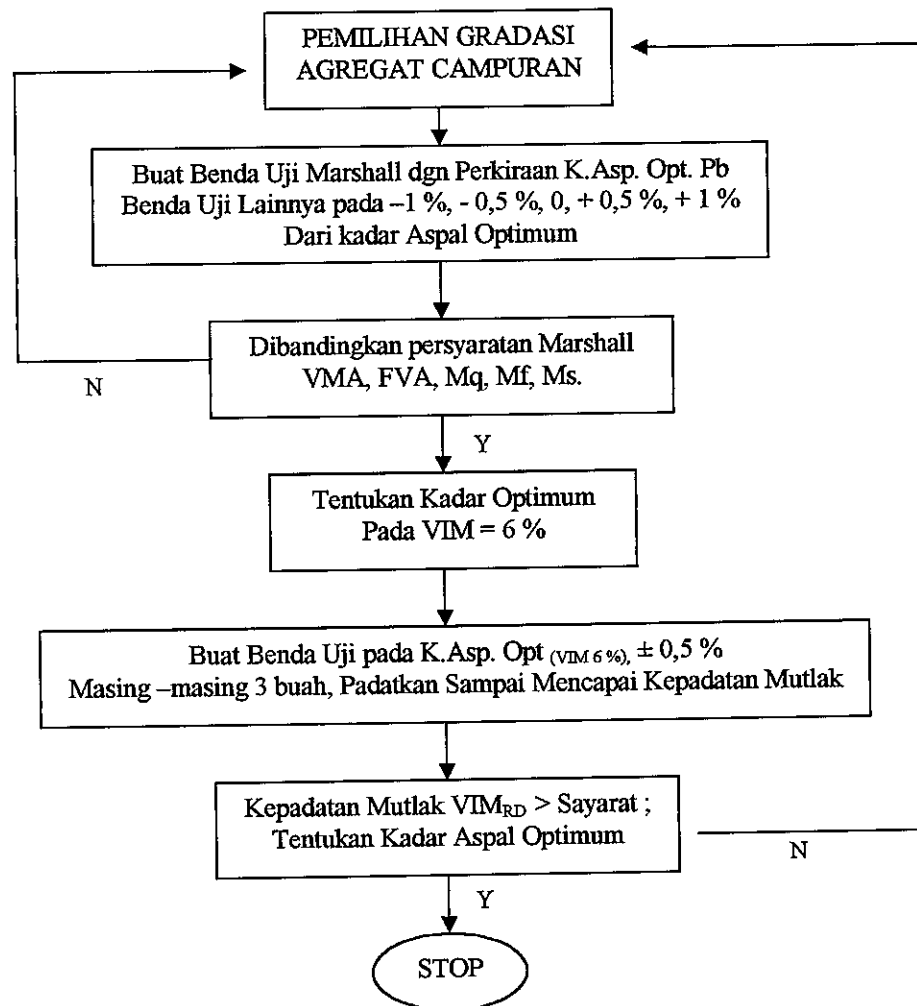
$G_{sb}$  = berat jenis bulk agregat (gr / cc)

$P_s$  = kadar agregat, prosen terhadap total campuran

### 3.6 Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian



### 3.7 Bagan Alir Perencanaan Campuran Dengan Pendekatan PRD



## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan untuk bahan ikat pada pembuatan benda uji campuran beton aspal dalam penelitian ini adalah aspal keras Pertamina Pen 60/70 dan aspal keras Esso Pen 60/70. Dari pemeriksaan karakteristik aspal keras Pertamina Pen 60/70 dan aspal keras Esso Pen 60/70 dilakukan 8 sub pengujian, hasilnya seperti pada Tabel 4.1, dan Tabel 4.2

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Keras Pertamina Pen 60/70

No	Jenis pemeriksaan	Satuan	Hasil	Persyaratan		Standart pengujian
				Min	Mak	
1	Penetrasi 25 °C, 100 gr, 5 detik	0,1 mm	62,8	60	79	AASHTO T 49 68
2	Titik lembek ring dan bola	derajad C	53	48	58	SK SNI M 20 1990 F
3	Titik nyala (cleveland open cup)	derajad C	228	200		AASHTO T 48 74
4	Daktilitas	cm	150	100		AASHTO 51 74
5	Berat jenis 25 °C		1,031	1		PA 0307 76
6	Kelarutan dalam CCL4	persen	99,32	99		PA 0305 76
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	persen	97	75		AASHTO T 49 68
8	Kehilangan berat	persen	0,4		0,4	SK SNI M 29 1990 F

Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Keras Esso Pen 60/70

No	Jenis pemeriksaan	Satuan	Hasil	Persyaratan		Standart pengujian
				Min	Mak	
1	Penetrasi 25 °C, 100 gr, 5 detik	0,1 mm	63,2	60	79	AASHTO T 49 68
2	Titik lembek ring dan bola	derajad C	51,5	48	58	SK SNI M 20 1990 F
3	Titik nyala (cleveland opencup)	derajad C	218	200		AASHTO T 48 74
4	Daktilitas	cm	150	100		AASHTO 51 74
5	Berat jenis 25 °C		1,026	1		PA 0307 76
6	Kelarutan dalam CCL4	persen	99,55	99		PA 0305 76
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	persen	93	75		AASHTO T 49 68
8	Kehilangan berat	persen	0,39		0,4	SK SNI M 29 1990 F

Dari pemeriksaan laboratorium diperoleh hasil bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 dan aspal keras Esso Pen 60/70 memenuhi standart pengujian sebagai bahan ikat

campuran beton aspal. Hasil pemeriksaan menunjukkan adanya perbedaan karakteristik dan perbedaan mutu dari kedua jenis aspal keras tersebut, yaitu :

#### 4.1.1 Penetrasi

Penetrasi merupakan tingkat kekerasan aspal. Dari hasil uji pemeriksaan menunjukkan bahwa nilai penetrasi aspal keras Pertamina Pen 60/70 sebesar 62,8 (0,1 mm) dan nilai penetrasi aspal keras Esso Pen 60/70 sebesar 63,2 (0,1 mm). Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa tingkat kekerasan aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih tinggi dari kekerasan aspal keras Esso Pen 60/70.

#### 4.1.2 Titik Lembek

Nilai titik lembek merupakan suatu isyarat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur. Nilai titik lembek aspal keras Pertamina Pen 60/70 ( $53^{\circ}\text{C}$ ) lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai titik lembek aspal keras Esso Pen 60/70 ( $51,5^{\circ}\text{C}$ ). Dari hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa aspal keras Esso Pen 60/70 lebih peka terhadap perubahan temperatur dari pada aspal keras Pertamina Pen 60/70.

#### 4.1.3 Titik Nyala

Dari hasil uji pemeriksaan menunjukkan bahwa nilai titik nyala aspal keras Pertamina Pen 60/70 ( $228^{\circ}\text{C}$ ) lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai titik nyala aspal keras Esso Pen 60/70 ( $218^{\circ}\text{C}$ ). Titik nyala merupakan tingkat kepekaan terhadap nyala api. Nilai yang didapat dari hasil pengujian bahwa aspal keras Esso Pen 60/70 lebih peka terhadap pengaruh api dari pada aspal keras Pertamina Pen 60/70.

#### 4.1.4 Daktilitas

Pemeriksaan daktilitas merupakan cara untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri. Nilai daktilitas dari hasil pengujian menunjukkan bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 (150 cm), mempunyai nilai yang sama bila dibandingkan dengan daktilitas aspal keras Esso Pen 60/70 (150 cm) . Dari nilai yang didapat hasil pengujian bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 mempunyai sifat kohesi yang sama terhadap aspal keras Esso Pen 60/70.

#### 4.1.5 Berat Jenis

Berat jenis pada 25 °C dari hasil uji pemeriksaan menunjukkan bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 (1,031), lebih besar bila dibandingkan dengan berat jenis aspal keras Esso Pen 60/70 (1,026). Pemeriksaan berat jenis sangat diperlukan dalam membuat analisa campuran. Nilai berat jenis dari hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa kedua jenis aspal tersebut tidak jauh berbeda.

#### 4.1.6 Kelarutan Dalam CCL<sub>4</sub>

Pemeriksaan dilakukan untuk menentukan jumlah bitumen yang larut dalam karbon tetraklorida. Nilai kelarutan dalam CCL<sub>4</sub> dari hasil uji pemeriksaan menunjukkan bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 (99,32 %), yaitu lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai kelarutan dalam CCL<sub>4</sub> aspal keras Esso Pen 60/70 (99,55 %) . Dari nilai yang didapat dari hasil uji pemeriksaan menunjukkan bahwa kandungan bitumen dari kedua jenis aspal tersebut tidak jauh berbeda.

#### 4.1.7 Penetrasi Setelah Kehilangan Berat

Penetrasi setelah kehilangan berat aspal keras Pertamina Pen 60/70 (97 %), yaitu lebih besar bila dibandingkan dengan berat jenis aspal keras Esso Pen 60/70 (93 %).

Pemeriksaan penetrasi setelah kehilangan berat untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. Hasil uji pemeriksaan menunjukkan bahwa penetrasi setelah kehilangan berat aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih besar bila dibandingkan dengan penetrasi setelah kehilangan berat aspal keras Esso Pen 60/70.

#### 4.2 Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat diawali dengan pemeriksaan gradasi. Dengan cara seperti pada 3.5.3 halaman 24 dapat ditentukan gradasi yang akan dipakai dalam campuran, dengan perhitungan pada Lampiran C.32 halaman 80.

Hasil pemeriksaan karakteristik batu pecah ukuran maks  $\frac{3}{4}$  “, batu pecah ukuran maks  $\frac{1}{2}$  “, abu batu, dan pasir seperti pada Tabel 4.3 s/d Tabel 4.6.

Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Batu Pecah Ukuran Maks  $\frac{3}{4}$  “

No	Jenis pemeriksaan	Satuan	Hasil	Persyaratan	Standart pengujian
1	Keausan	persen	22,95	< 40	SNI 03 2417 1991
2	Kelekatan terhadap aspal	persen	95	> 95	
3	Berat Jenis Bulk	gr / cc	2,564	> 2,5	PB 0202 76
4	Berat Jenis SSD	gr / cc	2,628	> 2,5	PB 0202 76
5	Berat Jenis Apparent	gr / cc	2,738	> 2,5	PB 0202 76
6	Penyerapan	persen	2,482	< 3	PB 0202 76

Tabel 4.4. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Batu Pecah Ukuran Maks  $\frac{1}{2}$  “

No	Jenis pemeriksaan	Satuan	Hasil	Persyaratan	Standart pengujian
1	Keausan	persen	22,95	< 40	SNI 03 2417 1991
2	Kelekatan terhadap aspal	persen	95	> 95	
3	Berat Jenis Bulk	gr / cc	2,563	> 2,5	PB 0202 76
4	Berat Jenis SSD	gr / cc	2,627	> 2,5	PB 0202 76
5	Berat Jenis Apparent	gr / cc	2,740	> 2,5	PB 0202 76
6	Penyerapan	persen	2,522	< 3	PB 0202 76

Tabel 4.5. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Batu

No	Jenis pemeriksaan	Satuan	Hasil	Persyaratan	Standart pengujian
1	Keausan	persen	22,95	< 40	SNI 03 2417 1991
2	Kelekatan terhadap aspal	persen	95	> 95	
3	Berat Jenis Bulk	gr / cc	2,590	> 2,5	SK SNI M 10 1989 F
4	Berat Jenis SSD	gr / cc	2,618	> 2,5	SK SNI M 10 1989 F
5	Berat Jenis Apparent	gr / cc	2,665	> 2,5	SK SNI M 10 1989 F
6	Penyerapan	persen	1,092	< 3	SK SNI M 10 1989 F

Tabel 4.6. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Pasir

No	Jenis pemeriksaan	Satuan	Hasil	Persyaratan	Standart pengujian
1	Sand equivalent	persen	90,29	> 50	AASHTO T 176 73
2	Berat Jenis Bulk	gr / cc	2,591	> 2,5	SK SNI M 10 1989 F
3	Berat Jenis SSD	gr / cc	2,634	> 2,5	SK SNI M 10 1989 F
4	Berat Jenis Apparent	gr / cc	2,706	> 2,5	SK SNI M 10 1989 F
5	Penyerapan	persen	1,636	< 3	SK SNI M 10 1989 F

Dari hasil uji di laboratorium pemeriksaan karakteristik agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi menunjukkan bahwa agregat memenuhi persyaratan sebagai bahan susun campuran beton aspal. Agregat dalam campuran beton aspal merupakan komponen yang mendukung beban sehingga diperlukan agregat yang tahan terhadap keausan dan gesekan antar partikel. Untuk mengetahui tingkat keausan (abrasi) dilakukan pengujian dengan mesin Los Angeles. Nilai keausan 22,95 %, nilai ini lebih kecil dari nilai abrasi yang dipersyaratkan (40 %), sehingga memenuhi ketentuan yang dipersyaratkan sebagai bahan susun campuran beton aspal.

Untuk mengetahui besarnya daya lekat agregat terhadap aspal, diadakan pengujian kelekatan. Dimana makin besar daya lekat agregat terhadap aspal, makin tinggi nilai kohesi campuran beton aspal terhadap aspal sehingga stabilitas campuran menjadi lebih baik. Hasil pemeriksaan pelekatan agregat terhadap aspal menunjukan > 95 % (memenuhi syarat).

Berat jenis agregat kasar 2,563 gg/cc, berat jenis agregat halus 2,592 gg/cc dan bahan pengisi 2,590 gg/cc memenuhi persyaratan ( > 2,5 gg/cc). Dengan nilai berat jenis yang tinggi mengindikasikan agregat lebih kuat dan mempunyai porositas yang rendah. Dan sebaliknya, apabila nilai berat jenis dibawah persyaratan, dimungkinkan bahwa tingkat kekuatan agregat akan rendah dan tingkat porositasnya akan tinggi.

Persyaratan nilai penyerapan agregat < 3 %. Nilai penyerapan agregat diperlukan untuk mengetahui pori-pori yang ada dalam agregat. Dari hasil pemeriksaan



diperoleh antara 1,6 % sampai 2,4 % ( memenuhi syarat sebagai bahan susun campuran beton aspal).

Persyaratan sand equivalent > 50 %. Dari hasil pemeriksaan didapat nilai sand equivalent 90,29 %. Hal ini mengisyaratkan bahwa kebersihan pasir terhadap kandungan lumpur ataupun debu lainnya sangat rendah, sehingga agregat halus ini akan mempunyai daya lekat yang tinggi terhadap aspal.

#### 4.3 Pemeriksaan Uji Marshall

Pemeriksaan uji Marshall untuk mengetahui karakteristik campuran beton aspal menghasilkan nilai Density, VMA, VFB,, VIM, Stabilitas, Flow, dan MQ.

Hasil uji Marshall campuran beton aspal supaya mendapatkan kadar aspal optimum, dengan perbandingan beberapa benda uji, seperti pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8

Tabel 4.7. Hasil Uji Marshall Campuran Beton Aspal Menggunakan Aspal Keras Pertamina Pen 60/70

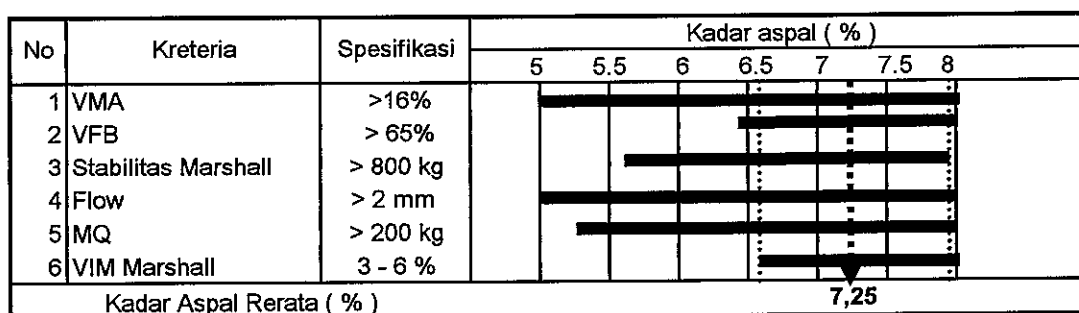
No	Karakteristik	Kadar Aspal (%)						
		5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
1	Density (gr/cc)	2,202	2,227	2,229	2,269	2,262	2,247	2,236
2	VMA (%)	18,93	18,45	18,82	17,81	18,48	19,48	20,30
3	VFB (%)	44,81	52,47	57,35	67,99	71,21	72,67	74,80
4	VIM (%)	10,45	8,79	8,05	5,74	5,33	5,32	5,12
5	Stabilitas (kg)	621	728	715	906	1146	1001	670
6	Flow (mm)	2,93	2,97	2,98	2,77	2,94	2,27	2,94
7	MQ (kg/mm)	184	222	242	279	253	396	258

Tabel 4.8. Hasil Uji Marshall Campuran Beton Aspal Menggunakan Aspal Keras Esso Pen 60/70

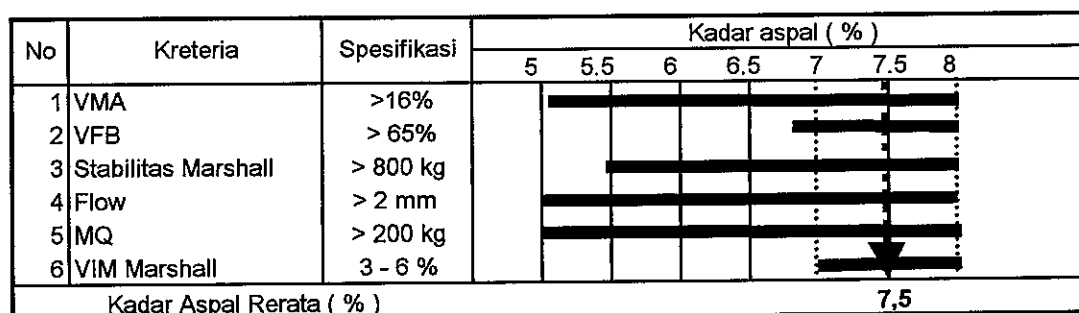
No	Karakteristik	Kadar Aspal (%)						
		5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
1	Density (gr/cc)	2,163	2,183	2,203	2,226	2,228	2,247	2,240
2	VMA (%)	20,36	20,07	19,76	19,36	19,72	19,48	20,14
3	VFB (%)	43,45	49,84	56,60	63,96	68,43	75,48	78,29
4	VIM (%)	11,52	10,08	8,58	6,98	6,23	4,78	4,37
5	Stabilitas (kg)	641	739	885	989	1134	1024	1006
6	Flow (mm)	2,53	2,47	2,54	2,68	2,68	2,87	3,09
7	MQ (kg/mm)	250	290	333	362	405	380	341

#### 4.3.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah kadar aspal dari hasil pengujian Marshall yang memenuhi persyaratan (spesifikasi) campuran beton aspal. Untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum ditentukan dengan cara grafis yang bisa dilihat pada Lampiran A11 halaman 59 (Grafik Hubungan Parameter Campuran Aspal Dengan Kadar Aspal Pertamina) dan Lampiran B 24 halaman 72 (Grafik Hubungan Parameter Campuran Aspal Dengan Kadar Aspal Esso) berdasarkan hasil uji Marshall (lihat Tabel halaman 60 untuk aspal Pertamina dan Tabel halaman 73 untuk aspal Esso) dimana variasi kadar campuran aspal antara 5 % sampai 8 % dengan interval 0,5 %, dan yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan hasilnya bisa dilihat Gambar 4.1, Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.1. Rentang Kadar Aspal Untuk Beton Aspal Menggunakan Aspal Keras Pertamina Pen 60/70 Yang Memenuhi Spesifikasi



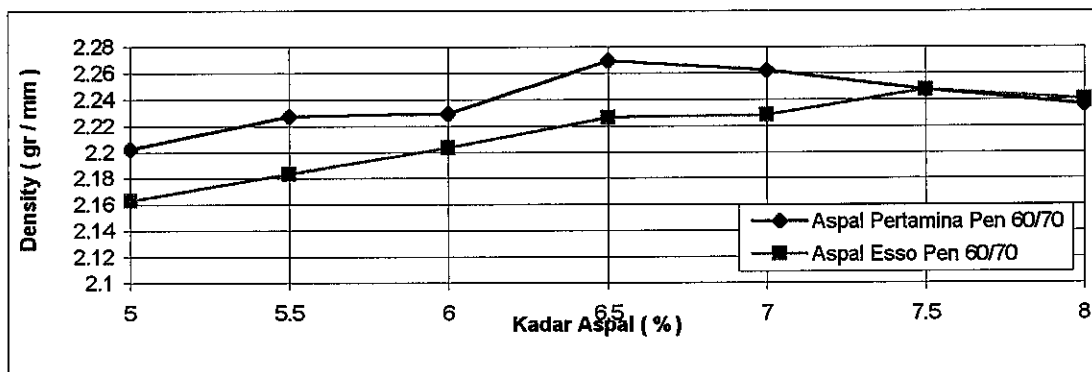
Gambar 4.2. Rentang Kadar Aspal Untuk Beton Aspal Menggunakan Aspal Keras Esso Pen 60/70 Yang Memenuhi Spesifikasi

Dari Gambar 4.1, Gambar 4.2 bisa dilihat batas toleransi nilai efektif yang diperbolehkan untuk suatu pembuatan campuran beton aspal berdasarkan bahan susun yang menggunakan kadar aspal kedua merk, dengan agregat seperti pada Tabel 4.3 s/d Tabel 4.6. Untuk penelitian ini kadar aspal optimum adalah antara 6,6 % hingga 7,9 %

dengan rerata 7,25 % untuk aspal Pertamina, dan 7 % hingga 8 % dengan rerata 7,5 % untuk aspal Esso.

#### 4.3.2 Density

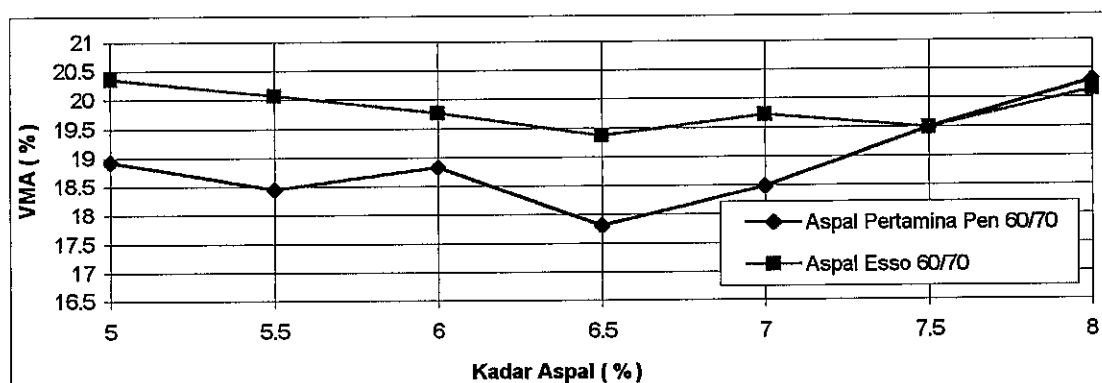
Hasil percobaan menunjukkan bahwa untuk kadar aspal 5 % s/d 7 % nilai density aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih tinggi dari pada nilai density aspal keras Esso Pen 60/70, akan tetapi pada kadar aspal 7,5 % nilai densitynya sama. Pada kadar aspal 8 % terjadi kebalikan nilai density seperti dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara Density dengan Kadar aspal

#### 4.3.3 Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

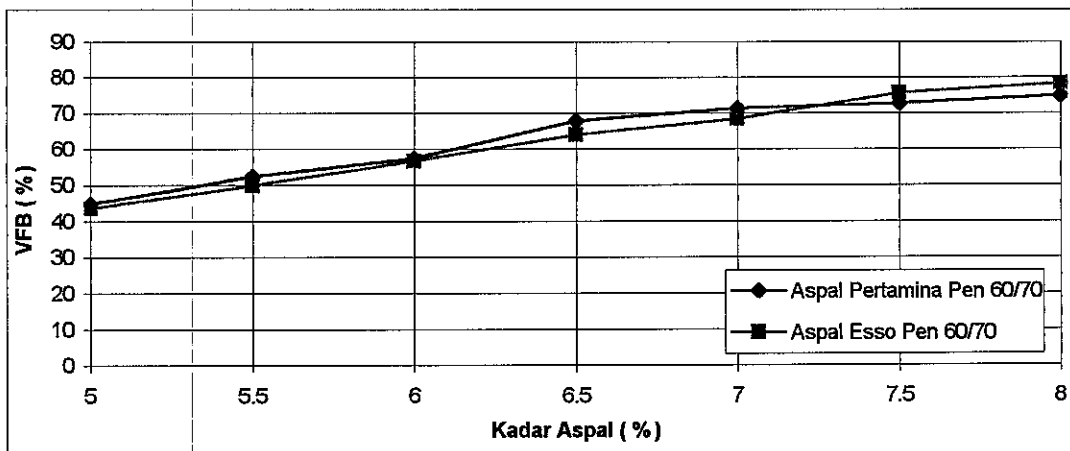
Hasil percobaan aspal keras Pertamina Pen 60/70 pada kadar aspal 5 s/d 7 % nilai VMA nya lebih rendah dari aspal keras Esso Pen 60/70. Pada kadar aspal 7,5 % nilai VMA nya sama. Pada kadar aspal 8 % terjadi kebalikan nilai VMA, seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara VMA dengan Kadar aspal

#### 4.3.4 Rongga Terisi Aspal (VFB)

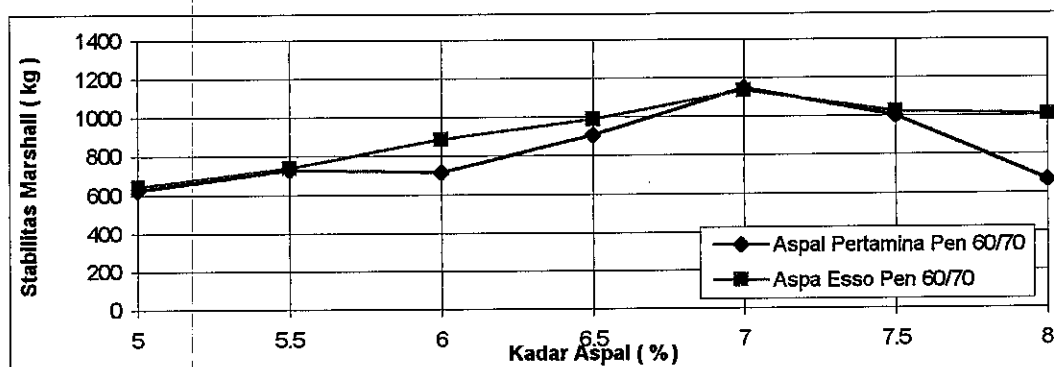
Hasil percobaan dengan nilai VFB aspal keras Pertamina Pen 60/70 hampir sama dengan nilai VFB aspal keras Esso Pen 60/70. Pada kadar aspal 7 - 7,5 % terjadi perubahan nilai VFB, dimana aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih rendah nilai VFB nya dari pada aspal keras Esso Pen 60/70 seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara VFB dengan Kadar aspal

#### 4.3.5 Stabilitas Marshall

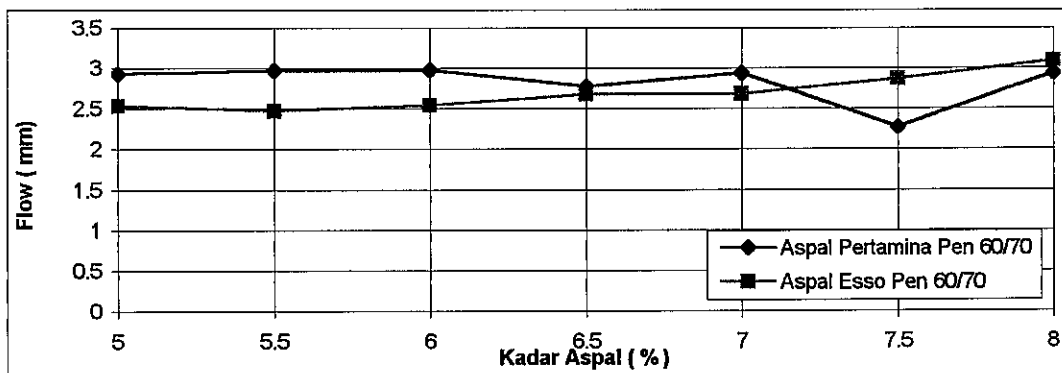
Hasil percobaan, nilai stabilitas Marshall aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih rendah dari pada nilai stabilitas Marshall aspal keras Esso Pen 60/70. Pada kadar 6 % , 6,5 % dan 8 % terjadi perbedaan nilai stabilitas yang besar (Gambar 4.6).



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara Stabilitas Marshall dengan Kadar aspal

#### 4.3.6 Kelelehan (Flow)

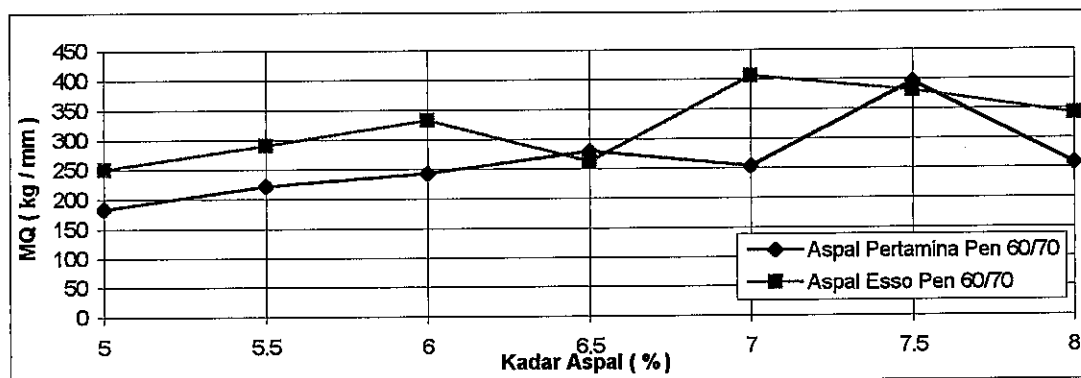
Hasil percobaan menunjukkan nilai Flow aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih tinggi dari pada nilai Flow aspal keras Esso Pen 60/70. Pada kadar aspal 7 % - 7,5 % terjadi perubahan nilai Flow, dimana nilai Flow aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih rendah dari pada nilai Flow aspal keras Esso Pen 60/70 seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara Flow dengan Kadar aspal

#### 4.3.7 Marshall Quotient (MQ)

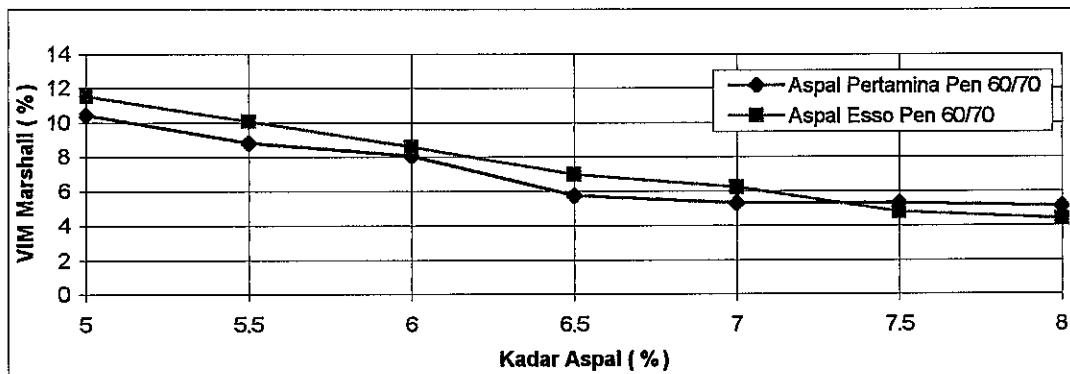
Percobaan kelenturan menunjukkan bahwa nilai MQ aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih rendah dari pada nilai MQ aspal keras Esso Pen 60/70. Tetapi pada kadar aspal 6,5, dan 7,5 % terjadi kebalikan nilai MQ, seperti terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik hubungan antara MQ dengan kadar aspal

#### 4.3.8 Rongga Dalam Campuran (VIM Marshall)

Percobaan Marshall menunjukkan bahwa nilai VIM Marshall aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih rendah dari pada nilai VIM Marshall aspal keras Esso Pen 60/70. Pada kadar aspal 7 % – 7,5 % terjadi kebalikan nilai VIM Marshall seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara VIM Marshall dengan Kadar aspal

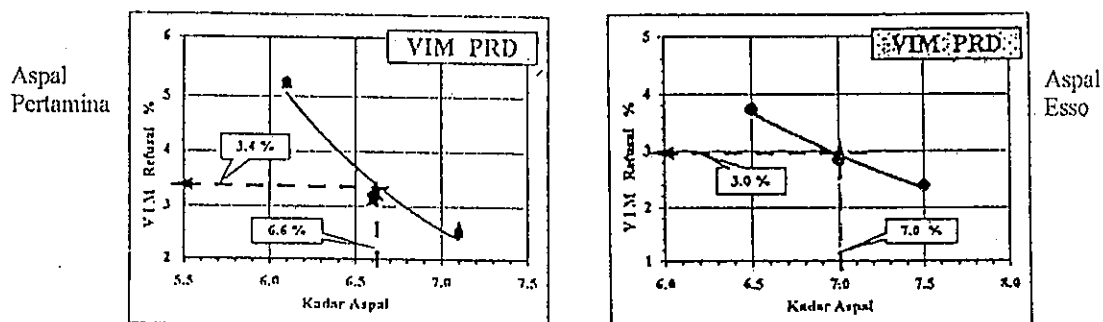
#### 4.3.9 Pemeriksaan PRD

Pemeriksaan PRD diawali dengan membuat campuran aspal dengan kadar aspal yang didasarkan pada nilai VIM Marshall (hasil pengujian secara konvensional) sebesar 6 %. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa pada VIM Marshall 6 %, untuk kadar aspal Pertamina adalah 6,6 % (Lampiran A13 halaman 61) sedangkan untuk kadar aspal Esso adalah 7 % (Lampiran B 26 halaman 74). Dengan variasi kadar aspal  $\pm 0,5$  %, maka untuk aspal Pertamina disediakan benda uji campuran aspal dengan kadar aspal masing-masing 6,1 %; 6,6 %; dan 7,1 % sedangkan untuk aspal Esso dengan kadar aspal 6,5 %; 7 %; dan 7,5 %.

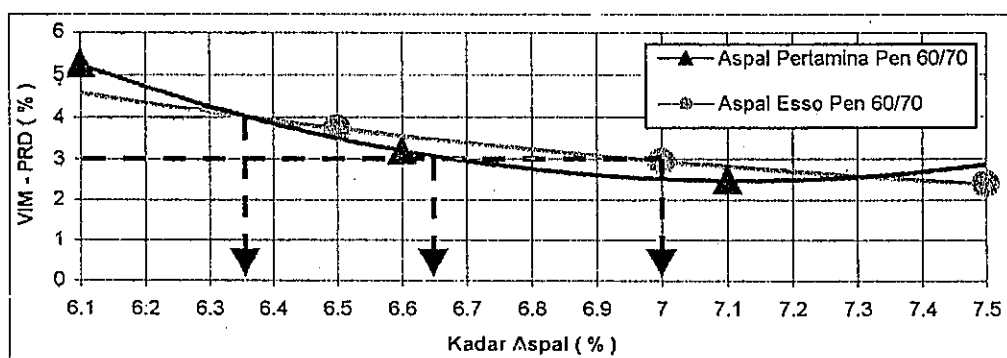
Semua benda uji yang disediakan untuk pemeriksaan PRD ini dipadatkan dengan 400 kali tumbukan. Ringkasan hasil pengujian VIM – PRD dan penetapan kadar aspalnya seperti teruji pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.10. (hasil selengkapnya pada Lampiran A 13 halaman 61 untuk aspal Pertamina dan Lampiran B 26 halaman 74 untuk aspal Esso).

Tabel 4.9. *VIM-PRD Aspal Pertamina dan VIM-PRD Aspal Esso*

ASPAL PERTAMINA				ASPAL ESSO			
Benda Uji	Kadar Aspal (%)	VIM-PRD (%)		Benda Uji	Kadar Aspal (%)	VIM-PRD (%)	
		Nilai	Rerata			Nilai	Rerata
1.a	6,1	4,96		1.a	6,5	3,62	
b		5,56	5,25	b		3,77	3,74
c		5,23		c		3,82	
2.a	6,6	3,30		2.a	7,0	2,93	
b		3,15	3,19	b		2,47	2,83
c		3,10		c		3,09	
3.a	7,1	2,50		3.a	7,5	2,37	
b		2,25	2,46	b		2,38	2,38
c		2,62		c		2,41	

Gambar 4.10 *VIM-PRD Aspal Pertamina dan VIM-PRD Aspal Esso*

Dari hasil tumbukan tersebut dengan bantuan grafik, pada kadar aspal 6,6 % didapat nilai VIM-PRD 3,4 % untuk aspal keras Pertamina Pen 60/70. Sedangkan untuk aspal keras Esso Pen 60/70 pada kadar aspal 7 % nilai VIM-PRD sebesar 3 %.

Gambar 4.11 *Grafik hubungan antara VIM -- PRD dengan Kadar aspal*

Dari gambar 4.11, bila dipergunakan dasar nilai VIM-PRD menurut nilai batas persyaratan yaitu minimum 3 %, maka kadar aspal yang diperlukan untuk aspal Pertamina 6,65 % lebih kecil bila dibandingkan aspal Esso 7 %. Gambar 4.11 juga menunjukkan bahwa untuk nilai  $4 \% > \text{VIM-PRD} > 3 \%$  kadar aspal Pertamina lebih rendah dibandingkan dengan kadar aspal Esso. Sedangkan untuk nilai  $\text{VIM-PRD} > 4 \%$  terjadi kebalikannya.

#### 4.4 Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastis campuran beton aspal dipengaruhi oleh modulus kekakuan aspal ( $S_{\text{Bit}}$ ). Yang mana nilai modulus elastis campuran beton aspal dipengaruhi oleh angka penetrasi dan angka titik lembek aspal. Oleh karena itu, tinjauan mutu aspal lebih diperhatikan pada angka penetrasi dan angka titik lembek aspal.

Dengan metode Brown dapat ditentukan modulus kekakuan aspal dan menstimulasikan temperatur perkerasan pada  $30^{\circ}\text{C}$  dengan mengasumsikan nilai  $t = 0,02$  detik.

Dengan persamaan 2.1 ( $S_{\text{Bit}}$ ) dan persamaan 2.4 ( $P_{\text{ir}}$ ) dapat dihitung :

$$\begin{aligned} S_{\text{Bit}} &= 1,157 \times 10^{-7} \times 0,02^{-0,367} \times 2,7^{P_{\text{ir}}} \times (\text{Spr}-T)^5 \\ &= 1,157 \times 10^{-7} \times 0,02^{-0,367} \times 2,7^{-0,281} \times (55,88-30)^5 \\ &= 4,279 \text{ MPa (untuk aspal Pertamina)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{Bit}} &= 1,157 \times 10^{-7} \times 0,02^{-0,367} \times 2,7^{P_{\text{ir}}} \times (\text{Spr}-T)^5 \\ &= 1,157 \times 10^{-7} \times 0,02^{-0,367} \times 2,7^{-0,279} \times (55,96-30)^5 \\ &= 4,353 \text{ MPa (untuk aspal Esso)} \end{aligned}$$

Indek Penetrasi berdasarkan Brown dapat ditentukan berdasarkan rumus :

IP = Indek penetrasi aspal ( $P_{\text{ir}}$ )

$$P_{\text{ir}} = \frac{20 \text{ Spr} + 500 \log \text{ Pr} - 1951,4}{- 50 \log \text{ Pr} + \text{ Spr} + 120,4} \quad \text{Dimana :}$$

$P_{\text{ir}} = 62,8$  (hasil laboratorium test aspal Pertamina)



$$Pr = 0,65 Pi = 0,65 \times 62,8 = 40,82$$

Untuk mencari Spr dengan rumus 2.3 :

$$\begin{aligned} Spr &= 98,4 - 26,35 \log Pr \\ &= 98,4 - 26,35 \log 40,82 = 98,4 - 42,44 = 55,96 \end{aligned}$$

$$Pir = \frac{20 \cdot 55,96 + 500 \log 40,82 - 1951,4}{50 \log 40,82 + 55,96 + 120,4} = -0,279$$

Pi = 63,22 (hasil laboratorium test aspal Esso)

$$Pr = 0,65 Pi = 0,65 \times 63,22 = 41,09$$

Untuk mencari Spr dengan rumus 2.3 :

$$\begin{aligned} Spr &= 98,4 - 26,35 \log Pr \\ &= 98,4 - 26,35 \log 41,09 = 98,4 - 42,52 = 55,88 \end{aligned}$$

$$Pir = \frac{20 \cdot 55,88 + 500 \log 41,09 - 1951,4}{- 50 \log 41,09 + 55,88 + 120,4} = -0,281$$

Indek penetrasi aspal keras Pertamina Pen 60/70 (- 0,279) lebih rendah bila dibandingkan dengan aspal keras Esso Pen 60/70 (- 0,281). Indek penetrasi merupakan nilai yang menyatakan sifat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur. Aspal yang tinggi nilai indek penetrasinya makin peka terhadap perubahan suhu.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilaksanakan dan pembahasan, disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil pemeriksaan karakteristik bahan baik individual maupun campuran, aspal keras Pertamina Pen 60/70 dan aspal keras Esso Pen 60/70 dapat digunakan sebagai bahan ikat dalam campuran beton aspal. Kedua jenis aspal tersebut secara umum memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga.
2. Kadar aspal yang bisa dipergunakan untuk campuran dengan persyaratan VIM-PRD adalah 6,1 % hingga 6,6 % untuk aspal keras Pertamina Pen 60/70 dan untuk aspal keras Esso Pen 60/70 pada kadar aspal 6,5 % hingga 7 %.
3. Berdasarkan uji Marshall konvensional aspal Pertamina dan aspal Esso memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 7 % s/d 7,9 %, tetapi pada kadar aspal 6,6 % s/d < 7 % aspal Esso tidak memenuhi spesifikasi.
4. Dari analisis didapatkan nilai modulus kekakuan aspal yang didasarkan pada temperatur 30 °C dengan metode Brown sebesar 4,279 MPa dan Indek Penetrasi -0,279 untuk aspal keras Pertamina Pen 60/70 sedangkan untuk aspal keras Esso Pen 60/70 sebesar 4,353 MPa dengan Indek Penetrasi -0,281.
5. Berdasarkan penelitian atas evaluasi sifat Marshall dan Nilai Struktural untuk campuran beton aspal menggunakan aspal keras Pertamina Pen 60/70 lebih efisien dari pada menggunakan aspal keras Esso Pen 60/70.

## 5.2 Saran

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan mempertimbangkan hal - hal sebagai berikut :

1. Campuran beton aspal dengan variasi sampel kadar aspal yang berbeda disertai variasi gradasi serta sifat agregat sebagai bahan susunnya.
2. Penelitian dengan beberapa kombinasi sifat Marshall dan Nilai Stuktural (modulus kekakuan dan koefisien kekuatan relatip bahan) lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ahmad, 2001. *Pengaruh Variasi Suhu Perkerasan Terhadap Modulus Elastisitas Dan Angka Poisson Campuran Beton Aspal Yang Menggunakan Aspal Keras AC 60/70 Merek Pertamina Dan Aspal Keras AC 60/70 Merek Esso*, Tesis S-2 MSTT UGM.
2. Ahmad Purwadi, Nawawi, 1995. *Kesalahan Umum Penerapan SMA Selama Ini Dan Langkah-langkah Perbaikan Yang Harus Dilakukan*, Makalah KRTJ 4 Padang.
3. Ansori, 2000. *Pengaruh Peningkatan Jumlah Tumbukan Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Panas – Agregat Berdasarkan Uji Marshall*, Tesis S-2 MSTT UGM.
4. Dadang Mohamad, 1998. *Model Peramalan Kondisi Perkerasan Jalan*, Majalah Jalan, HPJI.
5. Das'at Widodo, 1999. *Aspal Sebagai Bahan Perkerasan Jalan*, Kopertis Wil VI Jateng.
6. Departemen Pekerjaan Umum, 1992. *Buku 3 Spesifikasi Umum*, Direktorat Jenderal Bina Marga.
7. Departemen Pekerjaan Umum, 1999. *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*.
8. Djoko Moerwono, 1998. *Perancangan Prasarana Transportasi*, MSTT UGM.
9. Heukelom W and Wijga PWO, 1970. *Bitumen Testing*.
10. Mahboub K., D.N. Little Jr. 1991, *An Improved Asphalt Mix Design Procedure*, Journal of the Asphalt Paving Technologists, Vol. 60.
11. Muhammad Ali Akbar, 2000. *Evaluasi Nilai Struktural Aspal Minyak (Pertamina) Dengan Modifier Bitumen Asbuton*, Tesis S-2 MSTT UGM.
12. Oglesby, CH, 1975. *Highway Engineering*, John Wiley and Sons, New York.
13. Pusat Pelatihan MBT, 1997. *Quality Control Asphalt Concrete*, Bandung.
14. Shirley L Hendarsin, 2000. *Perencanaan Teknik Jalan Raya*, Politek Bandung.
15. Silvia Sukirman, 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova.
16. Sudjana, 1996. *Metoda Statistika*, Tarsito Bandung.
17. The Asphalt Institute, 1983. *Asphalt Technology and Construction Practices*, Educational Series No.1 (ES-1) Second Edition.
18. The Asphalt Institut, 1970. *Thickness Design*, Manual Series No. 1.