



**PENGARUH BAHAN TAMBAHAN KARET PADAT
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN
HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE
(HRS - WC)**

TESIS

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil

Oleh

Nurkhayati Darunifah
NIM. L4A002065

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2007

LEMBAR PENGESAHAN
TESIS

PENGARUH BAHAN TAMBAHAN KARET PADAT
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN
HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE
(HRS - WC)

Disusun oleh :

Nurkhayati Darunifah
NIM. L4A002065

Tesis ini telah disetujui untuk dipresentasikan pada seminar akhir

Semarang, 09 - Juli - 2007

Pembimbing I

(Muhrozi, Ir, MS)

Pembimbing II

(Drs. Bagus Priyatno, ST, MT)

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH BAHAN TAMBAHAN KARET PADAT
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN
HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE
(HRS - WC)**

Disusun oleh :

Nurkhayati Darunifah
NIM. L4A002065

Dipertahankan di Depan Tim Penguji pada tanggal :
09 - Juli – 2007

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

TIM PENGUJI :

- | | | |
|---------------------------------|----------------|-------|
| 1. Ir. Muhrozi, MS | (Ketua) | |
| 2. Drs. Bagus Priyatno, ST, MT | (Sekretaris) | |
| 3. Dr. Ir. Sri Prabandiyani, MS | (Anggota 1) | |
| 4. Ir. Djoko Purwanto, MS | (Anggota 2) | |

Semarang, - - 2007

Universitas Diponegoro
Program Pascasarjana
Magister Teknik Sipil
Ketua,

Dr. Ir. Suripin, M. Eng
Nip. 131 668 511

ABSTRAKSI

Kinerja campuran agregat aspal pada konstruksi perkerasan jalan dicoba untuk ditingkatkan dengan cara memodifikasi campuran aspal sehingga didapatkan perubahan sifat campuran aspal, khususnya pada penetrasi dan titik lembeknya dengan menambahkan bahan tambahan karet padat bahan vulkanisir sehingga diharapkan pada penelitian ini bisa mengurangi kepekaan aspal terhadap temperatur dan keelastisannya.

Penelitian dilakukan dengan jalan membandingkan beberapa campuran aspal yang menggunakan beberapa variasi kadar karet pada aspal (0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%), serta diteliti juga mengenai perbandingan sifat – sifat campuran HRS–WC dengan menggunakan acuan kadar aspal optimum rencana (P_b) yang kemudian di variasikan menjadi beberapa variasi kadar aspal (6,0%, 6,5%, 7,0%, 7,5% dan 8%) pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dan terakhir dilakukan penelitian untuk campuran HRS – WC dengan menggunakan acuan kadar aspal optimum (KAO) yang kemudian kadar aspalnya di variasikan (6,6%, 7,1%, 7,6% dan 8,1%) serta ditambahkan variasi kandungan karet pada masing – masing kadar aspal (0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%) pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dan pada kondisi *refusal density* (2 x 400) tumbukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa KAO yang dipakai (7,1%) sangat mempengaruhi hasil dari nilai *Density*, VMA, VIM, *Flow*, Stabilitas, MQ dan IRS. Campuran HRS - WC dengan berbagai modifikasi prosentase karet pada aspal mampu meningkatkan serta mempertahankan kerapatannya, ikatan antar agregat dengan aspal sebagai bahan pengikat semakin kuat sehingga dapat menahan beban lalu lintas yang berat tanpa terjadi bleeding, keawetannya meningkat, elastisitas aspal meningkat dan semakin fleksibel. Penambahan karet pada aspal belum tentu menghasilkan kualitas campuran aspal yang jelek. Untuk jenis campuran HRS–WC dengan variasi kadar karet pada aspal akan menghasilkan nilai struktural campuran aspal yang lebih baik sewaktu kadar aspal 7,1% dengan penambahan karet pada aspal sebesar 2%

Kata kunci : karet padat bahan vulkanisir, HRS - WC, kadar aspal optimum.

ABSTRACT

Agregate mixture performance on pavement construction could be improved by modifying mixture pavement, so that got asphalt mixture denaturing, specially at flabby dot and penetration by enhancing additional materials, solid rubber of materials vulcanize, so that expected at this research can lessen sensitivity pavement to temperature and elasticity.

Reseach done by way of comparing some asphalt mixture using some rubber rate variation of asphalt (0%, 1%, 2%, 3%, 4% and 5%), and also checked the regarding comparasion of nature of HRS – WC mixture by using plan optimum asphalt rate references (Pb), then variation become some asphalt rate variation (6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5% and 8.0%) at standart compact number of blow (2 x 75) (standart Marshall) and the last research for the mixture of HRS – WC is by using optimum asphalt rate reference (KAO) then asphalt rate variated into (6.6%, 7.1%, 7.6% and 8.1%) and also enhanced some variation of rubber into each asphalt rate (0%, 1%, 2%, 3%, 4% and 5%) at compact number, in standart condition (2 x 75) and the refusal density (2 x 400) condition.

Result of reseach indicated that KAO weared (7.1%) very influencing esult from density value, VMA, VIM, Flow, Stability, MQ and also IRS. Mixture HRS – WC with various modification is percentage of rubber at asphalt can improve and also maintain its closeness, tying between aggregate with asphalt upon which fastener gain strength so that can detain heavy traffic burden without happened bleeding, its mount, asphalt elasticity mount and flexible progressively. Addition of rubber at asphalt is not exactly result bad quality asphalt mixture. For the type of HRS – WC mixture with rubber rate variation of asphalt will yield structural value will result better asphalt mixture in rate time pavement 7.1% with addition of rubber at asphalt equal to 2%.

Key word : solid rubber of vulcanizing materials, HRS – WC, optimum asphalt rate.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAKSI	iii
ABSTRACTION	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN	3
1.2.1. Maksud.....	3
1.2.2. Tujuan	3
1.3. MANFAAT PENELITIAN.....	3
1.4. BATASAN MASALAH	3
1.5. HIPOTESA.....	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. UMUM	6
2.2. AGREGAT	7
2.2.1. Agregat kasar	7
2.2.2. Agregat halus	7
2.2.3. Mineral pengisi (<i>filler</i>).....	8
2.3. KARET PADAT BAHAN VULKANISIR.....	9
2.4. ASPAL	10
2.5. CAMPURAN HRS-WC.....	13

2.6.	HASIL PENELITIAN YANG RELEVAN.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1.	UMUM.....	18
3.2.	BAHAN DAN PERALATAN PENELITIAN.....	18
	3.2.1. Bahan Penelitian.....	18
	3.2.2. Peralatan Penelitian.....	18
3.3.	PERENCANAAN DAN PENGUJIAN.....	21
	3.3.1. Perencanaan Campuran.....	22
	3.3.2. Pengujian Campuran Beraspal Panas.....	23
3.4.	PERENCANAAN JUMLAH BENDA UJI.....	25
3.5.	PENGUJIAN <i>MARSHALL</i>	28
3.7.	ANALISA HITUNGAN.....	30
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		
4.1.	HASIL PENGUJIAN MATERIAL.....	33
	4.1.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.....	33
	4.1.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal.....	34
	4.1.3. Hasil Perhitungan Kadar Aspal Rencana.....	35
	4.1.4. Hasil Pemeriksaan <i>Marshall</i> (Tahap I).....	36
	4.1.5. Hasil Pemeriksaan <i>Marshall</i> pada Kadar Aspal Optimum (Tahap II).....	38
4.2.	PEMBAHASAN.....	43
	4.2.1. Evaluasi Hasil Laboratorium terhadap Karakteristik Aspal dengan variasi kadar karet (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%).....	44
	4.2.2. Evaluasi Hasil Laboratorium terhadap Karakteristik Campuran HRS-WC Tahap I pada kondisi standard terhadap variasi Kadar aspal (6,0%, 6,5%, 7,0%, 7,5% dan 8,0%) dengan prosentase kadar karet dalam aspal 0%.....	45
	4.2.3. Evaluasi Hasil Laboratorium terhadap Karakteristik Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi standard dan kondisi <i>refusal density</i> terhadap variasi variabel perbedaan komposisi karet dalam aspal (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%).....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1.	KESIMPULAN.....	75

5.2. SARAN	78
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1.	Pengujian serta Persyaratan Agregat dan <i>Filler</i>	9
Tabel 2.2.	Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras Pen. 60/70	13
Tabel 2.3.	Ketentuan Sifat-sifat Campuran.....	15
Tabel 2.4.	Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal	16
Tabel 2.5.	Contoh batas-batas “Bahan Bergradasi Senjang”	16
Tabel 3.1.	Target Gradasi dan perhitungan berat Campuran HRS-WC.....	22
Tabel 3.2.	Uji <i>Marshall</i> Standar (2 x 75) tumbukan dalam menentukan Kadar Aspal Optimum	26
Tabel 3.3.	Uji <i>Marshall</i> dan Perendaman Standar Kondisi Standar (2x75) Tumbukan pada KAO	27
Tabel 3.4.	Uji <i>Marshall</i> dan Perendaman Standar Kondisi <i>refusal</i> <i>density</i> (2x400) tumbukan pada KAO	27
Tabel 4.1.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat	33
Tabel 4.2.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina.....	34
Tabel 4.3.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina Dengan Variasi Kadar Karet dalam Aspal.....	34
Tabel 4.4.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC dengan variasi kadar Aspal pada (2x75) tumbukan	37
Tabel 4.5.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 0% Karet).....	38
Tabel 4.6.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 1% Karet).....	39
Tabel 4.7.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 2% Karet).....	39

Tabel 4.8.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 3% Karet).....	39
Tabel 4.9.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 4% Karet).....	40
Tabel 4.10.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 5% Karet).....	40
Tabel 4.11.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 0% Karet).....	41
Tabel 4.12.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 1% Karet).....	41
Tabel 4.13.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 2% Karet).....	41
Tabel 4.14.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 3% Karet).....	42
Tabel 4.15.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 4% Karet).....	42
Tabel 4.16.	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi (2x400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 5% Karet).....	42
Tabel 4.17.	Hasil Pengujian Perendaman Standard Tahap II pada kondisi (2x75) tumbukan.....	43
Tabel 4.18.	Hasil Pengujian Perendaman Standard Tahap II pada kondisi (2x400) tumbukan.....	43

Tabel 4.19.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Dengan Variasi Kadar Karet Pada Aspal	44
Tabel 4.20.	Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>Density</i> , VMA, VIM dan VFA Campuran HRS – WC.....	45
Tabel 4.21.	Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas, <i>Flow</i> , dan MQ Campuran HRS – WC.....	49
Tabel 4.22.	Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>Density</i> Campuran HRS – WC	52
Tabel 4.23.	Prosentase Peningkatan Nilai <i>Density</i> Pada Campuran HRS-WC	53
Tabel 4.24.	Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai VMA campuran HRS-WC pada Kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada Kondisi standard (2x75) tumbukan.....	54
Tabel 4.25.	Prosentase Penurunan nilai VMA pada Campuran HRS-WC	55
Tabel 4.26.	Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai VIM campuran HRS-WC pada Kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada Kondisi standard (2x75) tumbukan.....	56
Tabel 4.27.	Prosentase Penurunan Nilai VIM pada Campuran HRS-WC.....	57
Tabel 4.28.	Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai VFA campuran HRS-WC pada Kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada Kondisi standard (2x75) tumbukan.....	58
Tabel 4.29.	Prosentase Peningkatan Nilai VFA pada Campuran HRS-WC.....	59
Tabel 4.30.	Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas campuran HRS-WC pada Kondisi standard (2x75) tumbukan pada Kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan	62
Tabel 4.31.	Prosentase Peningkatan Nilai Stabilitas Pada campuran HRS-WC....	63
Tabel 4.32.	Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>Flow</i> campuran HRS-WC pada Kondisi standard (2x75) tumbukan pada Kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan.....	64
Tabel 4.33.	Prosentase Peningkatan dan Penurunan nilai <i>Flow</i> Pada campuran HRS-WC	65

Tabel 4.34.	Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai MQ campuran HRS-WC pada Kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada Kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan.....	66
Tabel 4.35.	Prosentase Peningkatan Nilai MQ Pada campuran HRS-WC	67
Tabel 4.36.	Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai IRS campuran HRS-WC pada Kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada Kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan.....	70
Tabel 4.37.	Prosentase Peningkatan nilai IRS pada campuran HRS-WC	71
Tabel 4.38	Rekapitulasi Hasil analisa <i>Marshall</i> Tahap II.....	72

DAFTAR GAMBAR

			Halaman
Gambar	3.1.	Diagram Alir Metode Penelitian.....	20
Gambar	3.2.	Target Gradasi	22
Gambar	4.1.	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	37
Gambar	4.2.	Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs Karakteristik Sifat Fisik Aspal.....	44
Gambar	4.3.	Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs <i>Density</i> , VMA, VIM Dan VFA.....	47
Gambar	4.4.	Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs Stabilitas, <i>Flow</i> , dan MQ.....	49
Gambar	4.5.	Grafik Hubungan variasi kadar Aspal vs <i>Density</i> pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan.....	52
Gambar	4.6.	Grafik Prosentase Peningkatan nilai <i>Density</i>	53
Gambar	4.7.	Grafik Hubungan variasi kadar Aspal vs VMA pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan.....	54
Gambar	4.8.	Grafik Prosentase Peningkatan nilai VMA.....	55
Gambar	4.9.	Grafik Hubungan variasi kadar Aspal vs VIM pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan.....	56
Gambar	4.10.	Grafik Prosentase Peningkatan Nilai VIM	57
Gambar	4.11.	Grafik Hubungan variasi kadar Aspal vs VFA pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan.....	58
Gambar	4.12.	Grafik Prosentase Peningkatan Nilai VFA	59

Gambar	4.13.	Grafik Hubungan variasi kadar Aspal vs Stabilitas pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan	62
Gambar	4.14.	Grafik Prosentase Peningkatan Nilai Stabilitas	63
Gambar	4.15.	Grafik Hubungan variasi kadar Aspal vs <i>Flow</i> pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan.....	64
Gambar	4.16.	Grafik Prosentase Peningkatan Nilai <i>Flow</i>	65
Gambar	4.17.	Grafik Hubungan variasi kadar Aspal vs MQ pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan.....	66
Gambar	4.18.	Grafik Prosentase Peningkatan Nilai MQ.....	67
Gambar	4.19.	Grafik Hubungan variasi kadar Aspal vs IRS pada kondisi standard (2x75) tumbukan dan pada kondisi <i>refusal density</i> (2x400) tumbukan.....	70
Gambar	4.20.	Grafik Prosentase Peningkatan Nilai IRS.....	71

DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN

Lambang

VIM	=	<i>Void In the Mix</i> (Persen rongga dalam campuran)
VFA/VFB	=	<i>Void Filled with Asphalt</i> (Persen Rongga terisi Aspal)
VMA	=	<i>Void In Mineral Aggregate</i>
SSD	=	<i>Saturated Surface Dry</i>
Gsb	=	Berat Jenis <i>Bulk</i> total agregat dalam gr/cc
Gsa	=	Berat Jenis <i>Apparent</i> dari total agregat
Gmm	=	Berat Jenis Maksimum Teoritis dari campuran padat tanpa rongga udara
G _{se}	=	Berat Jenis Efektif dari total agregat
Pen	=	Penetrasi
P_1, P_2, P_3, P_n	=	Persen berat dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}, G_{sbn}$	=	Berat Jenis <i>Bulk</i> dari agregat 1, 2, 3, ..., n
P _b	=	Kadar aspal dari total berat campuran
G _b	=	Berat Jenis dari aspal
P _s	=	Berat Jenis <i>Bulk</i> dari campuran
P _{mm}	=	Persentase total agregat
Cm	=	Centimeter
mm	=	Milimeter
%	=	Persen
D	=	Dry
S	=	Soaked
°C	=	Derajat Celcius

Singkatan

AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing Materials</i>
AC	= <i>Asphalt Concrete</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
KAO	= Kadar Aspal Optimum
MF	= <i>Marshall Flow</i> (kelelehan)
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
MS	= <i>Stabilitas Marshall</i>
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
IRS	= Indeks Stabilitas Sisa (<i>Indeks or Retained Strength</i>)
Msi	= <i>Stabilitas Marshall</i> kondisi setelah direndam selama 24 jam dengan suhu 60° C
MSs	= <i>Stabilitas Marshall</i> kondisi Standar
HRS	= <i>Hot Rolled Sheet</i>
HRS-WC	= <i>Hot Rolled Sheet Wearing Coarse</i>

B A B I

P E N D A H U L U A N

1.1. LATAR BELAKANG

Pembangunan dewasa ini telah mencapai seluruh aspek bidang kehidupan, sesuai dengan makin berkembangnya berbagai kebutuhan secara terus menerus sehingga diperlukan kecermatan dan ketepatan dalam menganalisa segala tuntutan masyarakat. Untuk mencapai keberhasilan yang semakin meningkat maka tidak bisa lepas dari pembangunan sarana dan prasarana yang seimbang dengan dinamika bangsa.

Secara umum fasilitas transportasi menduduki peringkat utama dalam pembangunan. Ini dapat kita ketahui apabila bidang transportasi tidak diperhatikan maka praktis segala kegiatan akan lumpuh total. Selain itu juga dengan adanya sarana transportasi yang baik, lancar, handal, berkemampuan tinggi akan sekaligus menggerakkan bangsa. Dari ketiga bidang transportasi di Indonesia, transportasi udara, transportasi darat dan transportasi air, transportasi daratlah yang paling banyak diminati karena transportasi darat yang paling banyak digunakan serta paling banyak melayani kebutuhan transportasi manusia.

Tingginya kebutuhan akan pelayanan transportasi darat ini berarti bahwa tuntutan kebutuhan akan prasarana dari transportasi darat juga semakin tinggi pula. Baik kebutuhan dalam prasarana transportasi darat yang baru maupun pada peningkatan dan pemeliharaan dari prasarana transportasi darat yang sudah ada.

Pesatnya pertumbuhan lalu lintas juga cenderung memperpendek umur pelayanan dari prasarana transportasi darat, misalnya saja pada pembuatan jalan baru maupun pemeliharaan jalan yang ada dituntut agar semakin tinggi kualitasnya, baik dari segi kekuatan maupun dari segi keamanan dan kenyamanannya. Sementara dilain pihak dana pembangunan sangatlah terbatas. Untuk memenuhi tuntutan tersebut maka perlu diupayakan adanya efisiensi dari berbagai komponen pembangunan jalan, baik dari bahan konstruksi perkerasan, peralatan yang digunakan maupun biaya-biaya konstruksi lainnya. Diversifikasi bahan konstruksi perkerasan jalan dan teknologi *Highway Engineering* merupakan salah satu langkah yang tengah diupayakan pemerintah untuk menjawab permasalahan tersebut.

Pemanfaatan aspal di Indonesia dapat diterapkan secara meluas dalam program pembinaan jalan. Pada tahun 1980-an Bina Marga mengembangkan campuran aspal yang dikenal dengan Lapis Tipis Aspal Beton (LATASTON) atau *Hot Rolled Sheet* (HRS) yang diyakini menghasilkan jalan dengan kelenturan dan keawetan yang cukup baik. Campuran aspal menjadi tahan terhadap retak, akan tetapi terjadi kerusakan berupa perubahan bentuk seperti timbulnya alur plastik yang tidak dapat dihindarkan. Kerusakan jalan ini semakin parah dan berkembang dengan cepat terutama pada jalan-jalan dengan lalu lintas padat.

Untuk memperbaiki kinerja campuran agregat aspal dapat pula dengan memodifikasi sifat-sifat fisik aspal khususnya pada penetrasi dan titik lembeknya dengan menggunakan bahan tambahan sehingga diharapkan bisa mengurangi kepekaan aspal terhadap temperatur dan keelastisannya. Karet padat bahan vulkanisir adalah bahan tambahan untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC), bahan ini berasal dari karet alam yang telah dicetak dalam bentuk lembaran-lembaran tipis, diharapkan dengan menambahkan campuran karet padat bahan vulkanisir kedalam konstruksi perkerasan jalan dapat memberikan banyak keuntungan, diantaranya permukaan perkerasan menjadi lebih tahan lama, tahan terhadap retakan akibat lendutan yang berlebihan serta retakan akibat kelelahan bahan, meningkatkan daya cengkeram permukaan akibat pengereman dan mengurangi kebisingan akibat gesekan ban roda dengan permukaan perkerasan.

Salah satu parameter pada campuran aspal untuk menganalisa kelelahan bahan adalah dengan meneliti nilai tegangan dan regangan dari bahan campuran yang menunjukkan kekakuannya. Nilai modulus kekakuan suatu bahan campuran agregat aspal dapat diperoleh dari hitungan teoritis (*Indirect Methods*) maupun dari hasil pengujian dengan alat laboratorium (*Direct Methods*).

1.2. MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

1.2.1. Maksud

Penelitian ini dilaksanakan dengan maksud untuk mengetahui / mendapatkan beberapa hal, antara lain ;

- a. Mengetahui perubahan sifat aspal, perubahan perilakunya serta sifat elastisitas dan kekakuan campuran beraspal panas yang ditambahkan campuran karet padat bahan vulkanisir dan membandingkannya dengan campuran beraspal yang standard (Campuran Beraspal yang dibuat sesuai Pedoman Perencanaan Beraspal Panas).
- b. Memberikan gambaran sejauh mana pengaruh konsentrasi tingkat kekakuan campuran beraspal panas HRS-WC yang telah ditambahkan bahan campuran karet padat bahan vulkanisir.

1.2.2. Tujuan

Melihat korelasi kadar elastisitas aspal pada campuran HRS-WC dengan bahan tambahan karet padat bahan vulkanisir terhadap sifat *Marshall*nya dan uji perendaman standar pada beberapa variasi campuran karet.

1.3. MANFAAT PENELITIAN

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada semua pihak yang terkait dalam pekerjaan campuran aspal panas, terutama tentang pengaruh penambahan karet padat bahan vulkanisir terhadap nilai kekuatan dan keawetan HRS-WC, baik itu pada unsur perencanaan, pelaksanaan maupun pengawasan.

1.4. BATASAN MASALAH

Penelitian ini perlu dibatasi agar dapat dilakukan secara efektif dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian.

Adapun lingkup penelitian ini terbatas pada ;

1. Perencanaan campuran menggunakan perencanaan campuran untuk lapis permukaan HRS – WC mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas dari Bina Marga edisi Agustus 2001.
2. Sumber campuran beton aspal yang dipakai pada penelitian terdiri dari ;
 - a. Aspal minyak Pen. 60/70 produksi PT. PERTAMINA.
 - b. Agregat (kasar, halus dan abu batu) dari Kali Kuto Batang.

3. Uji analisis *Void* dinyatakan dalam uji *Void In the Mix* (VIM), *Void Filled with Asphalt* (VFA), *Void in Mineral Aggregate* (VMA).
4. Uji *Marshall* test terdiri dari uji stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ) dan uji Indeks kekuatan sisa standard dinyatakan dalam uji perendaman *Marshall* selama 24 jam dengan suhu 60 ° C.
5. Pengujian dilakukan terhadap aspal dan campuran HRS–WC dengan variasi prosentase karet 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%.
6. Penelitian yang dilakukan terbatas pada pengujian laboratorium dan tidak melakukan pengujian lapangan.

1.5. HIPOTESA

Dalam penelitian ini dilandasi oleh suatu hipotesa. Ditolak atau diterimanya hipotesa tersebut ditentukan oleh hasil akhir penelitian. Jadi penelitian ini bisa saja sesuai dengan hipotesa atau berbeda dengan perkiraan hipotesa yang dibuat.

Adapun hipotesa dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Semakin meningkatnya prosentase penambahan kadar karet pada campuran HRS-WC, akan menurunkan nilai penetrasi dari campuran karet HRS-WC.
2. Meningkatnya prosentase penambahan kadar karet pada campuran HRS–WC akan meningkatkan stabilitas dan *Marshall Quotient* campuran karet HRS–WC.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sesuai dengan petunjuk mengenai penyusunan tesis, maka penulisan tesis yang akan dilakukan terdiri dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, analisa dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

a. BAB I : PENDAHULUAN

Merupakan awal dari penyusunan tesis. Dalam bab ini dikemukakan arah judul tesis. Bab ini berisi latar belakang, maksud dan tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah, sistematika serta hipotesa dari penulisan tesis ini.

b. BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang teori-teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan dari penelitian, serta syarat-syarat untuk melaksanakan penelitian. Dalam bab ini juga keaslian penelitian serta tinjauan pustaka dikemukakan secara sistematis dan kronologis.

c. BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini dituliskan mengenai tahapan dan cara penelitian serta uraian mengenai pelaksanaan penelitian. Bab ini berisikan uraian tentang data dan metode yang akan digunakan dalam penelitian maupun penyelidikan serta hipotesa yang diajukan dan ingin diteliti.

d. BAB IV : ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini merupakan bab yang berisikan tentang hasil-hasil penelitian dan juga berisi tentang analisa dari hasil penelitian beserta pembahasannya. Hasilnya ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik, beserta tabel dengan keterangan atau judul yang jelas. Hasil yang ditulis dalam kesimpulan harus terlebih dahulu muncul dalam bagaian pembahasan ini. Bab ini merupakan bagian yang sangat penting dari keseluruhan penelitian.

e. BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab yang terakhir ini berisikan kesimpulan-kesimpulan setelah dilakukan analisa dan pembahasan. Kesimpulan dinyatakan secara khusus dan menjawab semua pembahasan yang diteliti atau diamati. Kesimpulan merupakan rangkuman dari hasil-hasil yang berasal dari bab permasalahan secara rinci. Selain berisikan kesimpulan, dalam bab ini juga dicantumkan mengenai saran ataupun rekomendasi yang didasarkan pada hasil penelitian dan penilaian menurut pendapat, sudut pandang serta pemikiran peneliti.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. UMUM

Pada kurun waktu beberapa tahun belakangan ini, *Hot Rolled Sheet* (HRS) telah banyak digunakan di Indonesia sebagai lapisan permukaan karena sifatnya yang kedap air serta tahan lama. Dengan sifat agregatnya yang bergradasi senjang dan mengandung sangat sedikit agregat yang berukuran sedang, sehingga campuran tersebut dapat menyerap kadar aspal yang relatif tinggi. Hal ini menyebabkan *Hot Rolled Sheet* (HRS) ini juga memberikan suatu permukaan yang sanggup menerima beban tanpa retak.

Rancangan campuran perkerasan aspal meliputi pemilihan jenis aspal, pemilihan material agregat serta penentuan proporsi yang optimum dari agregat dan aspal didalam campuran. Rancangan campuran ini harus mempertimbangkan sifat-sifat ; kekuatan, ketahanan terhadap retak, ketahanan terhadap kelelahan, kelenturan, kekesatan, kedap air dan mudah dikerjakan.

Tujuan keseluruhan dari rancangan campuran perkerasan aspal adalah mendapatkan hasil yang efektif dari campuran yang dihasilkan, sehingga memiliki ;

- a. Aspal yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan.
- b. Stabilitas campuran yang cukup untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas tanpa terjadi kerusakan atau penurunan.
- c. Rongga yang cukup didalam total campuran yang telah dipadatkan untuk menyediakan sedikit penambahan pemadatan oleh beban lalu lintas dan untuk menyediakan sedikit ruang pemekaran aspal akibat kenaikan suhu tanpa terjadi pembilasan, *bleeding* dan kehilangan stabilitas.
- d. Membatasi kadar rongga untuk membatasi permeabilitas bahan terhadap masuknya udara dan kelembaban yang sangat berbahaya kedalam perkerasan.
- e. Kemudahan pengerjaan yang cukup untuk memberikan kemudahan dan efisiensi didalam penghamparan tanpa terjadi segregasi dan tanpa mengorbankan stabilitas dan performanya.
- f. Untuk campuran lapis permukaan, agregat harus memiliki tekstur permukaan dan kekerasan untuk menyediakan tahan gesek yang cukup pada kondisi cuaca buruk.

Keawetan campuran perkerasan aspal sebagian besar dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antar aspal dan agregat dalam menahan air.

2.2. AGREGAT

Agregat adalah suatu bahan yang terdiri dari mineral padat dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran agregat aspal yang berupa berbagai jenis butiran-butiran atau pecahan yang termasuk didalamnya antara lain; pasir, kerikil, batu pecah atau kombinasi material lain yang digunakan dalam campuran aspal buatan. Proporsi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) didasarkan kepada spesifikasi dan gradasi yang tersedia. Jumlah agregat didalam campuran aspal biasanya 90 sampai 95 persen dari berat, atau 75 samapai 85 persen dari volume dan memberikan kontribusi biaya, berkisar 30% dari biaya keseluruhan pembangunan jalan. Didalam *Hot Rolled Sheet* (HRS), agregat kasar digunakan untuk pengembangan volume mortar sehingga campuran menjadi lebih ekonomis, juga untuk mendukung beban lalu lintas.

Agregat dapat diperoleh secara alami atau buatan. Agregat yang terjadi secara alami adalah pasir, kerikil dan batu. Kebanyakan agregat memerlukan beberapa proses seperti dipecah, dicuci sebelum agregat tersebut bisa digunakan dalam campuran aspal. Jenis pengujian dan persyaratan untuk agregat dan *filler* tercantum dalam Tabel. 2.1.

Agregat dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yaitu :

2.2.1. Agregat kasar

Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan saringan no.8 (2,36 mm), menurut standart ASTM atau tertahan pada saringan no.7, menurut *Standart British*. Fungsi agregat kasar dalam campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS) adalah untuk mengembangkan volume mortar, dengan demikian membuat campuran lebih ekonomis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan.

2.2.2. Agregat halus

Agregat halus dapat berupa pasir, batu pecah atau kombinasi dari keduanya. Agregat halus adalah material yang pada prinsipnya lewat saringan 2.36 mm dan tertahan pada saringan 75 μ m atau saringan no. 200.

Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar

partikel. Berkenaan dengan hal ini, sifat-sifat khas yang diperlukan dari agregat adalah sudut permukaan, kekasaran permukaan, bersih dan bukan bahan organik. Dalam konstruksi *Hot Rolled Sheet* (HRS) komposisi agregat halus merupakan bagian yang terbesar sehingga sangat mempengaruhi kinerja pada saat masa konstruksi maupun pada masa pelayanan.

2.2.3. Mineral pengisi (*filler*)

Filler adalah material yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, Portland semen dan abu batu. *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran, namun demikian jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampau tinggi kadar *filler* maka cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas. Pada sisi lain kadar *filler* yang terlampau rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. Jumlah *filler* ideal antara 0.6 sampai 1.2, yaitu perbandingan prosentase *filler* dengan prosentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah *Dust Proportion*. *Filler* berperan dalam campuran aspal dengan 2 macam cara ; yaitu pertama *filler* sebagai modifikasi dari gradasi pasir yang menimbulkan kepadatan campuran dengan lebih banyak titik kontak antara butiran partikel, hal ini akan mengurangi jumlah aspal yang akan mengisi rongga-rongga yang tersisa didalam campuran. Sedangkan peran kedua adalah suatu cara yang baik untuk mempengaruhi kinerja *filler* dengan mempertimbangkan proporsi yang menguntungkan dari komposisi agregat halus, *filler* dan aspal didalam mortar, selanjutnya sifat-sifat mortar ini tergantung pada sifat asli dari pasir, jumlah takaran dalam campuran aspal serta *viskositas* pasta atau bahan pengikat yang digunakan.

Jenis pengujian dan persyaratan untuk agregat dan *filler* tercantum dalam Tabel. 2.1.

Tabel 2.1 Pengujian serta Persyaratan Agregat dan *Filler*

No	Pengujian	Metoda	Syarat
Agregat Kasar			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3 \%$
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1070-1990	$\geq 2.5 \text{ gr/cc}$
3	Berat jenis semu	SNI 03-1969-1990	-
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1969-1990	-
5	Keausan / <i>Los Angeles Abrasion Test</i>	SNI 03-2417-1991	$\leq 40 \%$
6	Kepekaan agregat terhadap aspal	SNI 06-2439-1991	$\geq 95\%$
7	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D-4791	Maks 10 %
Agregat Halus			
1	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3 \%$
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5 \text{ gr/cc}$
3	Berat jenis semu	SNI 03-1970-1990	-
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1970-1990	-
5	<i>Sand equivalent</i>	SNI-03-4428-1997	$\geq 50 \%$
Filler			
1	Berat jenis	SNI 15-2531-991	$\geq 1 \text{ gr/cc}$

2.3. KARET PADAT BAHAN VULKANISIR

Sebagai pelapis ban vulkanisir, lapisan ini berbentuk lembaran karet yang lunak sehingga mudah untuk dibentuk. Lapisan ini tidak begitu mendapatkan banyak perhatian dari orang.

Karet padat bahan vulkanisir yang dipakai merupakan karet yang biasa dipakai di vulkanisir ban disemarang. Karet padat lapisan luar ban vulkanisir ini sifat elastisitasnya lebih baik dibandingkan dengan karet ban mobil, karena karet ban mobil telah mengalami vulkanisir sehingga daya elastisitasnya agak berkurang. Karet padat lapisan luar ban vulkanisir ini kemungkinan besar dapat dipergunakan sebagai bahan tambahan aspal minyak, karena sifatnya sama seperti karet alam. Karena lapisan karet ini masih berbentuk padat maka didalam percobaan di laboratorium karet dicairkan dengan cara dicampur dengan minyak tanah dengan perbandingan 1 bagian karet dan 1 bagian minyak tanah.

Campuran dari karet padat bahan vulkanisir terdiri dari :

- 14 % karet alami
- 27 % keret sintetis
- 10 % minyak
- 28 % karbon-hitam / jelaga (*carbon black*)
- 13 % bahan pengisi lain
- 4 % bahan-bahan petrokimia
- 4 % serat organik

Sumber : Label Komposisi Aspal Perusahaan Tyre Retreading Compound, CV. DARAT (7.50_XI.16/ BG), Semarang.

2.4. ASPAL

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat, yang terdiri dari *hydrocarbons* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro-ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna hitam atau kecoklatan, memiliki sifat kedap air dan *adhesive*. (*British Standart, 1989*).

Aspal terbuat dari minyak mentah, melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang ditemukan bersama-sama material lain. Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa-senyawa kompleks seperti *Asphaltenese*, *Resins* dan *Oils*. Aspal 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*).

Sedang sifat aspal lainnya adalah ;

- a. Aspal mempunyai sifat mekanis (*Rheologic*), 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 maka sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).
- b. 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. Akan tetapi dengan pemanasan yang berlebihan maka akan merusak molekul-molekul dari aspal, aspal menjadi getas dan rapuh.

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

Meskipun aspal hanya merupakan bagian yang kecil dari komponen campuran beraspal, namun merupakan bagian terpenting untuk menyediakan ikatan yang awet/tahan lama (*durable*) dan menjaga campuran tetap dalam kondisi kental yang elastis. Adapun beberapa kualitas yang harus dimiliki oleh aspal untuk menjamin performa yang memuaskan, secara mendasar adalah *rheology*, *kohesi*, *adhesi* dan *durabilitas*.

Fungsi aspal dalam campuran agregat aspal adalah sebagai bahan pengikat yang bersifat *visco-elastis* dengan tingkat viskositas yang tinggi selama masa layan dan berfungsi sebagai pelumas pada saat penghamparan di lapangan sehingga mudah untuk dipadatkan.

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

Semakin besar angka penetrasi aspal (semakin kecil tingkat konsistensi aspal) akan memberikan nilai modulus elastis aspal yang semakin kecil dalam tinjauan temperatur dan pembebanan yang sama. Semakin tinggi suhu udara dan makin lambat beban yang lewat, maka modulus elastis aspal makin kecil. Lama pembebanan merupakan fungsi dari tebal perkerasan dan kecepatan kendaraan. (*Brown and Bitumen, 1984*).

Terdapat bermacam – macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal, antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Dalam pemilihan jenis aspal yang akan digunakan pada daerah yang beriklim panas sebaiknya aspal dengan indeks penetrasi yang rendah, dalam rangka mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*). Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah aspal dengan penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70.

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan

mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut, juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran.

Pemeriksaan aspal tersebut terdiri dari ;

a. Pemeriksaan Penetrasi

Nilai penetrasi di dapat dari uji penetrasi dari alat penetrometer pada suhu 25°C dengan baban 100 gr selama 5 detik, dimana dilakukan sebanyak 5 kali.

b. Pemeriksaan Titik Lembek

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengukur nilai temperatur dimana bola – bola baja mendesak turun lapisan aspal yang ada pada cincin, hingga aspal tersebut menyentuh dasar pelat yang terletak dibawah cincin pada jarak 1 (inchi), 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 oleh sifat termoplastik. Untuk aspal keras jenis penetrasi 60/70, syarat titik lembek berkisar antara 48°C – 58°C .

c. 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.

d. 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 kehilangan berat aspal maksimum adalah 0,8 % dari berat semula.

e. 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 %.

f. 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 penetrasi 60/70 disyaratkan minimal 100 cm.

g. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama. Persyaratan yang ditentukan untuk berat jenis aspal adalah 1 gr/cc.

Hasil pengujian dan persyaratan untuk aspal seperti yang tercantum dalam Tabel. 2.2.

Tabel 2.2 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras Pen. 60/70

No.	Sifat – sifat	Metoda	Pen. 60/70		Satuan
			Min	Max	
1	Penetrasi (25°C , 100 gr, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	60	79	0,1 mm
2	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	SNI 06-2434-1991	48	58	$^\circ\text{C}$
3	Titik nyala (<i>cleveland open cup</i>)	SNI 06-2433-1991	200	0	$^\circ\text{C}$
4	Kehilangan berat (163°C , 5 jam)	SNI 06-2440-1991	-	0.8	% berat
5	Kelarutan (CCl_4)	ASTM-D2042	99	-	% berat
6	Daktilitas (25°C , 5 cm per menit)	SNI 06-2432-1991	100	-	cm
7	Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	gr/cm^3

Sumber : SNI No. 1737-1989-F

2.5. CAMPURAN HRS - WC

Tujuan perencanaan campuran perkerasan aspal adalah untuk menentukan suatu campuran dengan biaya yang murah dengan gradasi dan aspal yang menghasilkan suatu campuran yang mempunyai :

- Aspal yang cukup untuk menjamin suatu perkerasan yang tahan lama.
- Stabilitas campuran yang cukup untuk menahan beban lalu lintas tanpa terjadi distorsi atau pergerakan.
- Rongga yang cukup di dalam total campuran yang dipadatkan untuk memberikan ruang akibat penambahan pemadatan beban lalu lintas dan penambahan dari pengembangan

aspal akibat meningkatnya temperatur tanpa terjadi *flushing*, *bleeding* dan kehilangan stabilitas.

- d. Kadar rongga udara yang maksimum untuk membatasi permeabilitas udara yang berbahaya dan masuknya air ke dalam campuran.
- e. Kemudahan mengerjakannya yang cukup sehingga memperoleh penghamparan campuran yang efisien tanpa terjadinya segregasi dan tanpa mengorbankan stabilitas dan tingkah lakunya.

Susunan dan kekerasan agregat yang cocok akan memberikan ketahanan terhadap slip yang cukup pada kondisi cuaca yang baik.

Sifat – sifat khas yang paling penting dari *Hot Rolled Sheet* adalah bahwa agregatnya bergradasi senjang. Sifat ini memberikan lapis aus *Hot Rolled Sheet* yang tahan cuaca dan memberikan permukaan yang awet yang dapat menerima beban berat tanpa retak.

Pada tahun 2001 Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah mengeluarkan Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas. Spesifikasi ini mengikuti trend perkembangan metoda perencanaan campuran beraspal yang berorientasi pada kinerja. Penyempurnaan spesifikasi campuran beraspal, 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 *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC). Ketentuan sifat-sifat campuran dan gradasi agregat untuk campuran aspal Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3. Ketentuan Sifat – sifat Campuran

SIFAT-SIFAT CAMPURAN			LATASIR	LATASTON		LASTON			
			KELAS A & B	WC	BASE	WC	BC	BASE	
PENYERAPAN KADAR ASPAL		MAX	2,0	1,2 UNTUK LALU LINTAS \geq 1.000.000 ESA 1,7 UNTUK LALU LINTAS \leq 1.000.000 ESA					
JUMLAH TUMBUKAN			50	75			112		
RONGGA DALAM CAMPURAN (%)	LALU LINTAS (LL)	MIN	TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	-		4,9			
	> 1 JUTA ESA	MAX		-		5,9			
	> 0,5 JUTA ESA &	MIN		4,0		3,9			
	< 1 JUTA ESA	MAX		6,0		4,9			
	LALU LINTAS (LL)	MIN		3,0			3,0		
	< 0,5 JUTA ESA	MAX		6,0			5,0		
RONGGA DALAM AGREGAT (VMA) (%)		MIN	2,0	18	17	15	14	13	
RONGGA TERISI ASPAL (%)	LALU LINTAS (LL)	MIN	TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	65		65	63	60	
	> 0,5 JUTA ESA &	MIN		68					
	< 1 JUTA ESA	MIN		75					
LALU LINTAS (LL)	< 0,5 JUTA ESA	MIN	75					73	
		MAX	800					800	
STABILITAS MARSHALL (Kg)		MAX	850					-	
KELELEHAN (mm)		MIN	2					2	
		MAX	3					-	
MARSHALL QUOTIENT (Kg/mm)		MIN	80					200	
STABILITAS MARSHALL SISA SETELAH PERENDAMAN SELAMA 24 JAM – 60°		MIN	85 UNTUK LALU LINTAS \geq 1.000.000 ESA 80 UNTUK LALU LINTAS \leq 1.000.000 ESA						
PEMADATAN DENGAN KEPADATAN MUTLAK :									
JUMLAH TUMBUKAN MARSHALL 2 X TIAP PERMUKAAN				400			600		
RONGGA DALAM CAMPURAN (%) PADA KEPADATAN MEMBAL (REFUSAL)	LALU LINTAS (LL)	MIN	TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	-		2,5			
	> 1 JUTA ESA	MAX		-		2,5			
	> 0,5 JUTA ESA &	MIN		2					
	< 1 JUTA ESA	MAX		2					
LALU LINTAS (LL)			1						
< 0,5 JUTA ESA			1						

Catatan :

1. Modifikasi *Marshall*.
2. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), penumbuk bergetar (*Vibrator Hammer*) disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya butiran agregat dalam campuran. Jika digunakan penumbuk manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 in dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inch..
3. Untuk lalu lintas yang sangat lambat atau lajur padat, digunakan ESA yang tinggi.

4. Berat jenis efektif agregat akan dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (*Gmm Test*, AASHTO T-209).
5. Direksi pekerjaan dapat menyetujui prosedur pengujian AASHTO T283 sebagai alternatif pengujian kepekaan kadar air.
Pengondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan. Stadar minimum untuk diterimanya prosedur T283 harus 80 % kuat tarik sisa.

Sumber : Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Agustus 2001.

Tabel 2.4. Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos						
		Latasir (SS)		Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	BC	Base
1 ½ "	37,5							100
1 "	25							90 – 100
¾ "	19	100	100	100	100	100	90 – 100	Maks 90
½ "	12,5			90 – 100	90 – 100	90 – 100	Maks 90	
3/8 "	9,5	90 – 100		77 – 85	65 – 100	Maks 90		
No. 8	2,36		75 – 100	50 – 72	35 – 55	28 – 58	23 – 39	19 – 45
No. 16	1,18							
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	4,75					-	-	39,5
No. 8	2,36					39,1	34,6	26,8-30,8
No. 16	1,18					25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-30,8
No. 30	0,600					19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6
No. 50	0,300					15,5	13,7	11,4

Catatan :

1. Untuk HRS-WC dan HRS-Base, paling sedikit 80 % agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus juga lolos No.30 (0,600 mm). Lihat contoh batas-batas “bahan bergradasi sejang” yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm) dan tertahan ayakan No.30 (0,600 mm) dalam tabel 2.3.
2. Untuk AC, digunakan titik kontrol gradasi agregat, berfungsi sebagai batas-batas rentang utama yang harus ditempati oleh gradasi-gradasi tersebut. Batas-batas gradasi ditentukan pada ayakan ukuran nominal maksimum, ayakan menengah (2,36 mm) dan ayakan terkecil (0,75 mm).

Tabel 2.5. Contoh batas – batas “ Bahan Bergradasi Sejang “

% lolos No. 8	40	50	60	70
% lolos No. 30	Paling sedikit 32	Paling sedikit 40	Paling sedikit 48	Paling sedikit 56
% kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Agustus 2001

2.6. HASIL PENELITIAN YANG RELEVAN

Sampai saat ini ada beberapa penelitian yang pernah dilakukan yang dapat dijadikan literatur untuk penyusunan penelitian ini, diantaranya adalah ;

1. Gerard Aponno (2000), telah melakukan studi penelitian tentang Pemanfaatan Ban Bekas Dalam Rekayasa Teknik Sipil. Penelitian ini melalui suatu prosedur penelusuran literatur yang menyeluruh terhadap pekerjaan – pekerjaan teknik sipil, sedangkan tujuan utamanya adalah mempelajari kelayakan pemanfaatan karet ban bekas dalam bidang teknik sipil, baik dalam campuran aspal – karet, campuran beton – karet, dan campuran tanah – karet. Kesimpulan dari penelitian ini adalah ;
 - a. Pemanfaatan ban bekas dalam bidang teknik sipil saat ini telah mencakup wilayah penggunaan yang luas, dan memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan.
 - b. Rangkuman hasil – hasil penelitian yang disajikan di dalam tulisan ini bukan merupakan sebuah hasil yang *definitive*, melainkan hendaknya dianggap sebagai petunjuk awal untuk melihat kemungkinan dapat digunakannya bahan campuran ini untuk suatu keperluan tertentu.
2. Iriansyah, AS (1992), melakukan percobaan lapangan Campuran Aspal Karet (Parutan Ban Bekas) Di jalan Percobaan Skala Penuh Cileunyi (Seksi 50 – 55). Penelitian ini merupakan aplikasi dari hasil percobaan dilaboratorium dimana akan dinilai keunggulan campuran aspal karet bila dibandingkan dengan campuran yang tidak menggunakan aspal karet.

Pencampuran aspal dengan menggunakan alat pencampur yang dibuat khusus dengan putaran mesin 350 rpm dan diaduk selama 20 menit, sehingga didapatkan campuran aspal karet yang cukup homogen. Suhu campuran rata – rata hasil produksi alat pencampur (AMP) mencapai 155 °C.

Penelitian menunjukkan hasil : Stabilitas campuran aspal karet menunjukkan lebih tinggi dari stabilitas campuran dengan aspal biasa. Secara umum karakteristik campuran aspal karet lebih baik dibandingkan dengan campuran menggunakan aspal biasa.

Perbedaan dalam penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya yaitu digunakan lapisan luar karet vulkanisir sebagai bahan campuran beraspal panas yang menggunakan perencanaan campuran untuk lapis permukaan HRS-WC yang mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. UMUM

Pada kurun waktu beberapa tahun belakangan ini, *Hot Rolled Sheet* (HRS) telah banyak digunakan di Indonesia sebagai lapisan permukaan karena sifatnya yang kedap air serta tahan lama. Dengan sifat agregatnya yang bergradasi senjang dan mengandung sangat sedikit agregat yang berukuran sedang, sehingga campuran tersebut dapat menyerap kadar aspal yang relatif tinggi. Hal ini menyebabkan *Hot Rolled Sheet* (HRS) ini juga memberikan suatu permukaan yang sanggup menerima beban tanpa retak.

Rancangan campuran perkerasan aspal meliputi pemilihan jenis aspal, pemilihan material agregat serta penentuan proporsi yang optimum dari agregat dan aspal didalam campuran. Rancangan campuran ini harus mempertimbangkan sifat-sifat ; kekuatan, ketahanan terhadap retak, ketahanan terhadap kelelahan, kelenturan, kekesatan, kedap air dan mudah dikerjakan.

Tujuan keseluruhan dari rancangan campuran perkerasan aspal adalah mendapatkan hasil yang efektif dari campuran yang dihasilkan, sehingga memiliki ;

- g. Aspal yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan.
- h. Stabilitas campuran yang cukup untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas tanpa terjadi kerusakan atau penurunan.
- i. Rongga yang cukup didalam total campuran yang telah dipadatkan untuk menyediakan sedikit penambahan pemadatan oleh beban lalu lintas dan untuk menyediakan sedikit ruang pemekaran aspal akibat kenaikan suhu tanpa terjadi pembilasan, *bleeding* dan kehilangan stabilitas.
- j. Membatasi kadar rongga untuk membatasi permeabilitas bahan terhadap masuknya udara dan kelembaban yang sangat berbahaya kedalam perkerasan.
- k. Kemudahan pengerjaan yang cukup untuk memberikan kemudahan dan efisiensi didalam penghamparan tanpa terjadi segregasi dan tanpa mengorbankan stabilitas dan performanya.
- l. Untuk campuran lapis permukaan, agregat harus memiliki tekstur permukaan dan kekerasan untuk menyediakan tahan gesek yang cukup pada kondisi cuaca buruk.

Keawetan campuran perkerasan aspal sebagian besar dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antar aspal dan agregat dalam menahan air.

2.2. AGREGAT

Agregat adalah suatu bahan yang terdiri dari mineral padat dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran agregat aspal yang berupa berbagai jenis butiran-butiran atau pecahan yang termasuk didalamnya antara lain; pasir, kerikil, batu pecah atau kombinasi material lain yang digunakan dalam campuran aspal buatan. Proporsi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) didasarkan kepada spesifikasi dan gradasi yang tersedia. Jumlah agregat didalam campuran aspal biasanya 90 sampai 95 persen dari berat, atau 75 samapai 85 persen dari volume dan memberikan kontribusi biaya, berkisar 30% dari biaya keseluruhan pembangunan jalan. Didalam *Hot Rolled Sheet* (HRS), agregat kasar digunakan untuk pengembangan volume mortar sehingga campuran menjadi lebih ekonomis, juga untuk mendukung beban lalu lintas.

Agregat dapat diperoleh secara alami atau buatan. Agregat yang terjadi secara alami adalah pasir, kerikil dan batu. Kebanyakan agregat memerlukan beberapa proses seperti dipecah, dicuci sebelum agregat tersebut bisa digunakan dalam campuran aspal. Jenis pengujian dan persyaratan untuk agregat dan *filler* tercantum dalam Tabel. 2.1.

Agregat dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yaitu :

2.2.1. Agregat kasar

Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan saringan no.8 (2,36 mm), menurut standart ASTM atau tertahan pada saringan no.7, menurut *Standart British*. Fungsi agregat kasar dalam campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS) adalah untuk mengembangkan volume mortar, dengan demikian membuat campuran lebih ekonomis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan.

2.2.2. Agregat halus

Agregat halus dapat berupa pasir, batu pecah atau kombinasi dari keduanya. Agregat halus adalah material yang pada prinsipnya lewat saringan 2.36 mm dan tertahan pada saringan 75 μ m atau saringan no. 200.

Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar

partikel. Berkenaan dengan hal ini, sifat-sifat khas yang diperlukan dari agregat adalah sudut permukaan, kekasaran permukaan, bersih dan bukan bahan organik. Dalam konstruksi *Hot Rolled Sheet* (HRS) komposisi agregat halus merupakan bagian yang terbesar sehingga sangat mempengaruhi kinerja pada saat masa konstruksi maupun pada masa pelayanan.

2.2.3. Mineral pengisi (*filler*)

Filler adalah material yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, Portland semen dan abu batu. *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran, namun demikian jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampau tinggi kadar *filler* maka cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas. Pada sisi lain kadar *filler* yang terlampau rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. Jumlah *filler* ideal antara 0.6 sampai 1.2, yaitu perbandingan prosentase *filler* dengan prosentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah *Dust Proportion*. *Filler* berperan dalam campuran aspal dengan 2 macam cara ; yaitu pertama *filler* sebagai modifikasi dari gradasi pasir yang menimbulkan kepadatan campuran dengan lebih banyak titik kontak antara butiran partikel, hal ini akan mengurangi jumlah aspal yang akan mengisi rongga-rongga yang tersisa didalam campuran. Sedangkan peran kedua adalah suatu cara yang baik untuk mempengaruhi kinerja *filler* dengan mempertimbangkan proporsi yang menguntungkan dari komposisi agregat halus, *filler* dan aspal didalam mortar, selanjutnya sifat-sifat mortar ini tergantung pada sifat asli dari pasir, jumlah takaran dalam campuran aspal serta *viskositas* pasta atau bahan pengikat yang digunakan.

Jenis pengujian dan persyaratan untuk agregat dan *filler* tercantum dalam Tabel. 2.1.

Tabel 2.1 Pengujian serta Persyaratan Agregat dan *Filler*

No	Pengujian	Metoda	Syarat
Agregat Kasar			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3 \%$
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1070-1990	$\geq 2.5 \text{ gr/cc}$
3	Berat jenis semu	SNI 03-1969-1990	-
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1969-1990	-
5	Keausan / <i>Los Angeles Abrasion Test</i>	SNI 03-2417-1991	$\leq 40 \%$
6	Kepekaan agregat terhadap aspal	SNI 06-2439-1991	$\geq 95\%$
7	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D-4791	Maks 10 %
Agregat Halus			
1	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3 \%$
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5 \text{ gr/cc}$
3	Berat jenis semu	SNI 03-1970-1990	-
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1970-1990	-
5	<i>Sand equivalent</i>	SNI-03-4428-1997	$\geq 50 \%$
Filler			
1	Berat jenis	SNI 15-2531-991	$\geq 1 \text{ gr/cc}$

2.3. KARET PADAT BAHAN VULKANISIR

Sebagai pelapis ban vulkanisir, lapisan ini berbentuk lembaran karet yang lunak sehingga mudah untuk dibentuk. Lapisan ini tidak begitu mendapatkan banyak perhatian dari orang.

Karet padat bahan vulkanisir yang dipakai merupakan karet yang biasa dipakai di vulkanisir ban disemarang. Karet padat lapisan luar ban vulkanisir ini sifat elastisitasnya lebih baik dibandingkan dengan karet ban mobil, karena karet ban mobil telah mengalami vulkanisir sehingga daya elastisitasnya agak berkurang. Karet padat lapisan luar ban vulkanisir ini kemungkinan besar dapat dipergunakan sebagai bahan tambahan aspal minyak, karena sifatnya sama seperti karet alam. Karena lapisan karet ini masih berbentuk padat maka didalam percobaan di laboratorium karet dicairkan dengan cara dicampur dengan minyak tanah dengan perbandingan 1 bagian karet dan 1 bagian minyak tanah.

Campuran dari karet padat bahan vulkanisir terdiri dari :

- 14 % karet alami
- 27 % keret sintetis
- 10 % minyak
- 28 % karbon-hitam / jelaga (*carbon black*)
- 13 % bahan pengisi lain
- 4 % bahan-bahan petrokimia
- 4 % serat organik

Sumber : *Label Komposisi Aspal Perusahaan Tyre Retreading Compound, CV. DARAT (7.50_XI.16/ BG), Semarang.*

2.4. ASPAL

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat, yang terdiri dari *hydrocarbons* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro-ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna hitam atau kecoklatan, memiliki sifat kedap air dan *adhesive*. (*British Standart, 1989*).

Aspal terbuat dari minyak mentah, melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang ditemukan bersama-sama material lain. Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa-senyawa kompleks seperti *Asphaltenese*, *Resins* dan *Oils*. Aspal 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*).

Sedang sifat aspal lainnya adalah ;

- d. Aspal mempunyai sifat mekanis (*Rheologic*), 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 maka sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).
- e. 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. Akan tetapi dengan pemanasan yang berlebihan maka akan merusak molekul-molekul dari aspal, aspal menjadi getas dan rapuh.

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

Meskipun aspal hanya merupakan bagian yang kecil dari komponen campuran beraspal, namun merupakan bagian terpenting untuk menyediakan ikatan yang awet/tahan lama (*durable*) dan menjaga campuran tetap dalam kondisi kental yang elastis. Adapun beberapa kualitas yang harus dimiliki oleh aspal untuk menjamin performa yang memuaskan, secara mendasar adalah *rheology*, *kohesi*, *adhesi* dan *durabilitas*.

Fungsi aspal dalam campuran agregat aspal adalah sebagai bahan pengikat yang bersifat *visco-elastis* dengan tingkat viskositas yang tinggi selama masa layan dan berfungsi sebagai pelumas pada saat penghamparan di lapangan sehingga mudah untuk dipadatkan.

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

Semakin besar angka penetrasi aspal (semakin kecil tingkat konsistensi aspal) akan memberikan nilai modulus elastis aspal yang semakin kecil dalam tinjauan temperatur dan pembebanan yang sama. Semakin tinggi suhu udara dan makin lambat beban yang lewat, maka modulus elastis aspal makin kecil. Lama pembebanan merupakan fungsi dari tebal perkerasan dan kecepatan kendaraan. (*Brown and Bitumen, 1984*).

Terdapat bermacam – macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal, antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Dalam pemilihan jenis aspal yang akan digunakan pada daerah yang beriklim panas sebaiknya aspal dengan indeks penetrasi yang rendah, dalam rangka mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*). Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah aspal dengan penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70.

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan

mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut, juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran.

Pemeriksaan aspal tersebut terdiri dari ;

h. Pemeriksaan Penetrasi

Nilai penetrasi di dapat dari uji penetrasi dari alat penetrometer pada suhu 25°C dengan baban 100 gr selama 5 detik, dimana dilakukan sebanyak 5 kali.

i. Pemeriksaan Titik Lembek

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengukur nilai temperatur dimana bola – bola baja mendesak turun lapisan aspal yang ada pada cincin, hingga aspal tersebut menyentuh dasar pelat yang terletak dibawah cincin pada jarak 1 (inchi), 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 oleh sifat termoplastik. Untuk aspal keras jenis penetrasi 60/70, syarat titik lembek berkisar antara 48°C – 58°C .

j. 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.

k. 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 kehilangan berat aspal maksimum adalah 0,8 % dari berat semula.

l. 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 %.

m. 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 penetrasi 60/70 disyaratkan minimal 100 cm.

n. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama. Persyaratan yang ditentukan untuk berat jenis aspal adalah 1 gr/cc.

Hasil pengujian dan persyaratan untuk aspal seperti yang tercantum dalam Tabel. 2.2.

Tabel 2.2 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras Pen. 60/70

No.	Sifat – sifat	Metoda	Pen. 60/70		Satuan
			Min	Max	
1	Penetrasi (25°C , 100 gr, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	60	79	0,1 mm
2	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	SNI 06-2434-1991	48	58	$^\circ\text{C}$
3	Titik nyala (<i>cleveland open cup</i>)	SNI 06-2433-1991	200	0	$^\circ\text{C}$
4	Kehilangan berat (163°C , 5 jam)	SNI 06-2440-1991	-	0.8	% berat
5	Kelarutan (CCl_4)	ASTM-D2042	99	-	% berat
6	Daktilitas (25°C , 5 cm per menit)	SNI 06-2432-1991	100	-	cm
7	Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	gr/cm^3

Sumber : SNI No. 1737-1989-F

2.5. CAMPURAN HRS - WC

Tujuan perencanaan campuran perkerasan aspal adalah untuk menentukan suatu campuran dengan biaya yang murah dengan gradasi dan aspal yang menghasilkan suatu campuran yang mempunyai :

- f. Aspal yang cukup untuk menjamin suatu perkerasan yang tahan lama.
- g. Stabilitas campuran yang cukup untuk menahan beban lalu lintas tanpa terjadi distorsi atau pergerakan.
- h. Rongga yang cukup di dalam total campuran yang dipadatkan untuk memberikan ruang akibat penambahan pemadatan beban lalu lintas dan penambahan dari pengembangan

aspal akibat meningkatnya temperatur tanpa terjadi *flushing*, *bleeding* dan kehilangan stabilitas.

- i. Kadar rongga udara yang maksimum untuk membatasi permeabilitas udara yang berbahaya dan masuknya air ke dalam campuran.
- j. Kemudahan mengerjakannya yang cukup sehingga memperoleh penghamparan campuran yang efisien tanpa terjadinya segregasi dan tanpa mengorbankan stabilitas dan tingkah lakunya.

Susunan dan kekerasan agregat yang cocok akan memberikan ketahanan terhadap slip yang cukup pada kondisi cuaca yang baik.

Sifat – sifat khas yang paling penting dari *Hot Rolled Sheet* adalah bahwa agregatnya bergradasi senjang. Sifat ini memberikan lapis aus *Hot Rolled Sheet* yang tahan cuaca dan memberikan permukaan yang awet yang dapat menerima beban berat tanpa retak.

Pada tahun 2001 Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah mengeluarkan Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas. Spesifikasi ini mengikuti trend perkembangan metoda perencanaan campuran beraspal yang berorientasi pada kinerja. Penyempurnaan spesifikasi campuran beraspal, 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 *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC). Ketentuan sifat-sifat campuran dan gradasi agregat untuk campuran aspal Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3. Ketentuan Sifat – sifat Campuran

SIFAT-SIFAT CAMPURAN			LATASIR	LATASTON		LASTON			
			KELAS A & B	WC	BASE	WC	BC	BASE	
PENYERAPAN KADAR ASPAL		MAX	2,0	1,2 UNTUK LALU LINTAS \geq 1.000.000 ESA 1,7 UNTUK LALU LINTAS \leq 1.000.000 ESA					
JUMLAH TUMBUKAN			50	75			112		
RONGGA DALAM CAMPURAN (%)	LALU LINTAS (LL)	MIN	TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	-		4,9			
	> 1 JUTA ESA	MAX		-		5,9			
	> 0,5 JUTA ESA &	MIN		4,0		3,9			
	< 1 JUTA ESA	MAX		6,0		4,9			
	LALU LINTAS (LL)	MIN		3,0			3,0		
	< 0,5 JUTA ESA	MAX		6,0			5,0		
RONGGA DALAM AGREGAT (VMA) (%)		MIN	2,0	18	17	15	14	13	
RONGGA TERISI ASPAL (%)	LALU LINTAS (LL)	MIN	TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	65		65	63	60	
	> 0,5 JUTA ESA &	MIN		68					
	< 1 JUTA ESA	MIN		75					
LALU LINTAS (LL)	< 0,5 JUTA ESA	MIN	75					73	
		MAX	800					800	
STABILITAS MARSHALL (Kg)		MAX	850					-	
KELELEHAN (mm)		MIN	2					2	
		MAX	3					-	
MARSHALL QUOTIENT (Kg/mm)		MIN	80					200	
STABILITAS MARSHALL SISA SETELAH PERENDAMAN SELAMA 24 JAM – 60°		MIN	85 UNTUK LALU LINTAS \geq 1.000.000 ESA 80 UNTUK LALU LINTAS \leq 1.000.000 ESA						
PEMADATAN DENGAN KEPADATAN MUTLAK :									
JUMLAH TUMBUKAN MARSHALL 2 X TIAP PERMUKAAN			TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	400			600		
RONGGA DALAM CAMPURAN (%) PADA KEPADATAN MEMBAL (REFUSAL)	LALU LINTAS (LL)	MIN		-		2,5			
	> 1 JUTA ESA	MAX							
> 0,5 JUTA ESA &	MIN	2							
< 1 JUTA ESA	MAX								
LALU LINTAS (LL)			1						
< 0,5 JUTA ESA									

Catatan :

1. Modifikasi *Marshall*.
2. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), penumbuk bergetar (*Vibrator Hammer*) disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya butiran agregat dalam campuran. Jika digunakan penumbuk manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 in dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inch..
3. Untuk lalu lintas yang sangat lambat atau lajur padat, digunakan ESA yang tinggi.

4. Berat jenis efektif agregat akan dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (*Gmm Test*, AASHTO T-209).
5. Direksi pekerjaan dapat menyetujui prosedur pengujian AASHTO T283 sebagai alternatif pengujian kepekaan kadar air.
Pengondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan. Stadar minimum untuk diterimanya prosedur T283 harus 80 % kuat tarik sisa.

Sumber : Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Agustus 2001.

Tabel 2.4. Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos						
		Latasir (SS)		Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	BC	Base
1 ½ "	37,5							100
1 "	25							90 – 100
¾ "	19	100	100	100	100	100	90 – 100	Maks 90
½ "	12,5			90 – 100	90 – 100	90 – 100	Maks 90	
3/8 "	9,5	90 – 100		77 – 85	65 – 100	Maks 90		
No. 8	2,36		75 – 100	50 – 72	35 – 55	28 – 58	23 – 39	19 – 45
No. 16	1,18							
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	4,75					-	-	39,5
No. 8	2,36					39,1	34,6	26,8-30,8
No. 16	1,18					25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-30,8
No. 30	0,600					19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6
No. 50	0,300					15,5	13,7	11,4

Catatan :

1. Untuk HRS-WC dan HRS-Base, paling sedikit 80 % agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus juga lolos No.30 (0,600 mm). Lihat contoh batas-batas “bahan bergradasi sejang” yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm) dan tertahan ayakan No.30 (0,600 mm) dalam tabel 2.3.
2. Untuk AC, digunakan titik kontrol gradasi agregat, berfungsi sebagai batas-batas rentang utama yang harus ditempati oleh gradasi-gradasi tersebut. Batas-batas gradasi ditentukan pada ayakan ukuran nominal maksimum, ayakan menengah (2,36 mm) dan ayakan terkecil (0,75 mm).

Tabel 2.5. Contoh batas – batas “ Bahan Bergradasi Sejang “

% lolos No. 8	40	50	60	70
% lolos No. 30	Paling sedikit 32	Paling sedikit 40	Paling sedikit 48	Paling sedikit 56
% kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Agustus 2001

2.6. HASIL PENELITIAN YANG RELEVAN

Sampai saat ini ada beberapa penelitian yang pernah dilakukan yang dapat dijadikan literatur untuk penyusunan penelitian ini, diantaranya adalah ;

1. Gerard Aponno (2000), telah melakukan studi penelitian tentang Pemanfaatan Ban Bekas Dalam Rekayasa Teknik Sipil. Penelitian ini melalui suatu prosedur penelusuran literatur yang menyeluruh terhadap pekerjaan – pekerjaan teknik sipil, sedangkan tujuan utamanya adalah mempelajari kelayakan pemanfaatan karet ban bekas dalam bidang teknik sipil, baik dalam campuran aspal – karet, campuran beton – karet, dan campuran tanah – karet. Kesimpulan dari penelitian ini adalah ;
 - a. Pemanfaatan ban bekas dalam bidang teknik sipil saat ini telah mencakup wilayah penggunaan yang luas, dan memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan.
 - b. Rangkuman hasil – hasil penelitian yang disajikan di dalam tulisan ini bukan merupakan sebuah hasil yang *definitive*, melainkan hendaknya dianggap sebagai petunjuk awal untuk melihat kemungkinan dapat digunakannya bahan campuran ini untuk suatu keperluan tertentu.
2. Iriansyah, AS (1992), melakukan percobaan lapangan Campuran Aspal Karet (Parutan Ban Bekas) Di jalan Percobaan Skala Penuh Cileunyi (Seksi 50 – 55). Penelitian ini merupakan aplikasi dari hasil percobaan dilaboratorium dimana akan dinilai keunggulan campuran aspal karet bila dibandingkan dengan campuran yang tidak menggunakan aspal karet.

Pencampuran aspal dengan menggunakan alat pencampur yang dibuat khusus dengan putaran mesin 350 rpm dan diaduk selama 20 menit, sehingga didapatkan campuran aspal karet yang cukup homogen. Suhu campuran rata – rata hasil produksi alat pencampur (AMP) mencapai 155 °C.

Penelitian menunjukkan hasil : Stabilitas campuran aspal karet menunjukkan lebih tinggi dari stabilitas campuran dengan aspal biasa. Secara umum karakteristik campuran aspal karet lebih baik dibandingkan dengan campuran menggunakan aspal biasa.

Perbedaan dalam penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya yaitu digunakan lapisan luar karet vulkanisir sebagai bahan campuran beraspal panas yang menggunakan perencanaan campuran untuk lapis permukaan HRS-WC yang mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas.

B A B III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. UMUM

Penelitian ini dibagi menjadi 2 tahapan, yaitu ;

1. **Tahap pertama**, mengenai studi literatur, tinjauan secara ekonomi tentang kegunaan karet dan pemeriksaan sifat dan kualitas aspal karet di laboratorium.
2. **Tahap dua**, pengujian campuran beraspal dengan bahan pengikat aspal karet di laboratorium dan analisa hasil pengujian.

Secara keseluruhan bagan alur penelitian aspal karet ini di ilustrasikan pada Gambar. 3.1. Diagram Alir Metode Penelitian.

3.2. BAHAN DAN PERALATAN PENELITIAN

3.2.1. Bahan Penelitian

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

- 1). Agregat kasar, halus, *filler* berasal dari Kalikuto, Batang dan diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Semarang.
- 2). Bahan aspal menggunakan aspal Pertamina dengan Penetrasi 60/70.
- 3). Bahan lapisan karet luar vulkanisir berasal dari Perusahaan *Tyre Retreading Compound*, CV. DARAT (7.50_XI.16/ BG), Semarang.

3.2.2. Peralatan Penelitian

1). Alat penguji agregat dan filler

Alat yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain, mesin *Los Angeles* (tes abrasi), saringan standar (penyusunan gradasi agregat), alat pengering (*oven*), timbangan berat, alat uji berat jenis (*picnometer*, timbangan, pemanas), bak perendam dan tabung *Sand Equivalent*.

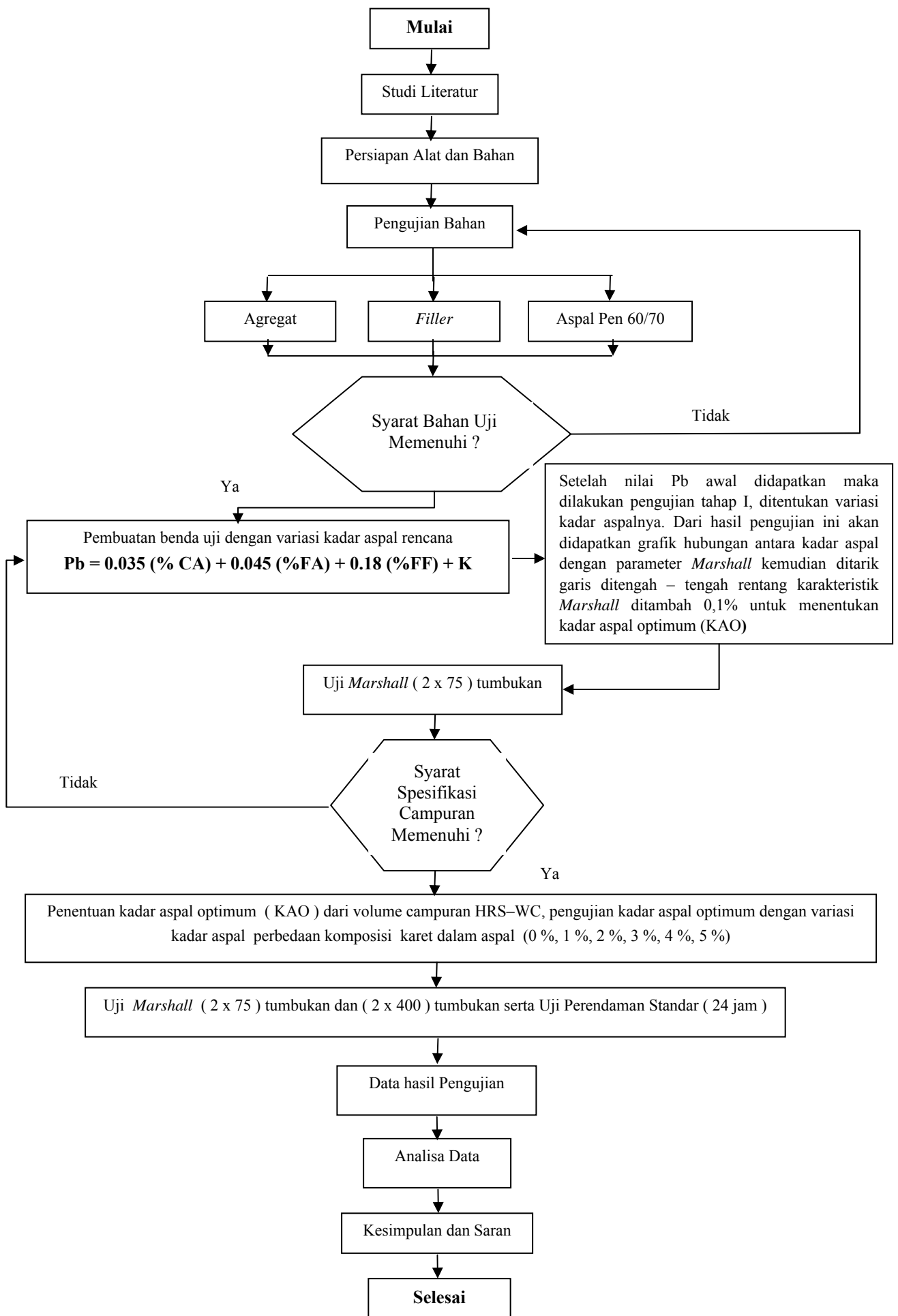
2). Alat penguji aspal

Alat yang digunakan untuk pengujian aspal antara lain ; alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (*picnometer* dan timbangan), dan alat uji kelarutan.

3). *Alat pengujian campuran metode Marshall*

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi ;

- i. Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flow meter*).
- ii. Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 in) dengan tinggi 7,5 cm (3 in) untuk *Marshall* standard dan diameter 15,24 cm (6 in) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dan dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- iii. Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3,86 inchi), berat 4,5 kg (10 lbs), dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inchi) untuk *Marshall* standar.
- iv. Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- v. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.
- vi. Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaos tangan anti panas, sarung tangan karet, kain lap, *kaliper*, *spatula*, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.



Gambar 3.1. Diagram Alir Metode Penelitian

3.3. PERENCANAAN DAN PENGUJIAN

3.3.1. Perencanaan Campuran

1). *Perencanaan Campuran HRS-WC*

Perencanaan campuran meliputi pemilihan gradasi agregat, tingkatan aspal dan penentuan kadar aspal optimum. Tujuannya adalah untuk menghasilkan suatu perencanaan yang ekonomis dan memenuhi kriteria teknik.

Lapisan aus HRS–WC harus direncanakan untuk mempunyai stabilitas dan keawetan yang cukup baik untuk mengantisipasi beban lalu lintas maupun untuk mencegah pengaruh masuknya udara, air dan perubahan suhu.

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

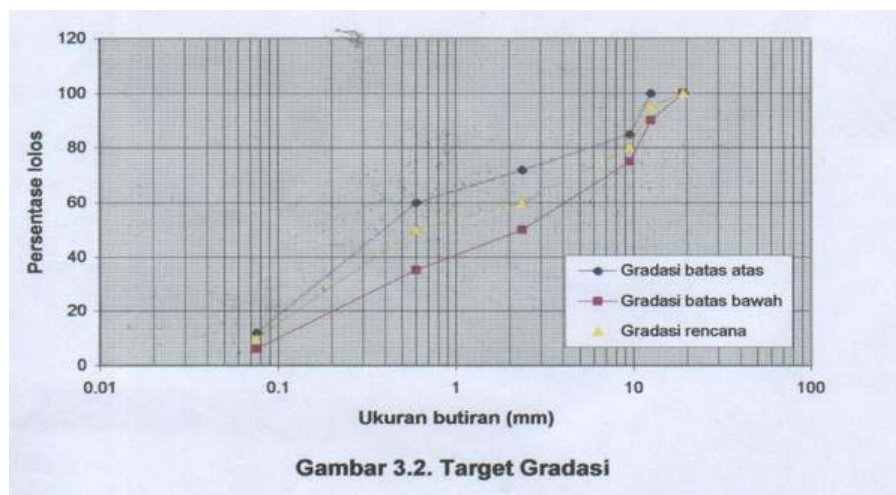
Karakteristik campuran beraspal panas berdasarkan kinerja (*performance based properties*) adalah karakteristik campuran yang berhubungan dengan respon perkerasan terhadap beban. Setelah sasaran kinerja tertentu didefinisikan maka target karakteristik campuran dapat ditetapkan, atau sebaliknya dengan 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 Lataston HRS–WC. Ketentuan sifat-sifat campuran gradasi agregat untuk campuran aspal spesifikasi baru beton aspal campuran panas dapat dilihat pada Tabel 2.3 sampai dengan Tabel 2.5.

Berdasarkan hasil analisis saringan maka ditentukan berat masing-masing ukuran agregat dengan prosentase yang telah ditetapkan terlebih dahulu dalam target gradasi. Setiap benda uji umumnya memerlukan berat agregat 1200 gram. Syarat untuk HRS–WC, yaitu paling sedikit 80% agregat lolos ayakan no. 8 (2,36 mm) harus juga lolos ayakan no. 30 (0,600 mm). Target gradasi dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.1. Target Gradasi dan perhitungan berat campuran HRS–WC

Ukuran Ayakan		Prosentase Lolos	Hasil Perhitungan		Berat
AASTM	mm		Target Gradasi	Tertahan	
3/4 "	19	100	100	0	-
1/2 "	12,5	90 – 100	95	5	60
3/8 "	9,5	75 – 85	80	15	180
# 8	2,36	50 – 72	60	20	240
# 30	0,600	35 – 60	48	12	144
# 200	0,075	6 – 12	7	41	492
		Pan		7	84
Berat total agregat (gram)					1200



Gambar 3.2. Target Gradasi

2). Perencanaan Campuran HRS–WC dan Karet Padat

Komposisi campuran HRS-WC dengan karet padat bahan vulkanisir pada penelitian ini dengan perbandingan 0 % sampai 5 % dengan interval 1 % terhadap berat aspal. Pencampuran aspal karet dilakukan secara langsung, dimana aspal dipanaskan 160 ° C, kemudian dimasukkan keret lapis vulkanisir yang telah dicairkan dengan minyak tanah dengan perbandingan 1 banding 1. Pencampuran aspal dan karet ini dilakukan dengan alat pengaduk khusus untuk aspal karet.

Dari pencampuran ini diharapkan terjadi suatu reaksi fisika yang memberikan keuntungan terhadap sifat-sifat asal sebelumnya.

3.3.2. Pengujian Campuran Beraspal Panas

Pengujian bahan meliputi pemeriksaan agregat, *filler*, lapisan karet vulkanisir dan aspal. Pemeriksaan agregat dan *filler* bertujuan untuk mengetahui apakah agregat yang dipilih memenuhi syarat sebagai bahan penyusun campuran panas, pengujian lapisan karet vulkanisir bertujuan untuk mengetahui komposisi yang menyusun lapisan tersebut, sedangkan

pemeriksaan aspal untuk mengetahui apakah aspal yang dipilih sudah memenuhi syarat sebagai bahan perekat.

Pengujian campuran beraspal panas meliputi beberapa tahap ujian, antara lain ;

1). *Marshall Test*

Konsep *Marshall Test* dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insinyur perkerasan pada *Mississippi State Highway*. Pada tahun 1948 *US Corps of Engineering* meningkatkan dan menambahkan beberapa kriteria pada prosedur testnya, terutama kinerja rancangan campuran. Sejak itu test ini banyak diadopsi oleh berbagai organisasi dan pemerintahan di banyak negara dengan beberapa modifikasi prosedur ataupun interpretasi terhadap hasilnya.

Dua ciri utama perancangan campuran dengan metode *Marshall* adalah pengujian stabilitas dan kelelahan pada benda uji yang telah dipadatkan. Penyiapan benda uji dalam pengujian standar menggunakan prosedur tertentu, meliputi pemanasan, pencampuran, dan pemadatan pada campuran agregat dan aspal. Benda uji yang digunakan pada metode *Marshall* berupa benda uji silinder dengan tinggi 64 mm (2,5 inchi) dan garis tengahnya 102 mm (4 inchi).

Benda uji diuji ketahanannya terhadap deformasi pada suhu 60 ° C dan tingkat pembebanan tetap sebesar 50 mm/menit. Beban maksimum yang dapat dipikul briket sampel sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan jumlah akumulasi deformasi briket sampel sebelum hancur yang disebut *Marshall Flow*. Dan juga turunan dari keduanya yang merupakan perbandingan antara *Marshall Stability* dengan *Marshall Flow* disebut sebagai *Marshall Quotient* (MQ), yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*Pseudo Stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (*Shell*, 1990).

Pengujian *Marshall* yang ditujukan untuk menentukan kadar aspal optimum dengan menganalisa *Void In the Mix* (VIM), *Void in Mineral Agregat* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA) yang dilaksanakan pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dan pada kondisi *Refusal Density* (2 x 400) tumbukan.

2). Pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keawetan terhadap Campuran Aspal Panas

Potensi keawetan dari campuran beraspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan campuran terhadap kelanjutan dan pengaruh kerusakan kombinasi akibat air dan suhu (*CRAUS, J. et al, 1981*).

Rendahnya keawetan lapisan permukaan dan lapisan aspal adalah merupakan salah satu penyebab utama rusaknya perkerasan fleksibel. Tingginya keawetan biasanya memenuhi sifat-sifat mekanik dari campuran dan akan memberikan umur pelayanan yang lebih lama.

Metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran aspal, adalah ;

Metode Pengujian Perendaman Standar

Salah satu metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal dan juga keawetannya adalah pengujian perendaman *Marshall* yang mana stabilitas dari benda uji ditentukan setelah satu hari perendaman didalam air pada suhu 60 °C.

AASHTO (1993) menggambarkan sebuah prosedur yang berdasarkan kepada pengukuran kehilangan dari hasil sebuah kekuatan tekan dari aksi air pada perendaman campuran aspal. Suatu indeks numerik dari berkurangnya kekuatan tekan diperoleh dengan membandingkan kekuatan tekan benda uji yang telah direndam di dalam air selama 24 jam pada suhu 60 ± 1 °C dan 2 jam di dalam air pada suhu 25 ± 1 °C di bawah kondisi yang ditentukan.

Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (IRS), serta dihitung sebagai berikut ;

$$IRS = \frac{MSi}{MSs} \times 100 \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

- IRS = Indek Stabilitas Sisa (%)
- MSi = Stabilitas *Marshall* Standar (kg)
- MSs = Stabilitas *Marshall* Perendaman (kg)

Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas mensyaratkan IRS harus lebih besar dari 80 %.

Dalam penelitian ini, pengujian bahan-bahan dilakukan dengan menggunakan prosedur SNI. Jika prosedur pengujian tidak terdapat pada SNI, maka digunakan prosedur-prosedur lain seperti AASHTO, ASTM dan BSI.

3.4. PERENCANAAN JUMLAH BENDA UJI

Prosedur Perhitungan Kadar Aspal Rencana

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

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + K \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan :

Pb = perkiraan kadar aspal terhadap campuran, prosentase berat terhadap campuran

CA = agregat kasar tertahan saringan nomor 8

FA = agregat halus lolos saringan nomor 8

FF = bahan pengisi lolos saringan nomor 200

Nilai K = konstanta 2,0 sampai dengan 3,0 untuk laston

Nilai Pb hasil perhitungan dibulatkan mendekati 0,5%. Ditentukan 2 (dua) kadar aspal diatas dan 2 (dua) kadar aspal dibawah kadar aspal perkiraan awal yang sudah dibulatkan mendekati 0,5% ini.

Kemudian siapkan benda uji untuk *Marshall test* sesuai tahapan berikut ini :

a. Tahap I

Berdasarkan perkiraan kadar aspal optimum Pb maka dibuatkan benda uji, kemudian dibuatkan pula benda uji dengan jenis aspal pertamina dengan 2 (dua) variasi kadar aspal diatas Pb dan 2 (dua) variasi kadar aspal dibawah Pb (-1,0%, -0,5%, Pb, +0,5%, +1,0%). Benda uji terdiri dari 2 (dua) benda uji kering. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall* standar (2 x 75) tumbukan dan pengujian perendaman standar (waktu perendaman hanya 24 jam), hal tersebut diatas bertujuan untuk menentukan VIM, VMA, VFA, kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil bagi *Marshall* dan Indeks stabilitas sisa. Dari grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall*, ditarik garis ditengah – tengah rentang karakteristik *Marshall* ditambah 0,1% untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO). Petambahan nilai

0,1% dalam penentuan kadar aspal optimum (KAO) karena pada aspal nantinya akan ditambahkan karet padat bahan vulkanisir, seperti diketahui bahwa dengan penambahan karet akan mengakibatkan semakin lembeknya aspal yang digunakan sewaktu pengujian.

Tabel. 3.2. Uji *Marshall* Standar (2 x 75) tumbukan dalam menentukan Kadar Aspal Optimum

Jenis Aspal	Pengujian <i>Marshall</i> Standar (2 x 75) tumbukan Dalam menentukan Kadar Aspal Optimum					Jumlah
	Variasi Kadar Aspal (%)					
	-1,0%	-0,5%	Pb	+0,5%	+1,0%	
Aspal Pertamina Penetrasi 60/70	2D	2D	2D	2D	2D	10
Sub Total						10

b. Tahap II

Buat benda uji pada kadar optimum (KAO) dengan variasi kadar aspal (-0,5%, KAO, +0,5%, +1,0%) kemudian variasikan kadar aspal optimum dengan komposisi kadar karet aspal (0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%) dimana masing-masing dibuatkan 4 (empat) benda uji, 2 (dua) benda uji kering dan 2 (dua) benda uji basah. Lakukan kembali uji *Marshall* standar (2 x 75) tumbukan serta uji *Marshall* pada kondisi kepadatan mutlak/*refusal density* (2 x 400) tumbukan dan pengujian perendaman standar untuk menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, kepadatan, stabilitas, kelelahan (*flow*), hasil bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*) dan indek stabilitas sisa (*IRS*).

Jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3.

Uji *Marshall* dan Perendaman Standar Kondisi Standar (2 x 75) tumbukan pada KAO

Variasi Kadar Aspal Karet	Uji <i>Marshall</i> dan Perendaman Standar Kondisi Standar (2 x 75) tumbukan pada KAO				Jumlah
	Variasi Kadar Aspal				
	-0,5%	KAO%	+0,5%	+1,0%	
0%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
1%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
2%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
3%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
4%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
5%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
Sub Total					96

Tabel 3.4.

Uji *Marshall* dan Perendaman Standar Kondisi *Refusal Density* (2 x 400) tumbukan pada KAO

Variasi Kadar Aspal Karet	Uji <i>Marshall</i> dan Perendaman Standar Kondisi <i>Refusal Density</i> (2 x 400) tumbukan pada KAO				Jumlah
	Variasi Kadar Aspal				
	-0,5%	KAO%	+0,5%	+1,0%	
0%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
1%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
2%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
3%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
4%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
5%	2D	2D	2D	2D	16
	2S	2S	2S	2S	
Sub Total					96

Keterangan :

S = Sampel diasumsikan dalam kondisi (*soked*) rendaman.

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

Jumlah total sampel penelitian = $10 + 96 + 96 = 202$ sampel.

3.5. PENGUJIAN *MARSHALL*

- a. Menimbang agregat sesuai dengan prosentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing fraksi dengan berat agregat 1200 gram, kemudian keringkan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu (105 ± 5)° C.
- b. Memanaskan aspal untuk pencampuran yaitu pada viskositas kinematik (100 ± 10) centitokes agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata.
- c. Setelah temperatur pemadatan tercapai yaitu pada kinematik (100 ± 10) centitokes, 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 kertas lilin 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 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 *ejector* dan diberi kode.
- g. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang beratnya diudara.
- h. Benda uji direndam dalam air selama 10 sampai 24 jam supaya jenuh.
- i. Setelah jenuh benda uji ditimbang dalam air.
- j. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*), kemudian ditimbang.
- k. Benda uji direndam dalam bak perendaman (*waterbath*) pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit 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 perendaman, letakkan benda uji tepat ditengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut ditengah alat pembebanan, arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada salah satu batang penuntun.
- n. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh atas cincin penguji kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji *flow* pada angka nol.
- o. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inchi) per menit, hingga kegagalan benda uji terjadi, yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun. Pada saat itu pula baca arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat benda uji mengalami kegagalan adalah merupakan nilai stabilitas *Marshall*. Nilai stabilitas *Marshall* dicocokkan dengan tabel kalibrasi kemudian dikalikan dengan koreksi volume benda uji sehingga menjadi nilai stabilitas *Marshall* terkoreksi.
- 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 jenis aspal Pertamina dengan tingkat penetrasi 60/70.
- r. Campuran agregat aspal standar dimasukkan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisi sebanyak 75 kali pada temperatur ± 160 °C.
- s. Selanjutnya campuran agrgat aspal dicampur pada suhu ± 160 °C, sedangkan suhu pemadatan ditetapkan pada suhu 140 °C.
- t. Campuran agregat aspal untuk mencapai kepadatan membal dimasukkan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisinya 400 kali pada suhu pencampuran ± 160 °C dan suhu pemadatan ± 140 °C.
- u. Setelah proses pemadatan selesai, benda uji didinginkan selama ± 4 jam dan kemudian dilakukan *test Marshall*.

3.6. ANALISA HITUNGAN

Analisa perhitungan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini :

1. Berat Jenis *Bulk* dari Total Agregat

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots (3.3)$$

2. Berat Jenis *Apparent* dari Total Agregat

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \dots\dots\dots (3.4)$$

3. Berat Jenis Efektif dari Total Agregat

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (3.5)$$

4. Berat Jenis Teoritikl Maksimum dari Campuran (*Compacted Mixture*)

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (3.6)$$

5. Rongga Udara dalam Campuran (*Void in the Mix*) dalam persen terhadap total volume

$$VIM = 100 \times \left(\frac{(G_{mm} + G_{mb})}{G_{mm}} \right) \dots\dots\dots (3.7)$$

6. Rongga dalam mineral agregat (*Void in the Mineral Aggregate*) dalam persen terhadap total volume

$$VAM = 100 - \left(\frac{(G_{MB} \times P_s)}{G_{SB}} \right) \dots\dots\dots (3.8)$$

7. Berat isi atau kepadatan (*Density*)

$$Density = \frac{Berat\ benda\ uji\ di\ udara}{Isi\ benda\ uji} \dots\dots\dots (3.9)$$

8. Persen rongga terisi aspal (*Void Filled with Asphalt*) dalam persen terhadap VMA

$$VFA = 100 \times \left(\frac{(VMA - VIM)}{VMA} \right) \dots\dots\dots (3.10)$$

VMA

9. Marshall Quotient (MQ)

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (3.11)$$

10. Indeks kekuatan rendaman Marshall (*Index of Retained Strength*)

$$MQ = \left[\frac{MS}{MF} \right] \times 100 \% \dots\dots\dots (3.12)$$

Dimana :

- G_{sb} = Berat Jenis *Bulk* total agregat dalam gr/cc
- $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = Persen berat dari agregat 1, 2, 3, ..., n
- $G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}, \dots, G_{sbn}$ = Berat Jenis *Bulk* dari agregat 1, 2, 3, ..., n
- G_{sa} = Berat Jenis *Apparent* dari total agregat
- $G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}, \dots, G_{san}$ = Berat Jenis *Apparent* dari agregat 1, 2, 3, ..., n
- G_{se} = Berat Jenis Efektif dari total agregat
- G_{mm} = Berat Jenis Maksimum Teoritis dari campuran padat tanpa rongga udara

- P_{mm} = Persentase total agregat
- P_b = Kadar aspal dari total berat campuran
- G_b = Berat Jenis dari aspal
- P_s = Persentase agregat, persen dari total berat campuran
- G_{mb} = Berat Jenis *Bulk* dari campuran
- VIM = *Void In the Mix* (Persen rongga dalam campuran)
- VMA = *Void In Mineral Aggregate*
- VFA = *Void Filled with Asphalt* (Persen Rongga terisi Aspal)
- MS = Stabilitas *Marshall*
- MF = *Marshall Flow* (kelelehan)
- MSS = Stabilitas *Marshall* kondisi Standar
- MSI = Stabilitas *Marshall* kondisi setelah direndam selama 24 jam dengan suhu 60° C
- IRS = *Index or Retained Strength*

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL PENGUJIAN MATERIAL

Sebagaimana yang telah disampaikan pada Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian, pengujian material dilakukan dengan acuan Standard Nasional Indonesia (SNI) dan AASHTO sebagai acuan apabila pengujian yang dimaksud tidak terdapat dalam SNI. Pengujian ini meliputi ; pengujian agregat (kasar, halus dan *filler*), pengujian aspal penetrasi 60/70 dan hasil pengujian *Marshall*.

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Hasil pengujian agregat (kasar, halus dan *filler*) dapat dilihat pada Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan fisik secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran B.

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

No	Pengujian	Metoda	Syarat	Hasil	Keterangan
<i>Agregat Kasar</i>					
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	≤ 3 %	2,140 %	Memenuhi
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1070-1990	≥ 2.5 gr/cc	2,608 gr/cc	Memenuhi
3	Berat jenis semu	SNI 03-1969-1990	-	2,762 gr/cc	Memenuhi
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1969-1990	-	2,664 gr/cc	Memenuhi
5	Keausan / <i>Los Angeles Abrasion Test</i>	SNI 03-2417-1991	≤ 40 %	23,73 %	Memenuhi
6	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 06-2439-1991	≥ 95%	98 %	Memenuhi
7	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D-4791	Maks 10 %	1,71 %	Memenuhi
<i>Agregat Halus</i>					
1	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	≤ 3 %	1,215 %	Memenuhi
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1970-1990	≥ 2.5 gr/cc	2,579 %	Memenuhi

3	Berat jenis semu	SNI 03-1970-1990	-	2,662 gr/cc	Memenuhi
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1970-1990	-	2,610 gr/cc	Memenuhi
5	<i>Sand equivalent</i>	SNI 03-4428-1997	≥ 50 %	93,21 %	Memenuhi
<i>Filler</i>					
1	Berat jenis	SNI 15-2531-991	≥ 1 gr/cc	2,651 gr/cc	Memenuhi

Dari keseluruhan hasil – hasil pengujian baik itu pengujian agregat kasar, halus dan *filler* telah memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran HRS–WC.

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal

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

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

No.	Sifat – sifat	Metoda	Satuan	Aspal Pen. 60/70		Hasil	Keterangan
				Min	Max		
1	Penetrasi (25 °C, 100 gr, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	0,1 mm	60	79	72,4	Memenuhi
2	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	SNI 06-2434-1991	° C	48	58	48,0	Memenuhi
3	Titik nyala (<i>cleveland open cup</i>)	SNI 06-2433-1991	° C	200	-	321	Memenuhi
4	Kehilangan berat (163 °C, 5 jam)	SNI 06-2440-1991	% berat	-	0.8	0,161	Memenuhi
5	Kelarutan (CCl ₄)	ASTM-D2042	% berat	99	-	99,320	Memenuhi
6	Daktilitas (25 °C, 5 cm per menit)	SNI 06-2432-1991	cm	100	-	> 110	Memenuhi
7	Berat jenis (25 °C)	SNI 06-2488-1991	gr/cm ³	1	-	1,063	Memenuhi

Secara keseluruhan pemeriksaan terhadap sifat – sifat fisik aspal penetrasi 60/70 ex Pertamina atau aspal dengan kadar karet 0% telah memenuhi standar spesifikasi aspal penetrasi 60/70.

Selain melakukan pengujian terhadap sifat fisik aspal standar, aspal dengan kadar karet 0% juga dilakukan pengujian untuk aspal dengan

beberapa variasi kadar karet didalamnya (1%, 2%, 3%, 4% dan 5%). Namun dalam pengujian untuk aspal dengan variasi kadar karet didalamnya hanya dilakukan untuk pengujian penetrasi, titik lembek dan berat jenis aspal. Untuk hasil pengujian tersebut adalah sebagai berikut ;

Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina Dengan Variasi Kadar Karet dalam Aspal

No.	Sifat – sifat	Metoda	Hasil Pemeriksaan Aspal Pen. 60/70				
			Variasi Kadar Karet dalam Aspal (%)				
			1%	2%	3%	4%	5%
1	Penetrasi (25 °C, 100 gr, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	69,70	77,50	76,00	76,30	79,50
2	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	SNI 06-2434-1991	46,50	45,75	45,25	45,75	45,75
3	Berat jenis (25 °C)	SNI 06-2488-1991	1.023	1.020	1.023	1.025	1.026

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa perhitungan serta pengujian. Tahap awal dilakukan perhitungan kadar aspal optimum (Pb) secara empiris, setelah itu dilakukan pengujian *Marshall* dan uji perendaman standar. Pengujian *Marshall* dan uji perendaman standar dilakukan dalam dua tahapan. Tahap pertama adalah pengujian untuk mencari kadar aspal optimum (KAO) dengan persyaratan sesuai Spesifikasi baru untuk campuran Lataston HRS-WC, pengujian ini juga dilakukan untuk variasi kadar aspal diatas Pb dan 2 (dua) variasi kadar aspal dibawah Pb (-1,0%, -0,5%, Pb, +0,5%, +1,0%). Pengujian *Marshall* pada tahap ini dilakukan pada kondisi pengujian standar, (2 x 75) tumbukan. Dan untuk pengujian tahap kedua bertujuan untuk menentukan menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, kepadatan, stabilitas, kelelahan (*flow*), hasil bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*) dan indek stabilitas sisa (*IRS*). Pengujian dilakukan pada beberapa variasi kadar aspal (-0,5%, KAO, +0,5%, +1,0%) dengan komposisi kadar karet pada aspal (0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%). Pengujian *Marshall* tahap dua dilakukan pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan serta pada kondisi kepadatan

mutlak/*refusal density* (2 x 400) tumbukan dan yang terakhir dilakukan pengujian perendaman standar untuk menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, kepadatan, stabilitas, kelelahan (*flow*), hasil bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*) dan Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*).

4.1.3. Hasil Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Pengujian awal adalah pengujian yang bertujuan untuk menentukan nilai kadar aspal optimum (*Pb*) dengan cara empiris guna menghasilkan campuran aspal panas yang memenuhi persyaratan seperti tercantum pada Tabel 2.3 Ketentuan Sifat – sifat Campuran.

Penentuan kadar aspal optimum (*Pb*) digunakan rumus ;

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

Keterangan :

Pb = perkiraan kadar aspal terhadap campuran, prosentase berat terhadap campuran

CA = agregat kasar tertahan saringan nomor 8

FA = agregat halus lolos saringan nomor 8

FF = bahan pengisi lolos saringan nomor 200

Nilai *K* = konstanta 2,0 sampai dengan 3,0 untuk laston

Berdasarkan hasil gradasi campuran Tabel 3.1 maka akan dihitung nilai *Pb* dari campuran tersebut.

Perhitungannya adalah sebagai berikut ;

$$\%CA = (100 - 60) \% = 40\%$$

$$\%FA = (40 - 7) \% = 33\%$$

$$\%FF = 7\%$$

Dalam penelitian ini nilai konstanta diambil 3.0.

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

$$Pb = 0,035 (40\%) + 0,045 (33\%) + 0,18 (7\%) + 3$$

$$Pb = 7.145 \% \sim 7 \%$$

Kadar aspal optimum (*Pb*) yang diperoleh (*Pb* = 7,0%) akan digunakan sebagai dasar acuan pembuatan benda uji dalam berbagai variasi kadar aspal (-1,0%, -0,5%, *Pb*, +0,5%, +1,0%).

4.1.4. Hasil Pemeriksaan *Marshall* (Tahap I)

Hasil pengujian ini bertujuan untuk mencari kadar aspal optimum (KAO). Dari hasil pengujian kadar aspal rencana (Pb) didapatkan nilai sebesar 7%. Setelah didapatkan nilai Pbnya maka dilakukan pengujian pada beberapa variasi kadar aspal dengan Pb sebagai acuannya, variasi kadar aspalnya adalah sebagai berikut (6,0%, 6,5%, 7,0%, 7,5% dan 8,0%) pada komposisi kadar karet aspal 0%. Kadar aspal optimum (KAO) didapat dari tengah – tengah rentang karakteristik *Marshall*, yaitu VMA, VIM, VFB, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient* yang memenuhi syarat campuran HRS-WC untuk lalu lintas berat (> 1 juta ESA) ditambah nilai 0,1. Ditambahkan nilai 0,1% dalam penentuan kadar aspal optimum (KAO) karena pada aspal nantinya akan ditambahkan karet padat bahan vulkanisir, seperti diketahui bahwa dengan penambahan karet akan mengakibatkan semakin lembeknya aspal yang digunakan sewaktu pengujian.

Persyaratannya sesuai dengan Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, edisi Agustus 2001 dan untuk VIM sesuai dengan Pedoman Perencanaan Campuran Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (1999).

Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* campuran HRS-WC dengan berbagai komposisi campuran aspal dapat dilihat pada Tabel 4.4. Hasil secara lengkap dapat dilihat pada lampiran D.

Tabel 4.4. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS-WC dengan variasi kadar aspal pada (2 x 75) tumbukan

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian <i>Marshall</i> Kondisi (2 x 75) Tumbukan				
			Variasi Kadar Aspal (%)				
			6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,248	2,259	2,283	2,296	2,344
2	VMA (%)	≥ 18	18,61	18,63	18,23	18,18	16,95
3	VIM (%)	3 – 6	7,55	6,44	4,83	3,61	0,97
4	VFA (%)	≥ 65	59,5	65,4	73,5	80,2	94,3
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1466	1581	1613	1400	1345

6	<i>Flow</i> (mm)	≥ 2	2,78	3,20	3,35	3,42	4,18
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	≥ 200	531,63	493,80	482,96	410,59	321,86

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas pada tahap I, sesuai Spesifikasi Baru serta dari hasil analisa seperti pada Tabel 4.4 diketahui seluruh parameter *Marshall* yang memenuhi persyaratan terletak pada rentang kadar aspal 6,5% - 7,5%. dapatkan nilai karakteristik yang memenuhi persyaratan dan terletak pada rentang kadar aspal antara 6,5% - 7,5%. Dalam penelitian ini, besarnya kadar aspal optimum diambil berdasarkan nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan tersebut ditambah nilai 0,1%, yaitu sebesar ;

$$\begin{aligned}
 \text{KAO} &= ((6,5\% + 7,5\%) : 2) + 0,1\% \\
 &= 7,1\%
 \end{aligned}$$

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.1.

Gambar 4.1. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

4.1.5. Hasil Pemeriksaan *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum (Tahap II)

Hasil pengujian ini untuk mengetahui karakteristik *Marshall* yaitu VMA, VIM, VFB, Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient* dan Indeks Stabilitas Sisa (IRS) pada kadar aspal optimum kondisi standar (2 x 75) tumbukan dan kepadatan membal / *refusal density* (2 x 400) tumbukan.

Pada tahap II juga disiapkan, masing-masing dua jenis sampel untuk kondisi *dry* dan *soked*. Dengan pembuatan benda uji dilakukan pada kadar aspal optimum (KAO) yang didapatkan sewaktu dilakukan pengujian tahap I. Nilai KAO yang didapatkan sebesar 7,1 %. Serta dilakukan pula uji *Marshall* pada kadar aspal optimum campuran HRS-WC dengan berbagai perbedaan komposisi karet pada aspal (0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%). Dan hasil pengujian untuk kondisi standar (2 x 75) tumbukan dapat dilihat pada Tabel 4.5 sampai dengan Tabel 4.10 sedangkan untuk hasil pengujian untuk kondisi *refusal density* dapat dilihat pada Tabel 4.11 sampai dengan Tabel 4.16, hasil secara lengkap terdapat pada lampiran E.

Tabel 4.5. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 0 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian <i>Marshall</i> (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet 0%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			
			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,31	2,28	2,29	2,33
2	VMA (%)	≥ 18	16,87	18,52	18,53	17,53
3	VIM (%)	3 – 6	4,18	4,94	3,79	1,42
4	VFA (%)	≥ 65	75,45	73,38	79,61	91,92
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1456	1484	1384	1288
6	<i>Flow</i> (mm)	≥ 2	3,57	3,39	2,76	3,46
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	≥ 200	418,42	459,47	511,32	390,43
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	90,9	94,8	95,3	90,7

Tabel 4.6. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 1 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian <i>Marshall</i> (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet 1%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			
			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,30	2,31	2,29	2,30
2	VMA (%)	≥ 18	17,13	17,51	18,62	18,55
3	VIM (%)	3 – 6	3,92	3,16	3,26	1,96
4	VFA (%)	≥ 65	77,13	82,06	82,50	89,44
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1470	1438	1384	1209
6	Flow (mm)	≥ 2	3,50	3,13	3,21	3,38
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	430,85	460,53	430,18	361,45
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	89,6	94,3	87,4	87,2

Tabel 4.7. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 2 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian <i>Marshall</i> (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet 2%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			
			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,27	2,28	2,27	2,27
2	VMA (%)	≥ 18	18,50	18,35	19,14	19,57
3	VIM (%)	3 – 6	5,47	4,09	3,82	3,13
4	VFA (%)	≥ 65	70,56	77,74	80,03	84,10
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1389	1403	1225	1157
6	Flow (mm)	≥ 2	2,90	2,84	2,90	2,91
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	480,67	503,24	424,36	404,66
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	95,1	97,1	91,7	91,8

Tabel 4.8. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 3 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian <i>Marshall</i> (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet 3%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			
			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,26	2,27	2,30	2,32
2	VMA (%)	≥ 18	18,81	18,70	18,07	17,92
3	VIM (%)	3 – 6	5,87	4,55	2,60	1,20
4	VFA (%)	≥ 65	68,81	75,70	85,65	93,29
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1126	1149	1085	1114
6	Flow (mm)	≥ 2	3,55	3,19	3,60	3,15
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	323,33	366,62	307,37	358,91
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	90,0	98,3	94,9	86,1

Tabel 4.9. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 4 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian <i>Marshall</i> (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet 4%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			
			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,32	2,32	2,31	2,30
2	VMA (%)	≥ 18	16,39	17,12	17,83	18,58
3	VIM (%)	3 – 6	3,10	2,73	2,35	2,03
4	VFA (%)	≥ 65	81,15	84,07	86,85	89,10
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1242	1280	1299	1287
6	Flow (mm)	≥ 2	2,64	2,51	2,82	2,75
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	483,22	512,44	477,37	479,89
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	88,0	91,7	91,2	87,9

Tabel 4.10. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 5 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian <i>Marshall</i> (2 x 75) tumbukan dengan variasi kadar karet 5%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			

			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,33	2,33	2,34	2,32
2	VMA (%)	≥ 18	16,30	16,69	16,83	17,87
3	VIM (%)	3 – 6	3,01	2,24	1,18	1,19
4	VFA (%)	≥ 65	81,58	86,58	93,01	93,33
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1319	1426	1129	1062
6	Flow (mm)	≥ 2	2,93	2,70	3,33	3,48
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	463,68	532,62	343,64	308,08
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	93,4	95,3	99,8	91,9

Tabel 4.11. Rekapitulasi Pengujian Marshall Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi *refusal density* (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 0 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian Marshall (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet 0%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			
			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,32	2,34	2,33	2,33
2	VMA (%)	≥ 18	16,36	16,23	17,18	17,64
3	VIM (%)	3 – 6	3,60	2,27	2,19	1,56
4	VFA (%)	≥ 65	78,02	86,02	87,24	91,19
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1453	1643	1398	1394
6	Flow (mm)	≥ 2	2,28	2,23	2,36	2,38
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	645,57	744,05	591,40	592,55
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	92,1	93,0	98,1	90,5

Tabel 4.12. Rekapitulasi Pengujian Marshall Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi *refusal density* (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 1 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian Marshall (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet 1%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			
			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,34	2,31	2,33	2,31
2	VMA (%)	≥ 18	15,95	17,24	17,22	18,12
3	VIM (%)	3 – 6	2,56	2,84	1,59	1,43
4	VFA (%)	≥ 65	83,98	83,54	90,80	92,09
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1491	1543	1206	1119
6	Flow (mm)	≥ 2	2,29	2,81	3,28	4,50
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	661,61	552,94	375,06	257,60
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	89,8	92,9	100,0	91,0

Tabel 4.13. Rekapitulasi Pengujian Marshall Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi *refusal density* (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 2 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian Marshall (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet 2%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			

			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,34	2,33	2,33	2,32
2	VMA (%)	≥ 18	15,95	16,75	17,16	17,99
3	VIM (%)	3 – 6	2,50	2,21	1,47	1,23
4	VFA (%)	≥ 65	84,31	86,79	91,48	93,18
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1383	1613	1411	1175
6	Flow (mm)	≥ 2	2,71	2,49	2,86	3,45
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	515,78	660,43	495,13	344,75
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	96,0	97,2	98,1	98,0

Tabel 4.14. Rekapitulasi Pengujian Marshall Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi *refusal density* (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 3 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian Marshall (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet 3%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			
			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,36	2,35	2,34	2,32
2	VMA (%)	≥ 18	15,20	16,05	16,86	17,94
3	VIM (%)	3 – 6	1,69	1,45	1,17	1,23
4	VFA (%)	≥ 65	88,89	91,00	93,08	93,16
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1528	1580	1336	1332
6	Flow (mm)	≥ 2	3,23	2,63	3,23	3,19
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	475,80	605,76	417,10	421,18
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	89,0	89,3	99,7	92,5

Tabel 4.15. Rekapitulasi Pengujian Marshall Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi *refusal density* (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 4 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian Marshall (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet 4%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			
			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,36	2,35	2,34	2,33
2	VMA (%)	≥ 18	15,08	15,86	16,64	17,46
3	VIM (%)	3 – 6	1,58	1,25	0,94	0,68
4	VFA (%)	≥ 65	89,54	92,15	94,37	96,10
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1429	1523	1339	1218
6	Flow (mm)	≥ 2	3,11	2,90	3,46	3,74
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	459,96	527,60	393,28	327,88
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	86,9	91,3	95,4	94,5

Tabel 4.16. Rekapitulasi Pengujian Marshall Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi *refusal density* (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir (+ 5 % Karet)

No	Karakteristik	Syarat	Pengujian Marshall (2 x 400) tumbukan dengan variasi kadar karet 5%			
			Varisi Kadar Aspal (%)			
			6,6	7,1	7,6	8,1
1	Berat Isi (gr/cc)	-	2,37	2,36	2,34	2,33
2	VMA (%)	≥ 18	14,71	15,68	16,64	17,48
3	VIM (%)	3 – 6	1,16	1,06	0,96	0,72
4	VFA (%)	≥ 65	92,13	93,24	94,24	95,87
5	Stabilitas (kg)	≥ 800	1329	1360	1189	1187
6	Flow (mm)	≥ 2	3,44	3,31	3,33	3,55
7	MQ (kg/mm)	≥ 200	394,38	414,46	367,08	344,55
8	Stabilitas Sisa (%)	80%	93,9	99,5	95,6	93,8

Selanjutnya dilakukan pengujian perendaman standar (menghitung Indeks Stabilitas Sisa) dengan perhitungan Indeks Stabilitas Sisa (IRS) menggunakan persamaan (3.1). Hasilnya seperti terlihat pada Tabel 4.17 sampai dengan Tabel 4.18.

Tabel 4.17. Hasil Pengujian Perendaman Standard Tahap II pada kondisi

tumbukan

Campuran HRS WC dengan variasi kadar karet pada	Hasil Pengujian Perendaman Standar (2 x 75) Tumbukan			
	Variasi Kadar Aspal (%)			
	6,6	7,1	7,6	8,1

aspal	MSS (kg)	MSI (kg)	IRS (%)	MSS (kg)	MSI (kg)	IRS (%)	MSS (kg)	MSI (kg)	IRS (%)	MSS (kg)	MSI (kg)	IRS (%)
Aspal + 0 % Karet	1387	1525	90.951	1444	1525	94.689	1351	1525	88.590	1225	1525	80.328
Aspal + 1 % Karet	1390	1550	89.677	1396	1550	90.065	1292	1550	83.355	1126	1550	72.645
Aspal + 2 % Karet	1354	1424	95.084	1383	1424	97.121	1172	1424	82.303	1107	1424	77.739
Aspal + 3 % Karet	1067	1186	89.966	1139	1186	96.037	1056	1186	89.039	1031	1186	86.931
Aspal + 4 % Karet	1163	1322	87.973	1225	1322	92.663	1239	1322	93.722	1204	1322	91.074
Aspal + 5 % Karet	1274	1364	93.402	1391	1364	101.979	1128	1364	82.698	1017	1364	74.560

Tabel 4.18. Hasil Pengujian Perendaman Standard Tahap II pada kondisi

(2 x 400) tumbukan

Campuran HRS WC dengan variasi kadar karet pada aspal	Hasil Pengujian Perendaman Standar (2 x 400) Tumbukan											
	Variasi Kadar Aspal (%)											
	6,6			7,1			7,6			8,1		
	MSS (kg)	MSI (kg)	IRS (%)	MSS (kg)	MSI (kg)	IRS (%)	MSS (kg)	MSI (kg)	IRS (%)	MSS (kg)	MSI (kg)	IRS (%)
Aspal + 0 % Karet	1393	1512	92.130	1583	1512	104.696	1384	1512	91.534	1325	1512	87.632
Aspal + 1 % Karet	1411	1571	89.815	1486	1571	94.589	1206	1571	76.766	1066	1571	67.855

Aspal + 2 % Karet	1354	1411	95.960	1591	1411	112.757	1398	1411	99.079	1163	1411	82.424
Aspal + 3 % Karet	1439	1616	89.047	1490	1616	92.203	1335	1616	82.611	1280	1616	79.208
Aspal + 4 % Karet	1329	1530	86.863	1454	1530	95.033	1308	1530	85.490	1184	1530	77.386
Aspal + 5 % Karet	1287	1370	93.942	1357	1370	99.051	1163	1370	84.891	1149	1370	83.869

4.2. PEMBAHASAN

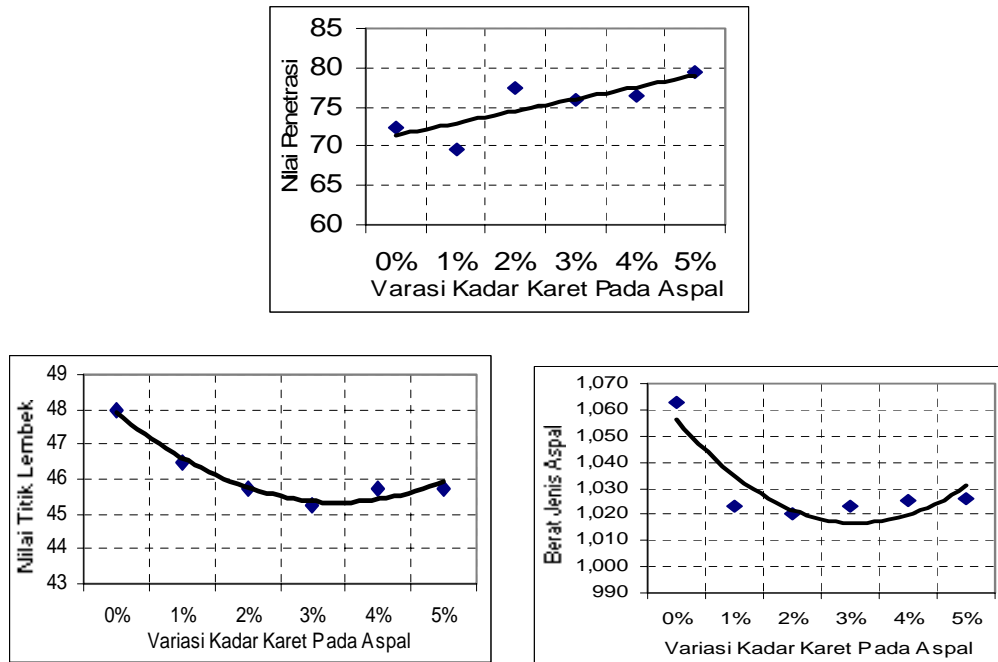
4.2.1. Evaluasi Hasil Laboratorium terhadap Karakteristik Aspal dengan variasi kadar karet (0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%)

Pengujian tambahan untuk mengetahui sifat - sifat fisik aspal dengan variasi kadar karet didalamnya (0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%) hal tersebut dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik aspal sebelum serta setelah dilakukan penambahan karet pada aspal. Pengujian yang dilakukan hanya terbatas pada pengujian penetrasi, titik lembek dan berat jenis.

Untuk lebih jelasnya dapat dibaca serta dilihat pada Tabel 4.19 serta Gambar 4.2 berikut ini.

Tabel 4.19. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Dengan Varisi Kadar Karet Pada Aspal

Sifat Fisik Aspal	Variasi Kadar Karet Pada Aspal					
	0%	1%	2%	3%	4%	5%
Penetrasi	72.4	69.7	77.5	76	76.3	79.5
Titik lembek	48	46.5	45.75	45.25	45.75	45.75
Berat jenis	1,063	1,023	1,020	1,023	1,025	1,026



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs Karakteristik Sifat Fisik Aspal

Pada Tabel 4.19 dan juga Gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa untuk nilai penetrasi antara aspal murni (aspal dengan campuran 0% karet padat bahan vulkanisir) dengan aspal yang telah diberi tambahan/campuran karet padat bahan vulkanisir maka didapatkan nilai penetrasi aspal murni lebih rendah dibanding nilai penetrasi aspal dengan campuran karet padat bahan vulkanisir. Semakin bertambahnya prosentase karet pada aspal maka nilai penetrasinya akan semakin meningkat. Hal tersebut diatas dapat diartikan bahwa semakin campuran aspal ditambahkan karet padat bahan vulkanisir maka campuran tersebut nilai kekerasan/kekakuannya akan menurun, akan tetapi untuk nilai titik lembeknya berlawanan dengan nilai penetrasi. Semakin bertambahnya kadar karet padat bahan vulkanisir pada aspal, maka titik lembeknya semakin menurun. Ini berarti keelastisan aspal semakin meningkat. Sedangkan untuk berat jenis aspal itu sendiri dilihat bahwa semakin

bertambahnya kadar karet padat bahan vulkanisir akan mengurangi berat jenis aspal itu sendiri. Dengan kata lain aspal menjadi lebih ringan.

4.2.2. Evaluasi Hasil laboratorium terhadap Karakteristik Campuran HRS–WC Tahap I pada kondisi standar terhadap variasi kadar aspal (6,0%, 6,5%, 7,0%, 7,5% dan 8,0%) dengan prosentase kadar karet dalam aspal 0%

a. Hubungan Variasi Kadar Aspal terhadap nilai Density dengan Volume Rongga pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan

Dari hasil pengujian bahan susun untuk campuran HRS–WC didapatkan hasil sebagai berikut ;

**Tabel 4.20. Variasi Kadar Aspal terhadap Nilai *Density*, VMA, VIM dan VFA
Campuran HRS-WC**

Karakteristik	Spesifikasi (gr / cc)	Variasi Kadar Aspal (%)				
		6	6.5	7	7.5	8
Density	-	2,248	2,259	2,283	2,296	2,344
VMA	-	18,61	18,63	18,23	18,18	16,95
VIM	3 - 6	7,55	6,44	4,83	3,61	0,97
VFA	Min. 65	59,5	65,4	3,5	80,2	94,3

Nilai *density*/kepadatan menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Campuran *density*/kepadatan yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan pada campuran yang mempunyai *density*/kepadatan rendah. Dari hasil pengujian yang tertera pada Tabel 4.20 dapat dilihat bahwa campuran HRS-WC dengan aspal murni (0% karet padat bahan vulkanisir) didapatkan nilai *density*/kepadatan lebih kecil dibandingkan dengan campuran yang aspalnya ditambah karet didalamnya. Semakin bertambahnya karet dalam aspal maka campuran akan semakin padat. Selain hal diatas juga nilai *density*/kepadatan suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas bahan

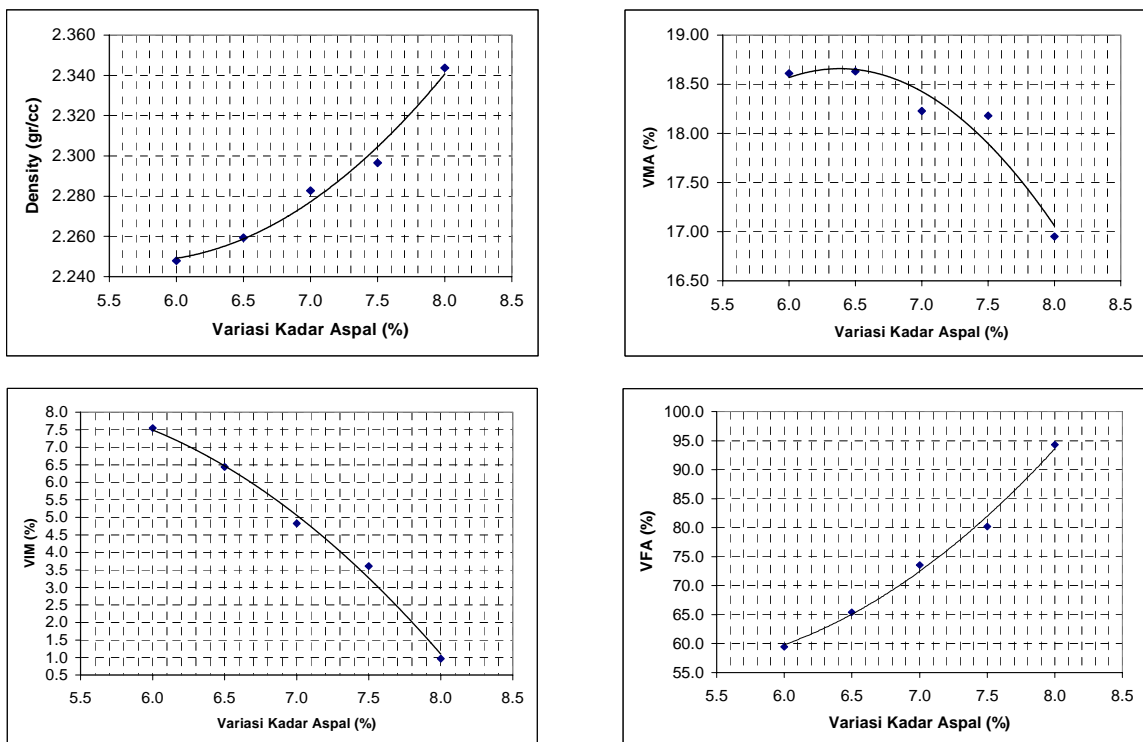
susun dan cara pemadatan. Suatu campuran akan memiliki *density*/kepadatan yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam, kadar aspal tinggi dan porositas butiran rendah.

Void in Mineral Agreggate (VMA) adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran beraspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. VMA dinyatakan dalam prosentase dari campuran beraspal panas. 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.

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 agregat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran semakin berkurang.

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 semakin tipis yang menyebabkan campuran beraspal panas tidak awet.

Hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *density*, VMA, VIM dan VFA dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini ;



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs *Density*, VMA, VIM dan VFA

Seperti terlihat pada Tabel 4.20. dan Gambar 4.3. semakin bertambahnya kadar aspal, semakin rapat campurannya. Hal tersebut disebabkan karena setiap penambahan kadar aspal, rongga dalam campuran masih dapat terisi oleh aspal sehingga campuran menjadi semakin rapat. Dalam spesifikasi baru tidak ada persyaratan khusus mengenai tingkat *density*. Pada umumnya nilai *density* dipergunakan

dalam persyaratan teknis lapangan dimana *density* rerata lapisan yang telah selesai dipadatkan tidak boleh kurang dari 96 % dari *density* laboratorium. Sebagai acuan disarankan tingkat *density* > 2 gr / cc.

Untuk nilai VMAny dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar aspal nilai VMA campuran semakin mengecil, karena rongga - rongga yang terisi oleh aspal semakin banyak. Sedangkan naiknya nilai VMA pada kadar aspal 6,5 % disebabkan karena jumlah aspal yang masuk kedalam rongga-rongga tersebut masih kurang, selanjutnya terus menurun.

Nilai VIM yang rendah dibawah 3 % 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 6 % akan menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara sehingga campuran beraspal panas tersebut kurang awet dan mudah retak (*crack*).

Seiring dengan bertambahnya kadar aspal maka nilai VFA akan semakin naik. Hal ini disebabkan karena rongga dalam campuran mengecil karena bertambahnya kadar aspal yang meresap dan menyelimuti butiran agregat. Nilai VFA menunjukkan perbandingan jumlah kandungan rongga didalam campuran. Nilai VFA yang rendah berarti jumlah aspal efektif yang mengisi rongga – rongga antar butir agregat sedikit sehingga rongga udaranya besar. Hal ini akan mengurangi keawetan dari campuran. Sebaliknya nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding* karena rongga antar butiran terlalu kecil.

b. Hubungan Variasi Kadar Aspal terhadap Stabilitas, Flow dan Marshall Quotient (MQ) pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan

Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat dicapai oleh bahan penyusun 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 HRS-WC yang dilalui oleh < 1.000.000 ESA, stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg.

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, 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.

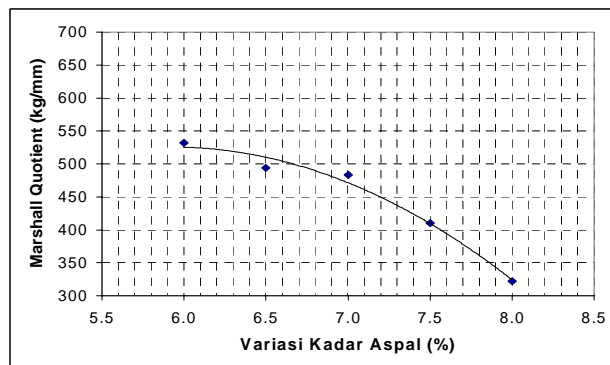
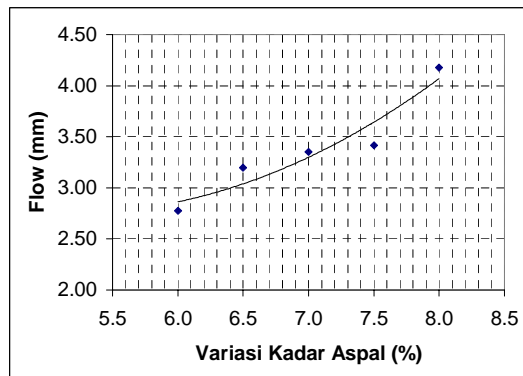
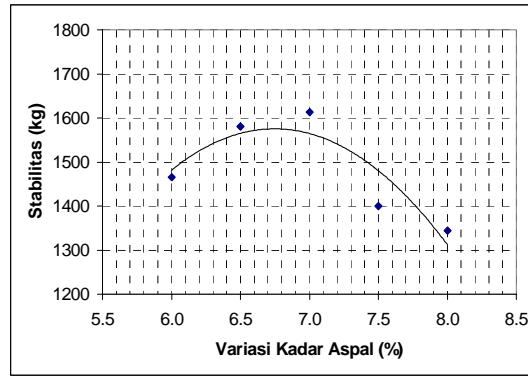
Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai MQ tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran (*fictional resistance*) dan saling mengunci antar butiran (*interlocking*) yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta nilai *flow* yang dipengaruhi oleh viscositas, 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 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 variasi kadar aspal dengan nilai stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ) dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.4 dibawah ini ;

**Tabel 4.21. Variasi Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas, *Flow* dan MQ
Campuran HRS-WC**

Karakteristik	Spesifikasi (kg)	Variasi Kadar Aspal				
		6	6.5	7	7.5	8
Stabilitas	Min. 800	1466	1581	1613	1400	1345
<i>Flow</i>	Min. 2	2,78	3,20	3,35	3,42	4,18
MQ	Min. 200	531,63	493,80	482,96	410,59	321,86



Gambar 4.4. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs Stabilitas, *Flow* dan MQ

Dari Tabel 4.21 dan Gambar 4.4 diatas dapat dilihat bahwa pada campuran HRS-WC sesuai dalam Spesifikasi Baru, berada diatas stabilitas minimal 800 kg yang disyaratkan. Hal ini terkait pada kinerja nilai *density*, VMA, VIM, VFA seperti ditunjukkan pada kadar aspal sampai 6 % stabilitas naik dari 1466 kg sampai kadar aspal 7,5 % menjadi 1400 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.

Campuran HRS-WC sesuai dengan 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 maka campuran menjadi semakin plastis. Sesuai sifat aspal sebagai bahan pengikat, maka semakin banyak aspal menyelimuti batuan maka semakin baik ikatan antara agregat dengan aspal yang menyebabkan nilai *flow* menjadi tinggi. Nilai *flow* maksimum sebesar 4,18 mm tercapai pada kadar aspal 8 %, sesuai sifat aspal sebagai bahan pengikat maka semakin banyak aspal menyelimuti batuan, semakin baik pula ikatan antara agregat dengan aspal. Dari hasil penelitian dapat dilihat pada semua kadar aspal dari 6 % - 8 % nilai *flow* nya memenuhi spesifikasi sebesar > 2 mm.

Dan untuk nilai MQ yang didapatkan dari pengujian, semua berada diatas MQ minimal 200 kg/mm yang disyaratkan. Dari hasil penelitian dapat dilihat pada semua kadar aspal dari 6 % - 8 %, nilai MQ memenuhi syarat spesifikasi sebesar ≥ 200 kg/mm.

Dari hasil pengujian bahan susun untuk campuran HRS-WC didapatkan hasil rekapitulasi yang memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi baru. Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas pada tahap I, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1 maka ditentukan kadar aspal optimum sebesar 7,10%.

4.2.3. Evaluasi Hasil Laboratorium terhadap Karakteristik Campuran HRS-WC Tahap II pada kondisi standard dan kondisi *refusal density* terhadap variasi variabel perbedaan komposisi karet dalam aspal (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%)

Dari hasil pengujian bahan susun untuk campuran HRS-WC didapatkan hasil rekapitulasi sebagai berikut :

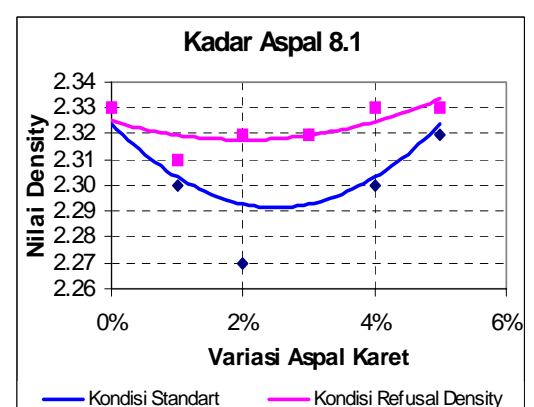
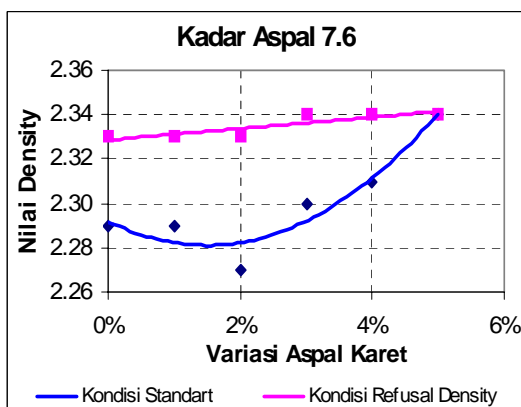
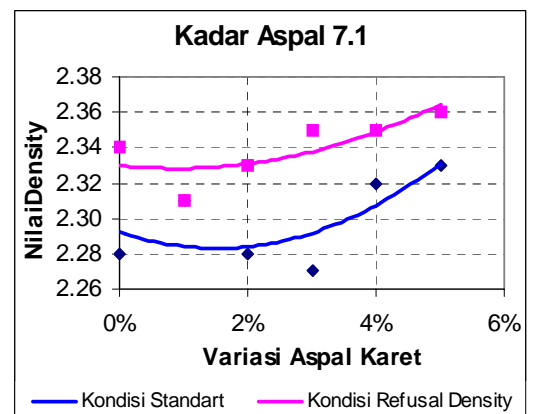
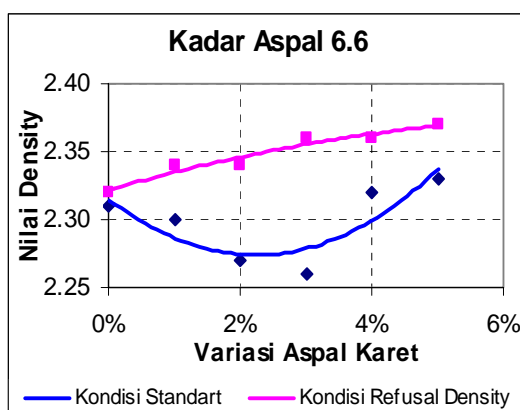
a. Hubungan Kerapatan (Density), Volume Rongga dengan Variasi Kadar Karet pada aspal padat pada Kondisi Standart (2 x 75) tumbukan dan Kondisi refusal density (2 x 400) tumbukan

Peningkatan jumlah pemadatan akan mempengaruhi nilai kerapatan dan volume rongga yang ada dalam campuran aspal padat, semakin besar jumlah pemadatan maka akan diperoleh nilai kerapatan campuran aspal padat semakin tinggi. Semakin tingginya nilai kerapatan maka volume rongga diantara mineral agregat (VMA) dan volume rongga di dalam campuran aspal padat (VIM) yang tersisa dipaksa menjadi semakin kecil, berarti campuran menjadi lebih mampat. Dengan mengecilkan VMA dan VIM mengakibatkan volume rongga diantara agregat yang terisi aspal (VFA) semakin naik.

Pengaruh penambahan pemadatan terhadap variasi kadar karet pada aspal dengan nilai kerapatan dan berbagai volume di dalam campuran aspal padat dapat dilihat pada Tabel 4.22 sampai Tabel 4.29 Untuk memperjelas pengaruh penambahan jumlah pemadatan terhadap variasi kadar karet pada aspal dengan nilai kerapatan dan berbagai volume rongga didalam campuran aspal padat, maka Tabel 4.22 sampai Tabel 4.29 dibuat grafik seperti pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.12.

Tabel 4.22. Pengaruh Variasi Kadar Aspal terhadap Nilai *Density* Campuran HRS–WC

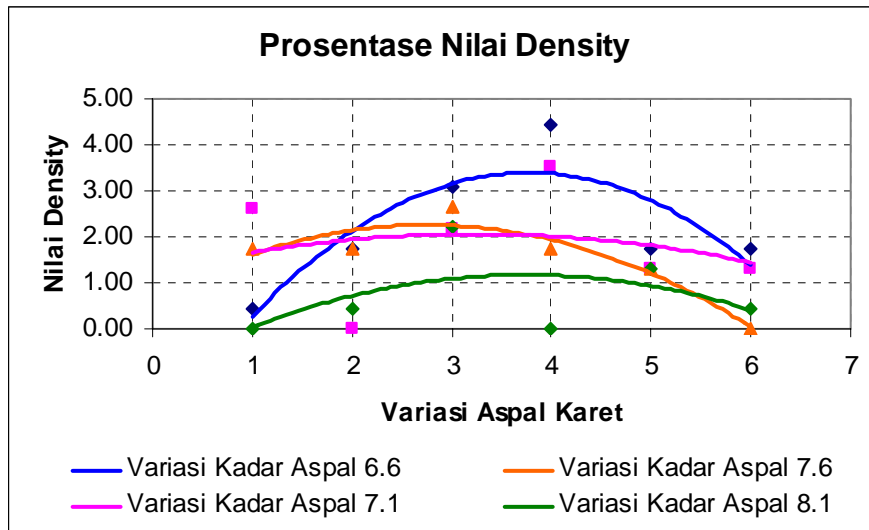
Variasi Kadar Aspal	Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>Density</i> Campuran HRS-WC									
	Syarat (gr/cc)	(2 x 75) tumbukan				Syarat (gr/cc)	(2 x 400) tumbukan			
		6,6	7,1	7,6	8,1		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	-	2,31	2,28	2,29	2,33	-	2,32	2,34	2,33	2,33
Aspal + 1% karet	-	2,30	2,31	2,29	2,30	-	2,34	2,31	2,33	2,31
Aspal + 2% karet	-	2,27	2,28	2,27	2,27	-	2,34	2,33	2,33	2,32
Aspal + 3% karet	-	2,26	2,27	2,30	2,32	-	2,36	2,35	2,34	2,32
Aspal + 4% karet	-	2,32	2,32	2,31	2,30	-	2,36	2,35	2,34	2,33
Aspal + 5% karet	-	2,33	2,33	2,34	2,32	-	2,37	2,36	2,34	2,33



Gambar 4.5. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs *Density* Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi *Refusal Density* (2 x 400) Tumbukan

Tabel 4.23. Prosentase Nilai *Density* Pada Campuran HRS-WC

Variasi Kadar Aspal	Syarat (%)	Prosentase Nilai <i>Density</i>			
		Variasi Kadar Aspal (%)			
		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	-	0,43	2,63	1,75	0,00
Aspal + 1% karet	-	1,74	0,00	1,75	0,43
Aspal + 2% karet	-	3,08	2,19	2,64	2,20
Aspal + 3% karet	-	4,42	3,52	1,74	0,00
Aspal + 4% karet	-	1,72	1,29	1,30	1,30
Aspal + 5% karet	-	1,72	1,29	0,00	0,43

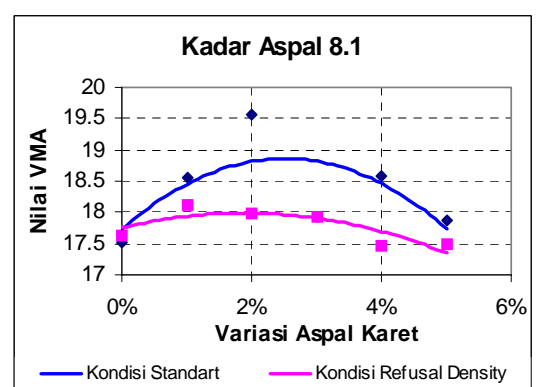
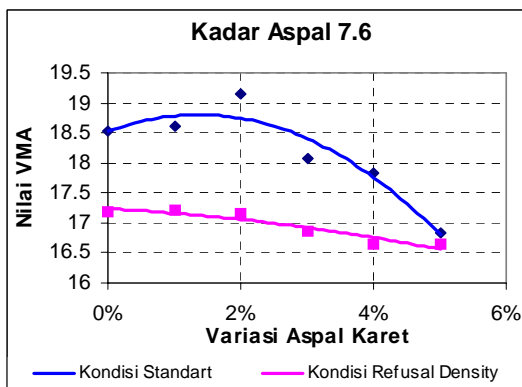
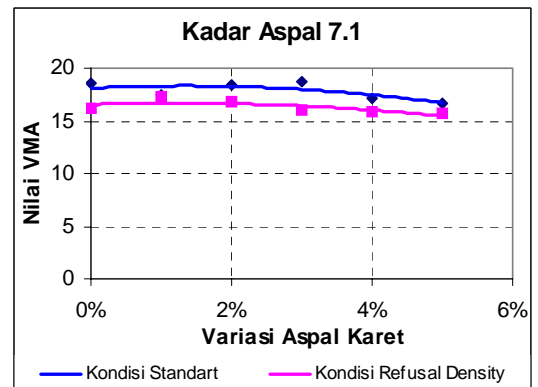
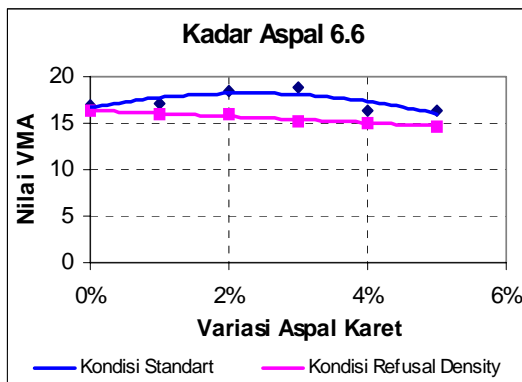


Gambar 4.6.

Grafik Prosentase Nilai *Density*

Tabel 4.24. Pengaruh Variasi Kadar Aspal terhadap Nilai VMA Campuran HRS-WC Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi Refusal Density (2 x 400) Tumbukan

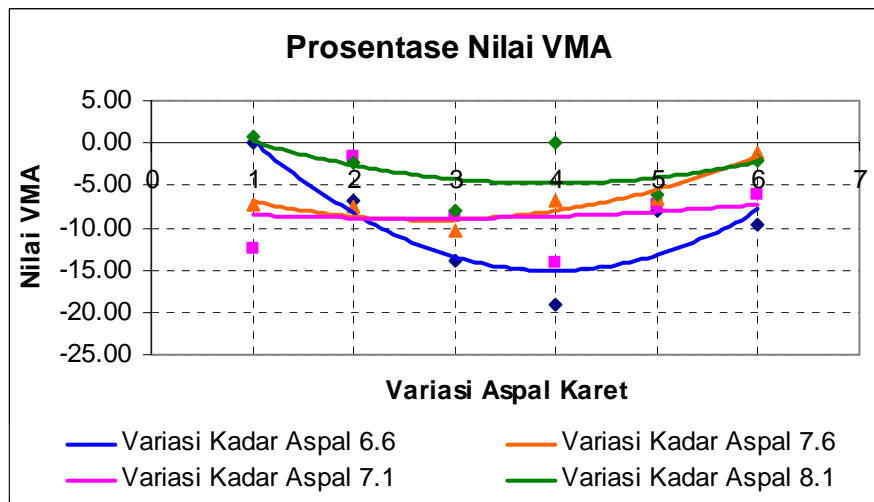
Variasi Kadar Aspal	Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai VMA Campuran HRS-WC									
	Syarat (%)	(2 x 75) tumbukan				Syarat (%)	(2 x 400) tumbukan			
		6,6	7,1	7,6	8,1		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	≥ 18	16,87	18,52	18,53	17,53	-	16,36	16,23	17,18	17,64
Aspal + 1% karet	≥ 18	17,13	17,51	18,62	18,55	-	15,95	17,24	17,22	18,12
Aspal + 2% karet	≥ 18	18,50	18,35	19,14	19,57	-	15,95	16,75	17,16	17,99
Aspal + 3% karet	≥ 18	18,81	18,70	18,07	17,92	-	15,20	16,05	16,86	17,94
Aspal + 4% karet	≥ 18	16,39	17,12	17,83	18,58	-	15,08	15,86	16,64	17,46
Aspal + 5% karet	≥ 18	16,30	16,69	16,83	17,87	-	14,71	15,68	16,64	17,48



**Gambar 4.7. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal
vs VMA Pada Kondisi Standard (2 x 75)
Tumbukan dan Pada Kondisi *Refusal Density* (2 x 400) Tumbukan**

Tabel 4.25. Prosentase Nilai VMA Pada Campuran HRS–WC

Variasi Kadar Aspal	Syarat (%)	Prosentase Nilai VMA			
		Variasi Kadar Aspal (%)			
		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	-	-0,02	-12,37	-7,29	0,63
Aspal + 1% karet	-	-6,89	-1,54	-7,52	-2,32
Aspal + 2% karet	-	-13,78	-8,72	-10,34	-8,07
Aspal + 3% karet	-	-19,19	-14,17	-6,70	0,11
Aspal + 4% karet	-	-7,99	-7,36	-6,67	-6,03
Aspal + 5% karet	-	-9,75	-6,05	-1,13	-2,18

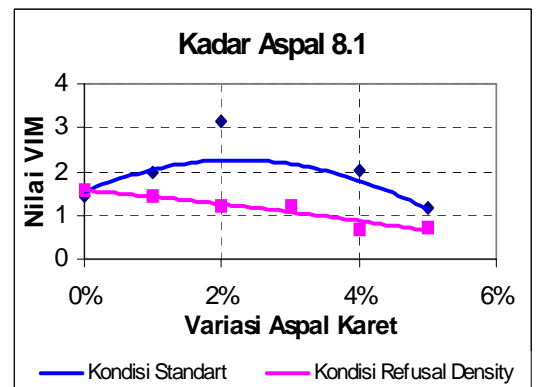
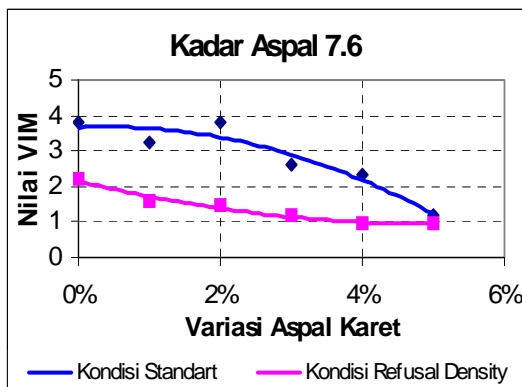
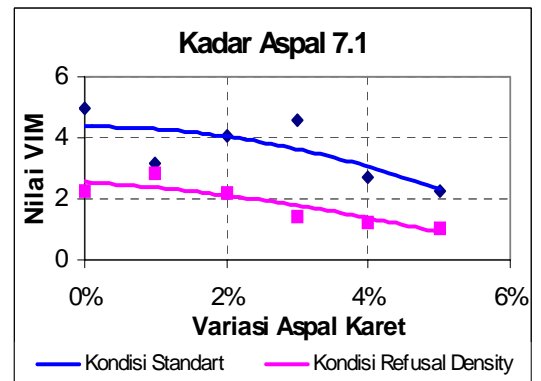
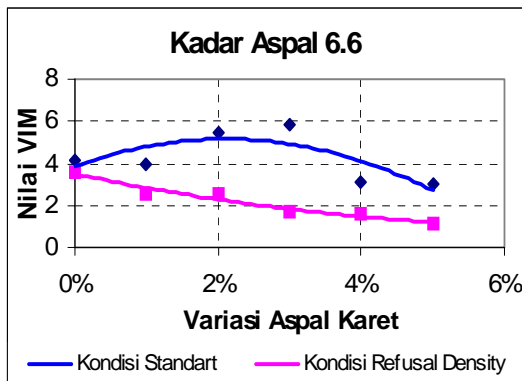


Gambar 4.8.

Grafik Prosentase Nilai VMA

Tabel 4.26. Pengaruh Variasi Kadar Aspal terhadap Nilai VIM Campuran HRS-WC Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi Refusal Density (2 x 400) Tumbukan

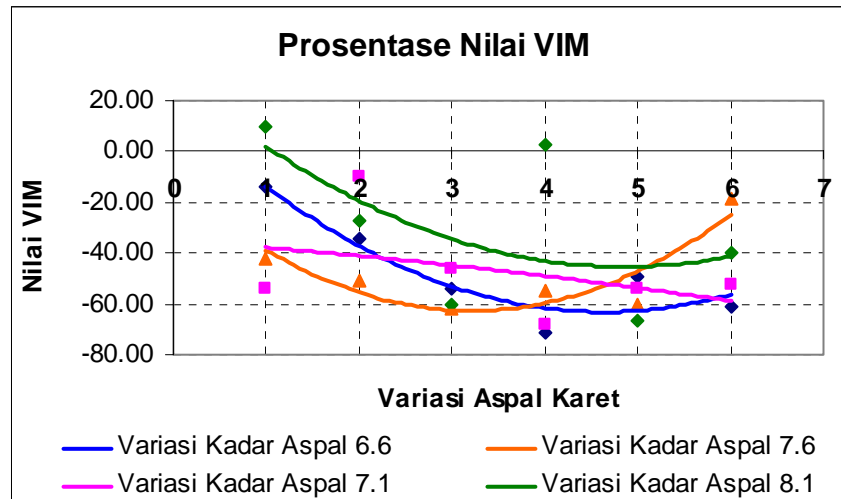
Variasi Kadar Aspal	Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai VIM Campuran HRS-WC									
	Syarat (%)	(2 x 75) tumbukan				Syarat (%)	(2 x 400) tumbukan			
		6,6	7,1	7,6	8,1		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	3 – 6	4,18	4,94	3,79	1,42	Min 2	3,60	2,27	2,19	1,56
Aspal + 1% karet	3 – 6	3,92	3,16	3,26	1,96	Min 2	2,56	2,84	1,59	1,43
Aspal + 2% karet	3 – 6	5,47	4,09	3,82	3,13	Min 2	2,50	2,21	1,47	1,23
Aspal + 3% karet	3 – 6	5,87	4,55	2,60	1,20	Min 2	1,69	1,45	1,17	1,23
Aspal + 4% karet	3 – 6	3,10	2,73	2,35	2,03	Min 2	1,58	1,25	0,94	0,68
Aspal + 5% karet	3 – 6	3,01	2,24	1,18	1,19	Min 2	1,16	1,06	0,96	0,72



Gambar 4.9. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs VIM Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi *Refusal Density* (2 x 400) Tumbukan

Tabel 4.27. Prosentase Nilai VIM Pada Campuran HRS-WC

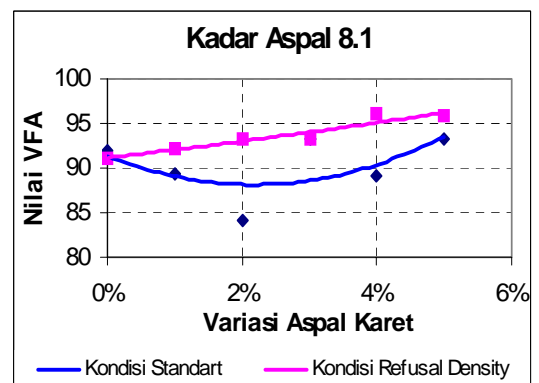
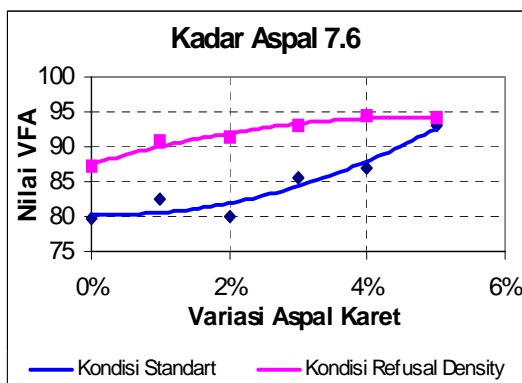
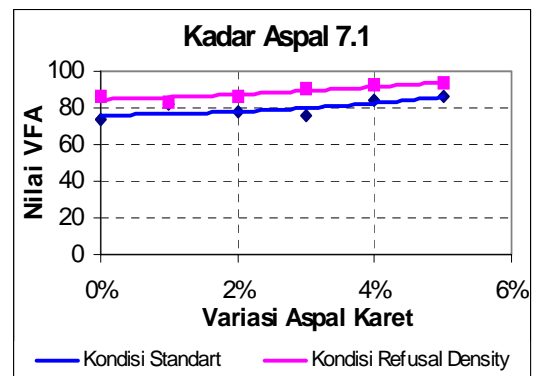
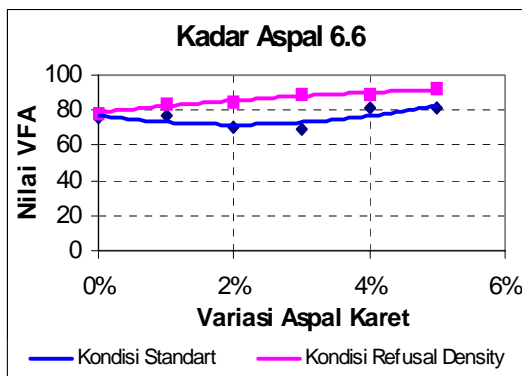
Variasi Kadar Aspal	Syarat (%)	Prosentase Nilai VIM			
		Variasi Kadar Aspal (%)			
		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	-	-13,88	-54,05	-42,22	9,86
Aspal + 1% karet	-	-34,69	-10,13	-51,23	-27,04
Aspal + 2% karet	-	-54,30	-45,97	-61,52	-60,70
Aspal + 3% karet	-	-71,21	-68,13	-55,00	2,50
Aspal + 4% karet	-	-49,03	-54,21	-60,00	-66,50
Aspal + 5% karet	-	-61,46	-52,68	-18,64	-39,50



Gambar 4.10. Grafik Prosentase Nilai VIM

Tabel 4.28. Pengaruh Variasi Kadar Aspal terhadap Nilai VFA Campuran HRS-WC Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi Refusal Density (2 x 400) Tumbukan

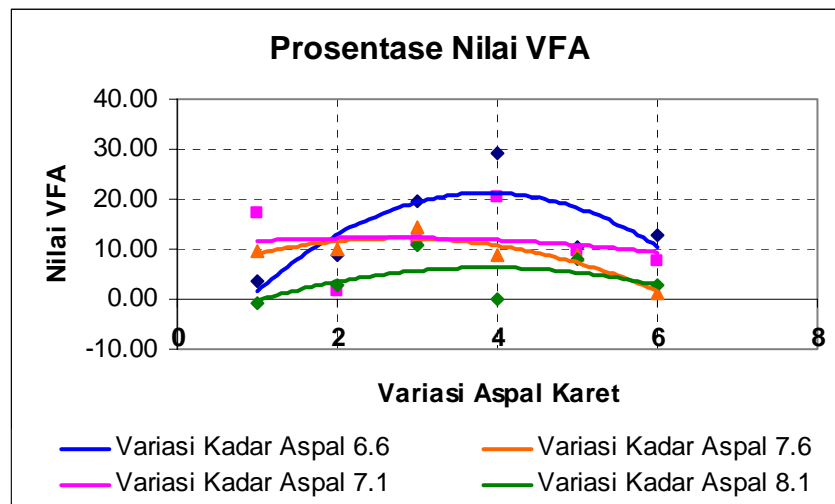
Variasi Kadar Aspal	Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai VFA Campuran HRS-WC									
	Syarat (%)	(2 x 75) tumbukan				Syarat (%)	(2 x 400) tumbukan			
		6,6	7,1	7,6	8,1		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	≥ 65	75,45	73,38	79,61	91,92	-	78,02	86,02	87,24	91,19
Aspal + 1% karet	≥ 65	77,13	82,06	82,50	89,44	-	83,98	83,54	90,80	92,09
Aspal + 2% karet	≥ 65	70,56	77,74	80,03	84,10	-	84,31	86,79	91,48	93,18
Aspal + 3% karet	≥ 65	68,81	75,70	85,65	93,29	-	88,89	91,00	93,08	93,16
Aspal + 4% karet	≥ 65	81,15	84,07	86,85	89,10	-	89,54	92,15	94,37	96,10
Aspal + 5% karet	≥ 65	81,58	86,58	93,01	93,33	-	92,13	93,24	94,24	95,87



**Gambar 4.11. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal
vs VFA Pada Kondisi Standard (2 x 75)
Tumbukan dan Pada Kondisi *Refusal Density* (2 x 400) Tumbukan**

Tabel 4.29. Prosentase Nilai VFA Pada Campuran HRS - WC

Variasi Kadar Aspal	Syarat (%)	Prosentase Nilai VFA			
		Variasi Kadar Aspal (%)			
		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	-	3,41	17,23	9,58	-0,79
Aspal + 1% karet	-	8,88	1,80	10,06	2,96
Aspal + 2% karet	-	19,49	11,64	14,31	10,80
Aspal + 3% karet	-	29,18	20,21	8,67	-0,14
Aspal + 4% karet	-	10,34	9,61	8,66	7,86
Aspal + 5% karet	-	12,93	7,69	1,32	2,72



Gambar 4.12.

Grafik Prosentase Nilai VFA

Gambar 4.6 menunjukkan prosentase peningkatan nilai *density*, peningkatan terjadi setelah aspal ditambah dengan karet padat bahan vulkanisir. Peningkatan terjadi secara bertahap sampai pada batas tertentu dimana nilai kerapatan ini akan berangsur-angsur turun kembali, ini dikarenakan agregat kasar mudah bergeser sehingga semakin bertambahnya jumlah pemadatan mengakibatkan butir-butir agregat mudah bergeser menyesuaikan kedudukannya yang kemudian saling mengisi rongga-rongga diantara butir agregat yang ada. Disamping karena pengaruh pergeseran agregat juga disebabkan adanya penambahan kadar karet pada campuran aspal padat, dimana rongga diantara butir agregat yang terisi aspal semakin besar dan campuran semakin tidak berongga, akibat pemadatan tambahan maka butir-butir agregat yang lebih kecil akan bergeser mengisi rongga-rongga yang masih tersedia sehingga volume rongga diantara agregat (VMA) akan mengecil seperti terlihat pada Gambar 4.8 yang menggambarkan prosentase penurunan nilai VMA akibat penambahan pemadatan.

Dengan mengecilnya nilai VMA maka mengakibatkan volume rongga udara di dalam campuran aspal padat (VIM) yang tersisa semakin mengecil seperti pada Gambar 4.10 terlihat prosentase penurunan VIM akibat penambahan jumlah pemadatan. Karena rongga diantara mineral agregat (VMA) dan rongga udara didalam campuran aspal padat (VIM) yang tersisa semakin kecil, maka dengan variasi kadar karet pada aspal mengakibatkan rongga diantara agregat terisi aspal (VFA) semakin besar seperti pada Gambar 4.12 yang memperlihatkan peningkatan prosentase nilai VFA akibat penambahan jumlah pemadatan.

Dari Gambar 4.6 juga menunjukkan pada saat kadar aspal padat 6,6 serta diberi campuran karet padat bahan vulkanisir dengan prosentase karet 3% pada campuran maka penambahan jumlah pemadatan akan menaikkan prosentase nilai kerapatan sampai pada nilai yang optimum. Hal ini disebabkan fraksi – fraksi agregat kasar maupun agregat halus yang ada dalam campuran masih mencukupi untuk mengadakan perimbangan akibat bertambahnya kadar karet pada aspal guna saling mengisi rongga – rongga diantara butiran agregat yang ada, seperti terlihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.10, dimana prosentase penurunan nilai VMA dan VIM akan semakin membesar sampai mencapai nilai optimum ketika aspal padat kadar 6,6 diberi campuran karet dengan prosentase 3%.

- b. *Hubungan Stabilitas Marshall, Kelelehan Plastis (Flow) dan Marshall Quotient (MQ) dengan Variasi Kadar Karet pada Aspal padat pada Kondisi Standart (2 x 75) tumbukan dan Kondisi refusal density (2 x 400) tumbukan*

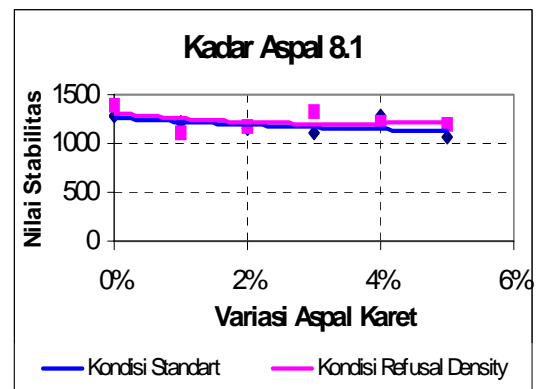
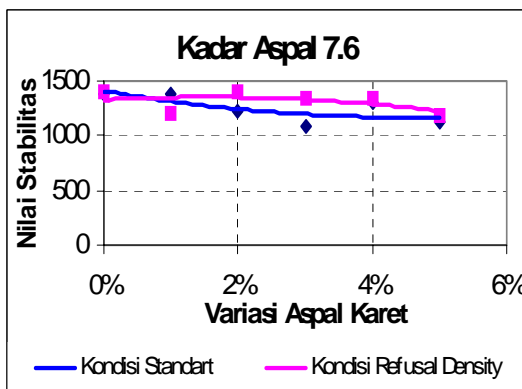
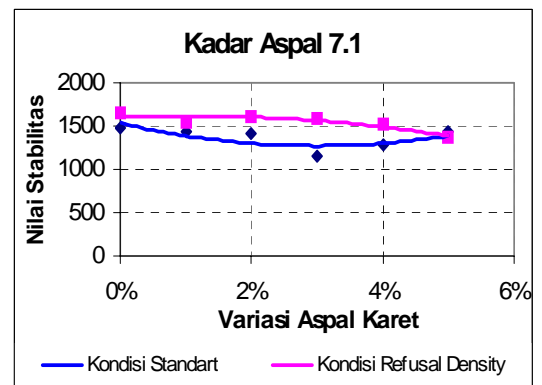
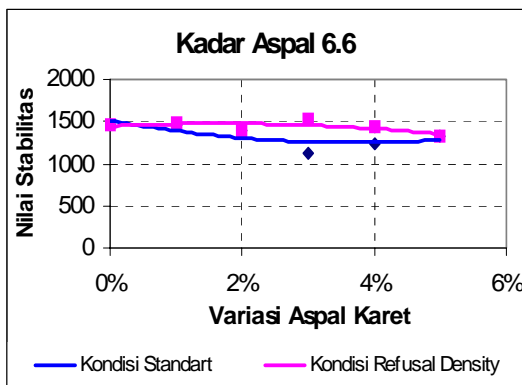
Penambahan jumlah pemadatan akan mempengaruhi nilai kerapatan dan volume rongga yang ada dalam campuran aspal padat. Semakin meningkatnya jumlah pemadatan akan diperoleh nilai kerapatan yang semakin tinggi. Semakin tinggi nilai kerapatan akibat penambahan jumlah pemadatan maka volume rongga diantara mineral agregat (VMA) dan volume udara didalam campuran aspal padat (VIM) menjadi semakin kecil, atau semakin mampat. Dengan semakin mengecilnya nilai VMA dan VIM mengakibatkan volume rongga diantara agregat yang terisi aspal (VFA) semakin naik. Meningkatnya nilai kerapatan dan mengecilnya nilai rongga udara dalam campuran (VIM) akan

menaikkan nilai stabilitas serta mempengaruhi nilai kelelahan plastis.

Pengaruh penambahan pemadatan dari (2 x 75) tumbukan menjadi (2 x 400) tumbukan terhadap nilai stabilitas, kelelahan plastis dan *Marshall Quotient* (MQ) dengan variasi kadar karet pada aspal dapat dilihat pada Tabel 4.36 sampai Tabel 4.44, untuk memperjelas pengaruh penambahan pemadatan terhadap nilai stabilitas, nilai kelelahan plastis dan *Marshall Quotient* (MQ) dengan berbagai variasi kadar karet pada aspal, dari Tabel 4.36 sampai Tabel 4.44 dibuat grafik seperti Gambar 4.17 sampai Gambar 4.23.

Tabel 4.30. Pengaruh Variasi Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas Campuran HRS-WC Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi Refusal Density (2 x 400) Tumbukan

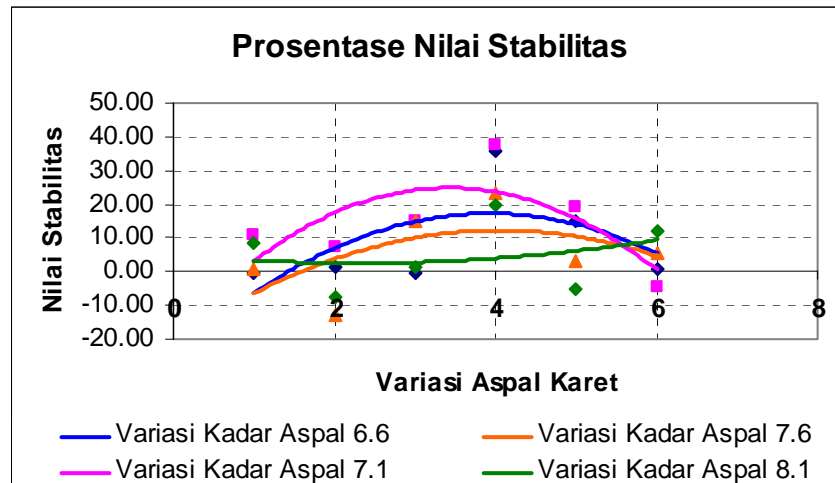
Variasi Kadar Aspal	Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas Campuran HRS-WC									
	Syarat (Kg)	(2 x 75) tumbukan				Syarat (Kg)	(2 x 400) tumbukan			
		6,6	7,1	7,6	8,1		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	≥ 800	1456	1484	1384	1288	-	1453	1643	1398	1394
Aspal + 1% karet	≥ 800	1470	1438	1384	1209	-	1491	1543	1206	1119
Aspal + 2% karet	≥ 800	1389	1403	1225	1157	-	1383	1613	1411	1175
Aspal + 3% karet	≥ 800	1126	1149	1085	1114	-	1528	1580	1336	1332
Aspal + 4% karet	≥ 800	1242	1280	1299	1287	-	1429	1523	1339	1218
Aspal + 5% karet	≥ 800	1319	1426	1129	1062	-	1329	1360	1189	1187



Gambar 4.13. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs Stabilitas Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi *Refusal Density* (2 x 400) Tumbukan

Tabel 4.31. Prosentase Nilai Stabilitas Pada Campuran HRS - WC

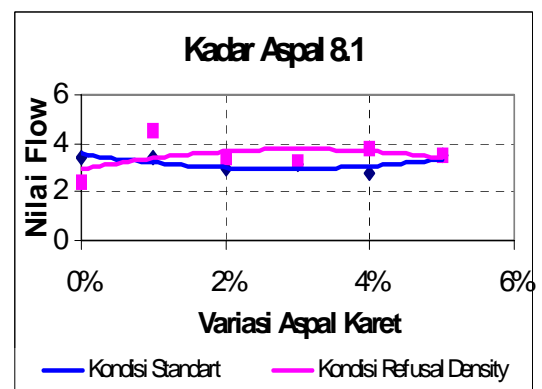
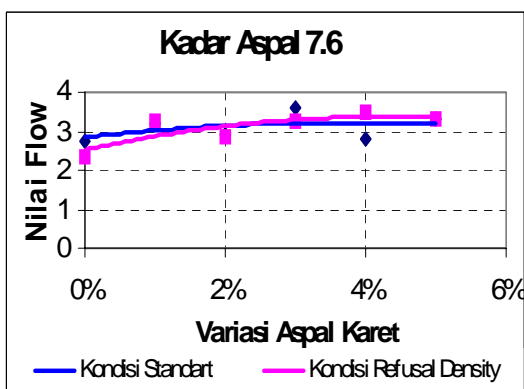
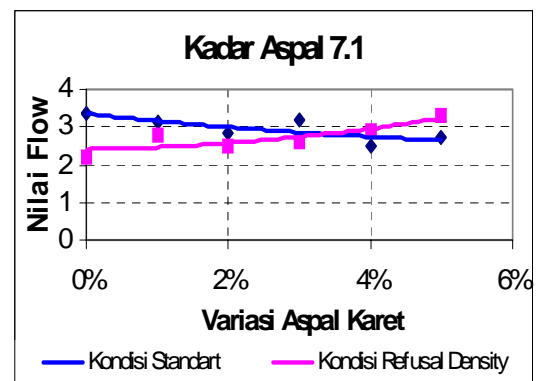
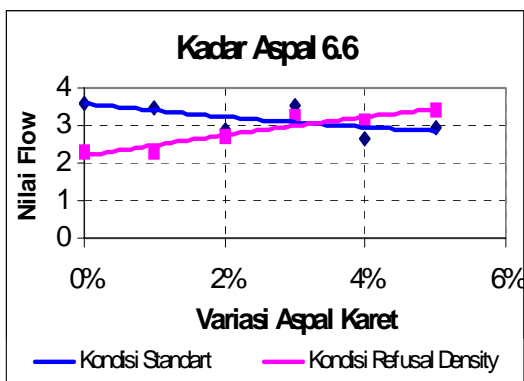
Variasi Kadar Aspal	Syarat (%)	Prosentase Nilai Stabilitas			
		Variasi Kadar Aspal (%)			
		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	-	-0,21	10,71	1,01	8,23
Aspal + 1% karet	-	1,43	7,30	-12,86	-7,44
Aspal + 2% karet	-	-0,43	14,97	15,18	1,56
Aspal + 3% karet	-	35,70	37,51	23,13	19,57
Aspal + 4% karet	-	15,06	18,98	3,08	-5,36
Aspal + 5% karet	-	0,76	-4,63	5,31	11,77



Gambar 4.14. Grafik Prosentase Nilai Stabilitas

Tabel 4.32. Pengaruh Variasi Kadar Aspal terhadap Nilai *Flow* Campuran HRS-WC Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi *Refusal Density* (2 x 400) Tumbukan

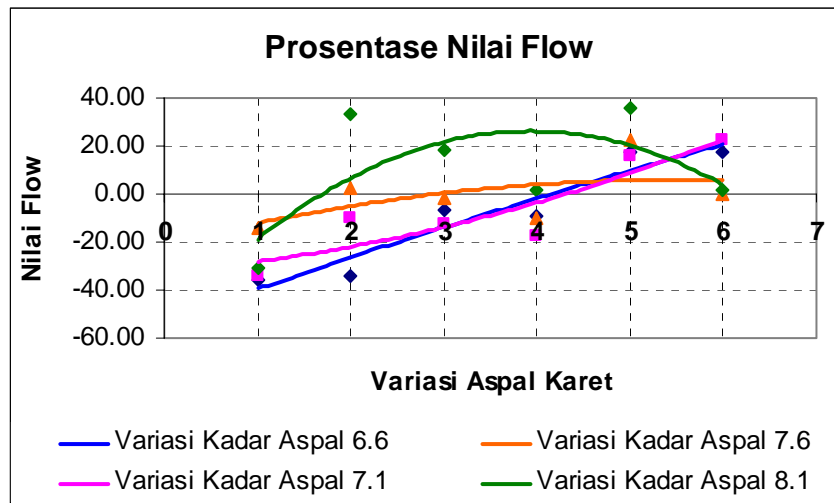
Variasi Kadar Aspal	Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>Flow</i> Campuran HRS-WC									
	Syarat (mm)	(2 x 75) tumbukan				Syarat (mm)	(2 x 400) tumbukan			
		6,6	7,1	7,6	8,1		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	≥ 2	3,57	3,39	2,76	3,46	-	2,28	2,23	2,36	2,38
Aspal + 1% karet	≥ 2	3,50	3,13	3,21	3,38	-	2,29	2,81	3,28	4,50
Aspal + 2% karet	≥ 2	2,90	2,84	2,90	2,91	-	2,71	2,49	2,86	3,45
Aspal + 3% karet	≥ 2	3,55	3,19	3,60	3,15	-	3,23	2,63	3,23	3,19
Aspal + 4% karet	≥ 2	2,64	2,51	2,82	2,75	-	3,11	2,90	3,46	3,74
Aspal + 5% karet	≥ 2	2,93	2,70	3,33	3,48	-	3,44	3,31	3,33	3,55



Gambar 4.15. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs *Flow* Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi *Refusal Density* (2 x 400) Tumbukan

Tabel 4.33. Prosentase Nilai *Flow* Pada Campuran HRS - WC

Variasi Kadar Aspal	Syarat (%)	Prosentase Nilai <i>Flow</i>			
		Variasi Kadar Aspal (%)			
		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	-	-36,13	-34,22	-14,49	-31,21
Aspal + 1% karet	-	-34,57	-10,22	2,18	33,14
Aspal + 2% karet	-	-6,55	-12,32	-1,38	18,56
Aspal + 3% karet	-	-9,01	-17,55	-10,28	1,27
Aspal + 4% karet	-	17,80	15,54	22,70	36,00
Aspal + 5% karet	-	17,41	22,59	0,00	2,01

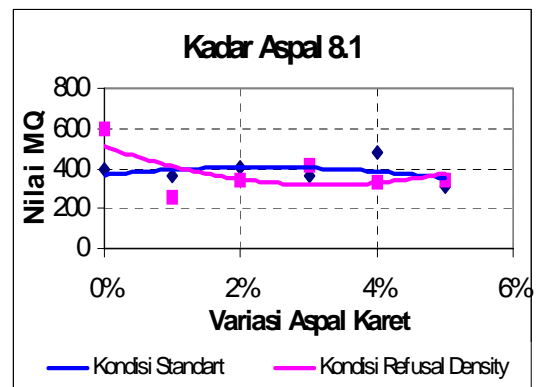
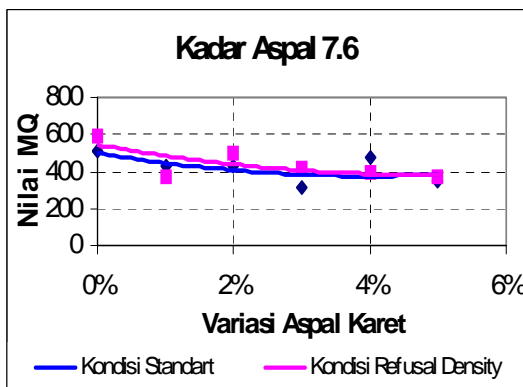
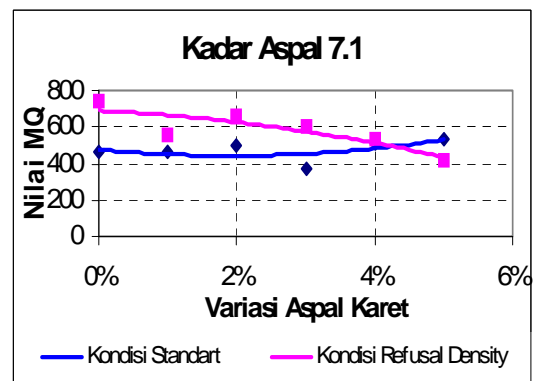
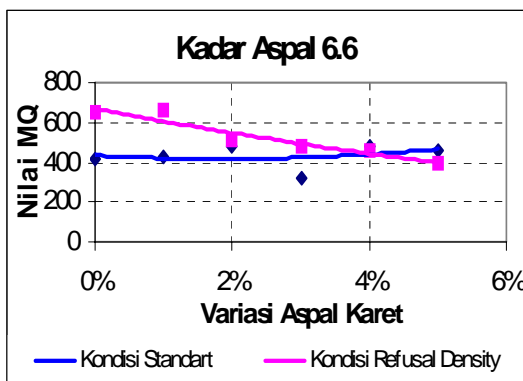


Gambar 4.16.

Grafik Prosentase Nilai *Flow*

Tabel 4.34. Pengaruh Variasi Kadar Aspal terhadap Nilai MQ Campuran HRS-WC Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi Refusal Density (2 x 400) Tumbukan

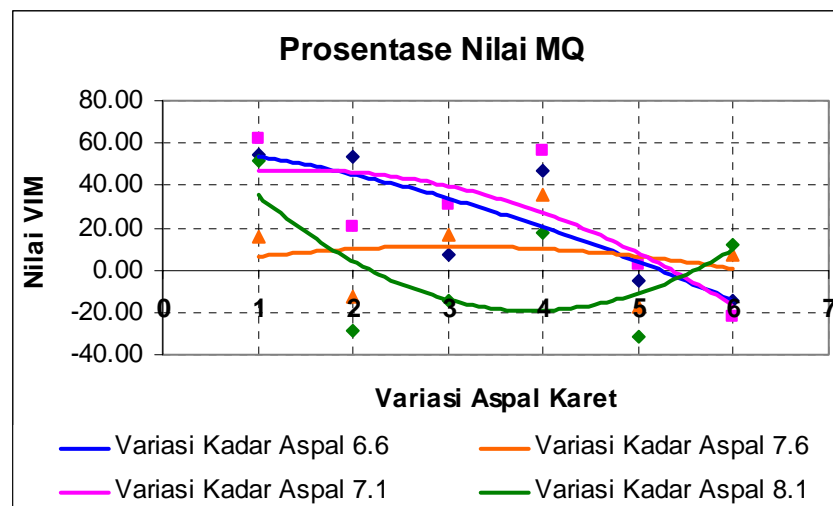
Variasi Kadar Aspal	Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai MQ Campuran HRS-WC									
	Syarat (kg/mm)	(2 x 75) tumbukan				Syarat (kg/mm)	(2 x 400) tumbukan			
		6,6	7,1	7,6	8,1		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	≥ 200	418,42	459,47	511,32	390,43	-	645,57	744,05	591,40	592,55
Aspal + 1% karet	≥ 200	430,85	460,53	430,18	361,45	-	661,61	552,94	375,06	257,60
Aspal + 2% karet	≥ 200	480,67	503,24	424,36	404,66	-	515,78	660,43	495,13	344,75
Aspal + 3% karet	≥ 200	323,33	366,62	307,37	358,91	-	475,80	605,76	417,10	421,18
Aspal + 4% karet	≥ 200	483,22	512,44	477,37	479,89	-	459,96	527,60	393,28	327,88
Aspal + 5% karet	≥ 200	463,68	532,62	343,64	308,08	-	394,38	414,46	367,08	344,55



Gambar 4.17. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal vs MQ Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi *Refusal Density* (2 x 400) Tumbukan

Tabel 4.35. Prosentase Nilai MQ Pada Campuran HRS - WC

Variasi Kadar Aspal	Syarat (%)	Prosentase Nilai MQ			
		Variasi Kadar Aspal (%)			
		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	-	54,29	61,94	15,66	51,77
Aspal + 1% karet	-	53,56	20,07	-12,81	-28,73
Aspal + 2% karet	-	7,30	31,24	16,68	-14,81
Aspal + 3% karet	-	47,16	56,23	35,70	17,35
Aspal + 4% karet	-	-4,81	2,96	-17,62	-31,68
Aspal + 5% karet	-	-14,95	-22,10	6,82	11,84



Gambar 4.18. Grafik Prosentase Nilai MQ

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa stabilitas *Marshall* mengalami kenaikan akibat penambahan pemadatan, dari (2 x 75) tumbukan menjadi (2 x 400) tumbukan pada semua variasi kadar karet pada aspal. Pada Gambar 4.14, juga memperlihatkan kenaikan stabilitas dan mencapai nilai tertinggi pada saat campuran aspal berkadar aspal 7.1 dengan penambahan karet 3%. Campuran tersebut mempunyai rongga udara paling minimum sehingga ini juga dapat menunjukkan bahwa campuran aspal karet ini pada posisi paling stabil.

Gambar 4.16 menunjukkan kelelahan plastis (*flow*) sebagian mengalami peningkatan dan sebagian mengalami penurunan akibat penambahan pemadatan dari (2 x 75) tumbukan menjadi (2 x 400) tumbukan pada semua variasi kadar karet pada aspal. Pada saat dilakukan penambahan pemadatan (2 x 400) tumbukan masih mempunyai nilai kelelahan plastis masih diatas 2 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa campuran tidak mudah retak akibat penambahan pemadatan yang terjadi karena repetisi beban lalu lintas.

Turunnya nilai kelelahan plastis seiring dengan bertambahnya kadar karet pada aspal maka campuran sebagian mempunyai sifat mengunci (*interlocking*) yang tinggi. Agregat dalam aspal tidak mudah bergeser dari kedudukannya pada saat perkerasan dibebani lalu lintas. Sedangkan pada campuran aspal padat yang nilainya mengalami peningkatan maka butiran agregatnya akan semakin mudah bergeser dari kedudukannya, akan mempunyai nilai kelelahan plastis yang semakin besar, hal tersebut berarti bahwa sifat mengunci antar agregat rendah hingga agregat mudah bergeser sewaktu dibebani lalu lintas. Dengan adanya campuran yang

mempunyai sifat *interlocking* ini maka campuran tersebut tidak akan mudah mengalami deformasi vertikal. Penambahan jumlah pemadatan akan mengubah campuran aspal semakin rapat sehingga deformasi vertikal atau kelelahan plastis mengecil.

Gambar 4.18 menunjukkan *Marshall Quotient* mengalami penurunan akibat penambahan karet pada campuran aspal. Hasil pengujian ini, akibat pemadatan dari (2 x 75) tumbukan menjadi (2 x 400) tumbukan pada semua variasi kadar karet pada aspal mengalami penurunan. Penurunan nilai MQ menunjukkan campuran cenderung menjadi lembek dan tidak getas bila campuran aspal mengalami peningkatan jumlah pemadatan. Campuran aspal yang lembek dan tidak getas menyebabkan kemampuan untuk menyesuaikan diri akibat lendutan beban atau fleksibilitas meningkat.

- c. *Hubungan Stabilitas Marshall Sisa (IRS) dengan Variasi Kadar Karet pada Aspal padat pada Kondisi Standart (2 x 75) tumbukan dan Kondisi refusal density (2 x 400) tumbukan*

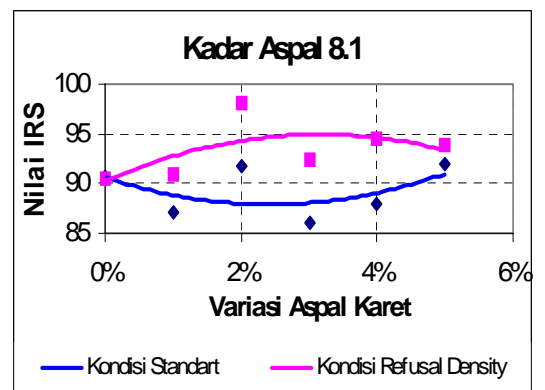
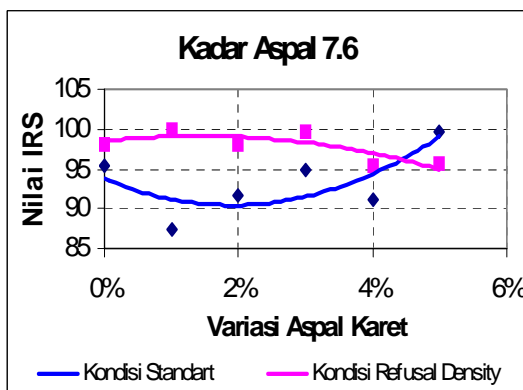
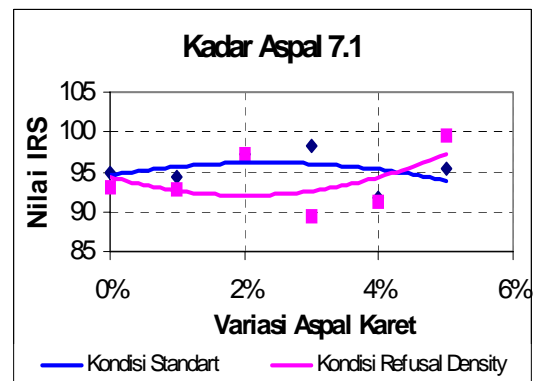
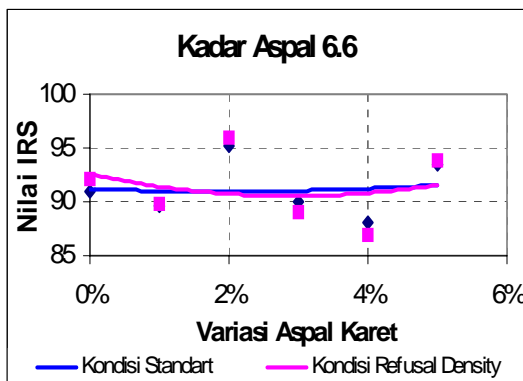
Peningkatan jumlah pemadatan akan mempengaruhi volume rongga udara yang ada di dalam campuran aspal padat. Semakin besar jumlah pemadatan maka akan diperoleh volume rongga udara dalam campuran (VIM) semakin kecil, maka pengaruh air akan semakin kecil pula hingga stabilitas perkerasan campuran aspal tidak banyak berubah.

Pengaruh penambahan jumlah pemadatan (2 x 75) tumbukan menjadi (2 x 400) tumbukan terhadap nilai stabilitas *Marshall* sisa (IRS) dengan variasi kadar karet dalam aspal dapat dilihat pada Tabel 4.36 dan Tabel 4.37 serta Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 yang

menggambarkan pengaruh variasi kadar karet dalam aspal terhadap stabilitas *Marshall* sisa.

Tabel 4.36. Pengaruh Variasi Kadar Aspal terhadap Nilai IRS Campuran HRS-WC Pada Kondisi Standard (2 x 75) Tumbukan dan Pada Kondisi Refusal Density (2 x 400) Tumbukan

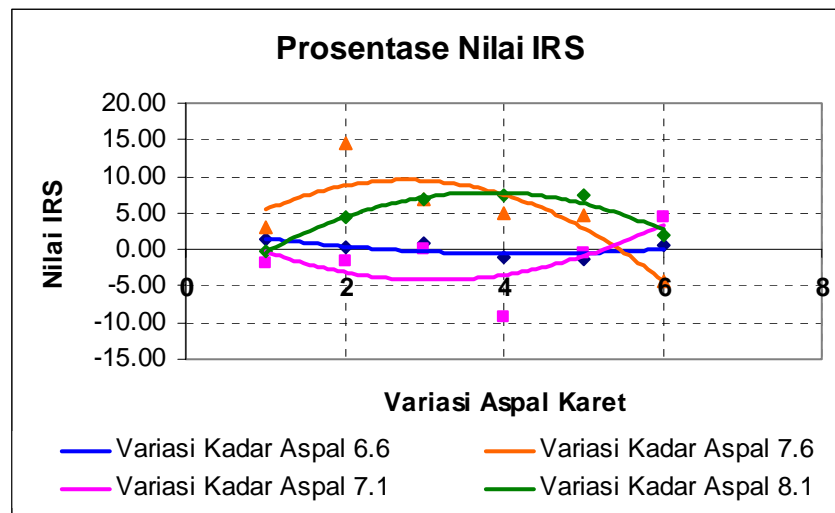
Variasi Kadar Aspal	Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai IRS Campuran HRS-WC									
	Syarat (mm)	(2 x 75) tumbukan				Syarat (mm)	(2 x 400) tumbukan			
		6,6	7,1	7,6	8,1		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	80%	90,9	94,8	95,3	90,7	-	92,1	93,0	98,1	90,5
Aspal + 1% karet	80%	89,6	94,3	87,4	87,2	-	89,8	92,9	100,0	91,0
Aspal + 2% karet	80%	95,1	97,1	91,7	91,8	-	96,0	97,2	98,1	98,0
Aspal + 3% karet	80%	90,0	98,3	94,9	86,1	-	89,0	89,3	99,7	92,5
Aspal + 4% karet	80%	88,0	91,7	91,2	87,9	-	86,9	91,3	95,4	94,5
Aspal + 5% karet	80%	93,4	95,3	99,8	91,9	-	93,9	99,5	95,6	93,8



**Gambar 4.19. Grafik Hubungan Variasi Kadar Aspal
vs IRS Pada Kondisi Standard (2 x 75)
Tumbukan dan Pada Kondisi *Refusal Density* (2 x 400) Tumbukan**

Tabel 4.37. Prosentase Nilai IRS Pada Campuran HRS - WC

Variasi Kadar Aspal	Syarat (%)	Prosentase Nilai IRS			
		Variasi Kadar Aspal (%)			
		6,6	7,1	7,6	8,1
Aspal + 0% karet	-	1,32	-1,90	2,94	-0,22
Aspal + 1% karet	-	0,22	-1,48	14,42	4,36
Aspal + 2% karet	-	0,95	0,10	6,98	6,75
Aspal + 3% karet	-	-1,11	-9,16	5,06	7,43
Aspal + 4% karet	-	-1,25	-0,44	4,61	7,51
Aspal + 5% karet	-	0,54	4,41	-4,21	2,07



Gambar 4.20.

Grafik Prosentase Nilai IRS

Gambar 4.12 menunjukkan Stabilitas *Marshall* Sisa (IRS) mengalami penurunan akibat penambahan jumlah pemadatan (2 x 75) tumbukan menjadi (2 x 400) tumbukan pada semua variasi kadar karet dalam aspal.

Dari pengujian diatas menunjukkan bahwa penambahan karet padat bahan vulkanisir pada campuran aspal mengakibatkan perubahan pada karakteristik dari campuran HRS–WC tersebut. Untuk rekapitulasi hasil analisa *Marshall* Tahap II ini didapatkan 4 (empat) kadar aspal yang masih memenuhi persyaratan, 4 (empat) kadar aspal itu adalah sebagai berikut ;

Tabel 4.38. Rekapitulasi Hasil analisa *Marshall* Tahap II

Data Penelitian Kadar Aspal 6.6 dengan variasi karet 2%			
No	Karakteristik	Nilai	
		(2 x 75)	(2 x 400)
1	<i>Density</i>	2.27	2.34
2	VMA	18.50	15.95
3	VIM	5.47	2.50
4	VFA	70.56	84.31
5	Stabilitas	1389.00	1383.00
6	<i>Flow</i>	2.90	2.71
7	MQ	480.67	515.78
8	IRS	95.10	96.00

Data Penelitian Kadar Aspal 7.1 dengan variasi karet 0%			
No	Karakteristik	Nilai	
		(2 x 75)	(2 x 400)
1	<i>Density</i>	2.28	2.34
2	VMA	18.52	16.23
3	VIM	4.94	2.27
4	VFA	73.38	86.02
5	Stabilitas	1484.00	1643.00
6	<i>Flow</i>	3.39	2.23
7	MQ	459.47	744.05
8	IRS	94.80	93.00

Data Penelitian Kadar Aspal 7.1 dengan variasi karet 2%			
No	Karakteristik	Nilai	
		(2 x 75)	(2 x 400)
1	<i>Density</i>	2.28	2.33
2	VMA	18.35	16.75
3	VIM	4.09	2.21
4	VFA	77.74	86.79
5	Stabilitas	1403.00	1613.00
6	<i>Flow</i>	2.84	2.49
7	MQ	503.24	660.43
8	IRS	97.10	97.20

Data Penelitian Kadar Aspal 7.6 dengan variasi karet 0%			
No	Karakteristik	Nilai	
		(2 x 75)	(2 x 400)
1	Density	2.29	2.33
2	VMA	18.53	17.18
3	VIM	3.79	2.19
4	VFA	79.61	87.24
5	Stabilitas	1384.00	1398.00
6	Flow	2.76	2.36
7	MQ	511.32	591.40
8	IRS	95.30	98.10

Dari 4 (empat) variasi kadar aspal dengan beberapa variasi kadar karet padat bahan vulkanisir didalamnya dapat dilihat bahwa 2 (dua) diantaranya merupakan campuran yang menggunakan aspal murni (karet padat bahan vulkanisir 0%), yaitu pada variasi kadar aspal 7.1% dengan variasi karet padat bahan vulkanisir 0% serta pada kadar aspal 7,6% dengan variasi karet padat bahan vulkanisir 0%. Sedangkan yang lainnya merupakan hasil variasi kadar aspal dengan karet padat bahan vulkanisir, yaitu kadar aspal 6,6% dengan variasi karet padat bahan vulkanisir 2% dan kadar aspal 7,1% dengan variasi karet padat bahan vulkanisir 2%. Disini dapat kita perhatikan secara teliti tentang perubahan karakteristik campuran aspal. Perubahan/perbandingan karakteristik campuran pada awal dan pada kondisi membal akan dijabarkan sebagai berikut ;

Untuk variasi karet padat bahan vulkanisir 0% pada campuran aspal dengan kadar aspal 7,1% dan kadar aspal 7,6% dapat tarik suatu kesimpulan bahwa campuran ini merupakan campuran yang kuat namun stabilitas serta elastisitas campuran kurang dan campuran ini tidak dapat dipakai untuk daerah-daerah yang sering digenangi oleh air, atau daerah banjir. Hal ini dapat dilihat dari perubahan yang signifikan antara nilai tumbukan (2 x 75) dengan nilai tumbukan (2 x 400).

Sedangkan untuk variasi kadar aspal 6,6 dengan penambahan karet padat bahan vulkanisir sebesar 2% serta untuk variasi kadar aspal 7,1 dengan penambahan karet padat bahan vulkanisir sebesar 2% dapat ditarik garis bawah, bahwa campuran HRS-WC dengan prosentase penambahan karet padat bahan vulkanisir memberikan nilai tambahan, terutama pada kekuatan campuran serta sifat elastisitas campuran yang semakin baik. Dapat dilihat pada point karakteristik *flow* dan IRS, di Tabel 4.38 dapat dilihat bahwa perubahan nilai dari kondisi awal dengan kondisi membal tidak begitu jauh perubahannya.

B A B V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengaruh variasi kadar aspal dengan variasi campuran karet padat bahan vulkanisir maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ;

1. Dari hasil pengujian awal didapatkan kadar aspal optimum (Pb) sebesar 7,0 %. Pengujian ini dilakukan secara empiris.
2. Sebelum dilakukan penelitian lebih lanjut, dilakukan pula penelitian terhadap sifat aspal dengan variasi kadar karet didalamnya (0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%). Penelitian ini hanya terbatas pada penelitian pada nilai penetrasi, titik lembek dan juga berat jenisnya. Untuk perubahan sifat fisik aspal dapat dilihat (Tabel 4.19) bahwa semakin bertambahnya karet padat bahan vulkanisir didalamnya maka penetrasi aspal akan semakin meningkat, nilai minimal (72.4 mm) ada pada kadar karet 0%, nilai maksimal (79.5 mm) ada pada penambahan karet 5%, sedangkan untuk titik lembeknya berlawanan dengan nilai penetrasi, pada kadar karet 0% didapat nilai maksimal titik lembek (48 °C) dan pada kadar karet 5% didapat titik lembek (45.75 °C). Untuk berat jenis aspal dihasilkan bahwa semakin bertambahnya kadar karet pada aspal maka nilainya akan semakin menurun. Hal diatas dapat diartikan bahwa semakin campuran aspal ditambahkan karet padat bahan vulkanisir didalamnya maka campuran akan semakin lembek serta keelastisannya meningkat. Aspal menjadi lebih peka terhadap temperatur udara dilingkungan sekitarnya.

3. Setelah Pb didapat dilakukan pengujian penentuan nilai KAO. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi kadar aspal, yaitu 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0 pada kondisi (2 x 75) tumbukan. Setelah didapatkan seluruh parameter *Marshall*, yang memenuhi persyaratan terletak pada rentang kadar aspal 6.6% - 7.5%. Didalam penelitian ini besar KAO didapatkan dari nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan tersebut ditambah 0.1 sehingga didapatkan nilai KAO sebesar 7.1.%.

Berdasarkan pada data hasil pengujian tahap I, Tabel 4.4, pengujian variasi kadar aspal dengan 0% karet ini dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar aspal dalam suatu campuran HRS-WC maka campuran tersebut akan semakin padat, rongga-rongga udara serta rongga mineral semakin kecil sehingga campuran lebih mampu menahan beban lalu lintas. Kemudian dari segi stabilitas, campuran dengan kadar aspal 7.0% akan mempunyai stabilitas yang paling tinggi (1613 Kg), setelah stabilitas mencapai batas tertinggi maka pada pengujian kadar aspal yang lebih tinggi lagi, kadar aspal 7.5% dan 8.0% didapatkan stabilitas yang berangsur-angsur turun. Tapi itu lain halnya dengan keulehannya, semakin kadar aspalnya bertambah, maka campuran akan bersifat elastis. Nilai maksimum keelastisannya pada kadar aspal 8.0% dengan nilai 4,18 mm.

4. Untuk pengujian berikutnya, pengujian dilakukan pada beberapa variasi kadar aspal (6.6, 7.1, 7.6 dan 8.1) dengan variasi kadar karet padat bahan vulkanisir didalamnya (0%, 2%, 3%, 4% dan 5%) pada kondisi (2 x 75) tumbukan serta pada kondisi membal (2 x 400) tumbukan serta pengujian perendaman standar (24 jam).

Pada pengujian ini dapat dilihat serta diperbandingkan mengenai perubahan karakteristik aspal, dapat dilihat bahwa pada kadar aspal

tertentu perubahan dari awal umur rencana dengan maksimal umur rencana sangat signifikan. Tabel 4.22 serta Tabel 4.23 dan Gambar 4.5 serta Gambar 4.6 menunjukkan pada saat kadar aspal padat 6,6 serta diberi campuran karet padat bahan vulkanisir dengan prosentase karet 3% pada campuran maka penambahan jumlah pemadatan akan menaikkan prosentase nilai kerapatan sampai pada nilai yang optimum/maksimum (4.42 gr/cc). Hal ini disebabkan fraksi – fraksi agregat kasar maupun agregat halus yang ada dalam campuran masih mencukupi untuk mengadakan perimbangan akibat bertambahnya kadar karet pada aspal guna saling mengisi rongga – rongga diantara butiran agregat yang ada, seperti terlihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.10, dimana prosentase penurunan nilai VMA dan VIM akan semakin membesar sampai mencapai nilai optimum ketika aspal padat kadar 6,6 diberi campuran karet dengan prosentase 3%.

Hasil pengujian stabilitas *Marshall* mengalami kenaikan akibat penambahan pemadatan, dari (2 x 75) tumbukan menjadi (2 x 400) tumbukan pada semua variasi kadar karet pada aspal. Pada Gambar 4.14, memperlihatkan kenaikan stabilitas dan mencapai nilai tertinggi pada saat campuran aspal berkadar aspal 7.1 dengan penambahan karet 3%. Campuran tersebut mempunyai rongga udara paling minimum sehingga ini juga dapat menunjukkan bahwa campuran aspal karet ini pada posisi paling stabil.

Pada pengujian kelelahan plastis (*flow*) sebagian mengalami peningkatan dan sebagian mengalami penurunan akibat penambahan pemadatan dari (2 x 75) tumbukan menjadi (2 x 400) tumbukan pada semua variasi kadar karet pada aspal. Pada saat dilakukan penambahan pemadatan (2 x 400) tumbukan masih mempunyai nilai kelelahan plastis masih diatas 2 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa campuran

tidak mudah retak akibat penambahan pemadatan yang terjadi karena repetisi beban lalu lintas.

Turunnya nilai kelelahan plastis seiring dengan bertambahnya kadar karet pada aspal maka campuran sebagian mempunyai sifat mengunci (*interlocking*) yang tinggi. Agregat dalam aspal tidak mudah bergeser dari kedudukannya pada saat perkerasan dibebani lalu lintas. Sedangkan Penambahan jumlah pemadatan akan mengubah campuran aspal semakin rapat sehingga deformasi vertikal atau kelelahan plastis mengecil.

Untuk nilai pengujian *Marshall Quotient* mengalami penurunan akibat penambahan karet pada campuran aspal. Hasil pengujian ini, akibat pemadatan dari (2 x 75) tumbukan menjadi (2 x 400) tumbukan pada semua variasi kadar karet pada aspal mengalami penurunan. Penurunan nilai MQ menunjukkan campuran cenderung menjadi lembek dan tidak getas bila campuran aspal mengalami peningkatan jumlah pemadatan. Campuran aspal yang lembek dan tidak getas menyebabkan kemampuan untuk menyesuaikan diri akibat lendutan beban atau fleksibilitas meningkat. dan untuk hasil pengujian IRS pada kondisi *refusal density* lebih rendah dari pada kondisi standard, hal ini disebabkan karena energi pemadatan yang lebih tinggi mengakibatkan rongga dalam campuran kecil, stabilitas tinggi, selanjutnya akan meningkatkan kekakuan campuran yang pada akhirnya nilai *flow* naik, baik pada kondisi standard maupun pada *refusal density*. Nilai IRS adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (*durabilitas*) campuran. Semakin kecil nilai IRS, maka campuran tersebut bersifat porous sehingga air mudah masuk kedalam campuran, yang selanjutnya ikatan aspal dan agregat akan berkurang.

5. Dari pengujian-pengujian tersebut diatas menunjukkan bahwa penambahan karet padat bahan vulkanisir pada campuran aspal mengakibatkan perubahan pada karakteristik dari campuran HRS–WC tersebut. Untuk rekapitulasi hasil analisa *Marshall* ini didapatkan 4 (empat) kadar aspal yang masih memenuhi persyaratan. Dari 4 (empat) variasi kadar aspal dengan beberapa variasi kadar karet padat bahan vulkanisir didalamnya dapat dilihat bahwa 2 (dua) diantaranya merupakan campuran yang menggunakan aspal murni (karet padat bahan vulkanisir 0%), yaitu pada variasi kadar aspal 7.1% dengan variasi karet padat bahan vulkanisir 0% serta pada kadar aspal 7,6% dengan variasi karet padat bahan vulkanisir 0%. Sedangkan yang lainnya merupakan hasil variasi kadar aspal dengan karet padat bahan vulkanisir, yaitu kadar aspal 6,6% dengan variasi karet padat bahan vulkanisir 2% dan kadar aspal 7,1% dengan variasi karet padat bahan vulkanisir 2%. Disini dapat kita perhatikan secara teliti tentang perubahan karakteristik campuran aspal. Perubahan/perbandingan karakteristik campuran pada awal dan pada kondisi membal akan dijabarkan sebagai berikut ;

Untuk variasi karet padat bahan vulkanisir 0% pada campuran aspal dengan kadar aspal 7,1% dan kadar aspal 7,6% dapat tarik suatu kesimpulan bahwa campuran ini merupakan campuran yang kuat namun stabilitas serta elastisitas campuran kurang dan campuran ini tidak dapat dipakai untuk daerah-daerah yang sering digenangi oleh air, atau daerah banjir. Hal ini dapat dilihat dari perubahan yang signifikan antara nilai tumbukan (2 x 75) dengan nilai tumbukan (2 x 400).

Sedangkan untuk variasi kadar aspal 6,6 dengan penambahan karet padat bahan vulkanisir sebesar 2% serta untuk variasi kadar aspal 7,1 dengan penambahan karet padat bahan vulkanisir sebesar 2% dapat ditarik garis bawah, bahwa campuran HRS-WC dengan prosentase penambahan karet padat bahan vulkanisir memberikan nilai tambahan, terutama pada kekuatan campuran serta sifat elastisitas campuran yang semakin baik.

5.2. SARAN

Dari hasil pengujian bahan agregat serta aspal, analisis rongga dan pengujian *Marshall* serta pengujian variasi kadar aspal dan pengujian perendaman standard, memerlukan beberapa saran untuk ditindak lanjuti sebagai berikut ;

Disebabkan spesifikasi untuk laston HRS-WC yang memerlukan gradasi senjang untuk mendapatkan sifat kelenturan yang tinggi, HRS-WC membutuhkan kadar aspal yang tinggi untuk mendapatkan nilai VMA dan VIM sesuai spesifikasi, baik pada kondisi standard maupun kondisi *refusal density*. Dari hasil pengujian ini untuk mendapatkan kadar aspal optimum digunakan nilai tengah dari kadar aspal yang memenuhi persyaratan ditambah 0.1, hasilnya tidak memuaskan, dikarenakan nilai KAO yang didapatkan ternyata menghasilkan nilai VMA pada kondisi *refusal density* dan nilai VIM pada kondisi standard serta kondisi *refusal density* tidak memenuhi persyaratan, ini disebabkan masih tingginya kadar aspal optimum (7,1%), untuk disarankan dipakai nilai terkecil dari kadar aspal yang memenuhi persyaratan (7%), supaya mendapatkan nilai VMA dan VIM yang memadai. Dikarenakan pada pengujian ini ada penambahan karet padat bahan vulkanisir pada campuran. Sedangkan untuk gradasi HRS-WCnya disarankan agar menggunakan target gradasi diatas target gradasi yang telah digunakan pada penelitian ini.

Untuk para peneliti lanjutan yang tertarik untuk meneliti bahan karet ini disarankan untuk melakukan penelitian mengenai pengaruh campuran karet aspal ini terhadap variasi lamanya perendaman serta pengaruh campuran aspal karet terhadap penggunaan agregat kasar yang butirannya lebih kecil namun relatif bulat, tidak campuran seperti pada penelitian kali ini.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, (1993), *Guide For Design of Pavement Structure*, Washington DC.
- ASTM, 1980, *Annual Book of ASTM Standars*, parts 15 Road Paving.
- Agung Hari Prabowo, (2004), “ *Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (ROB) Terhadap kinerja Lataston (HRS – WC) Berdasarkan Uji Marshall dan Uji Durabilitas Modifikasi* “, Juni 2004.
- Bagus Priyatno, (2001), *Metode Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (RPD) Berdasarkan Spesifikasi yang disempurnakan, Dalam Penataran Dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI*, Oktober 2001.
- British Standard Institution, (1992), BS 594 Part 1 & 2, Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas, London.
- Balai Bahan Dan Perkerasan Jalan Pusat Penelitian Dan Pengembangan Prasarana Transportasi, (2001), *Laporan Penelitian “ Penggunaan Bahan Buangan (Waste Materials) Untuk Konstruksi Prasarana Jalan “*, Desember 2001.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1987), *Petunjuk Perencanaan Tebal perkerasan Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, SKBI-2.326.UDC.625.73(02)*, Biro Penerbit PU.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1994), *Penelitian ”Peningkatan Kualitas Campuran Beraspal Menggunakan Karet Padat Pembuat Ban Untuk Lapis Permeabel “*, Maret 1994.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, (2001), *Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas*.
- Gerard Aponno, *Majalah Bestek Volume 8, Nomor 10 April 2000 – ISSN 0854-4395*.
- Iriansyah, AS, (1992), *Percobaan Lapangan Campuran Aspal Karet (parutan Ban Bekas) Di jalan Percobaan Skala Penuh Cileunyi (Seksi 50 – 55)*.

Imam Darmawan, (2003), “ *Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Sebagai Filler Pada Campuran HRS-WC* “, September 2003.

Sukirman S, 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.

Suprpto, T.M, 2004, *Bahan Dan Struktur Jalan Raya*, Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Brown SF dan Brunton, 1984, *An Intoduction to the Analytical Design of Bituminous Pavement*, 2th Edition, University of Nottingham, England.

Shell Bitumen, 1990, *Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen, England.

Kerbs, R.D dan Walker, R.D, 1971, *Highway Materials*, McGraw-Hill Book Cpmpany, New York, USA.