

625.1
mar
E 21



**EVALUASI KINERJA CAMPURAN *HOT ROLLED ASPHALT*
(*HRA*) DENGAN MENGGUNAKAN *FILLER* ABU SISA
PENGGERGAJIAN KAYU**

TESIS

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil

Oleh

DEDDY MARTEANO

NIM : L4A. 001. 027

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2003

EVALUASI KINERJA CAMPURAN *HOT ROLLED ASPHALT* (HRA) DENGAN MENGGUNAKAN *FILLER ABU SISA* PENGGERGAJIAN KAYU

Disusun Oleh

DEDDY MARTEANO

NIM : L4A. 001. 027

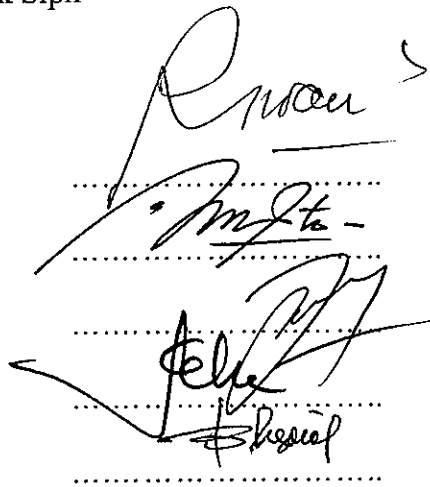
Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :

18 September 2003

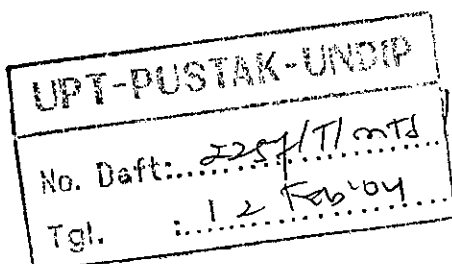
Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji

1. Ketua : Ir. Roeswan Soediro, MS.
2. Sekretaris : Ir. Djoko Purwanto, MS.
3. Anggota 1 : Ir. Muhrozi, MS.
4. Anggota 2 : Drs. Bagus Priyatno, ST, MT.
5. Anggota 3 : Bagus Hario Setiadji, ST, MT.



Semarang, Oktober 2003



Universitas Diponegoro
Program Pascasarjana
Magister Teknik Sipil



Ketua,

Dr. Suripin, M. Eng.

ABSTRAKSI

EVALUASI KINERJA CAMPURAN *HOT ROLLED ASPHALT* (HRA) DENGAN MENGGUNAKAN *FILLER* ABU SISA PENGGERGAJIAN KAYU.

Ada dua metode pencampuran aspal panas (*Hotmix*) yang pernah diterapkan dalam perkerasan jalan di Indonesia yaitu metode dari AAHSTO (Amerika) yang menggunakan sistem *Asphalt Concrete* (AC) dan metode dari *British Standard* (Inggris) yang menggunakan sistem *Hot Rolled Asphalt* (HRA). Namun seiring dengan waktu, kedua metode tersebut ketika diterapkan di Indonesia menemui permasalahan-permasalahan tersendiri. Retak (*cracking*) dan getas (*brittle*) sering dialami oleh perkerasan yang menggunakan sistem *Asphalt Concrete* (AC) sedangkan perkerasan yang menggunakan sistem HRA pasti mengalami *bleeding*.

Sistem perkerasan HRA juga sering disebut sebagai perkerasan dengan gradasi senjang (*gap gradation*) yang mengandalkan kekuatan pada kelekatan agregat halus. *Filler* merupakan salah satu komponen agregat halus yang penting. Material *filler* bisa berasal dari semen, batu pecah (abu batu), olahan (*slag*) dan lain-lain. Namun jenis *filler* yang disebutkan mempunyai nilai ekonomis yang tinggi dan jumlahnya kian terbatas. Untuk itu perlu dilakukan inovasi-inovasi dan penelitian untuk menggantikan *filler* tersebut dengan *filler* yang memiliki nilai ekonomis murah dan jumlahnya di lapangan masih banyak dengan memanfaatkan bahan limbah seperti serbuk gergaji atau yang disebut dengan 'grajen'.

Pada penelitian ini diteliti mengenai *filler* dengan bahan yang diharapkan bisa menggantikan peran abu batu sebagai bahan *filler* dengan menggunakan metode HRA yang agregat halusnya lebih dominan dibanding AC. Dasar pemilihan *filler* abu grajen adalah karena nilai ekonomisnya murah/hemat juga jumlahnya cukup banyak dikarenakan abu grajen adalah limbah dari industri penggergajian kayu dan meubel. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengkaji dan mengevaluasi perilaku campuran HRA dengan *filler* abu grajen dan membandingkannya dengan campuran yang menggunakan *filler* standar (abu batu). Dalam penelitian ini komposisi masing-masing *filler* yang digunakan dalam campuran adalah : 100% abu batu, 50% abu batu-50% abu grajen dan 100% abu grajen.

HRA, berasal dari Inggris, sering disebut dengan campuran aspal bergradasi senjang, karena HRA mengandalkan kekuatan dari ikatan bahan pengikat agregat halus dan *filler*, tidak seperti AC yang mengandalkan saling kunci antar agregat kasar. Dalam BS. 594, 1992. dinyatakan bahwa dalam spesifikasi untuk campuran HRA pada *roadbase*, *basecourse* dan *wearing course* biasanya mengandung 60% agregat kasar dan untuk kekuatannya didistribusikan oleh kombinasi dari kelekatan agregat dan mortar. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metoda Marshall yang didukung dengan standar uji dari BS dan SNI. Pengujian meliputi beberapa parameter Marshall yaitu : stabilitas, kelelahan, *Marshall Quotient*, VMA, VIM dan VFA.

Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa bertambahnya kandungan abu grajen dalam campuran akan menambah kadar aspal yaitu 6,65% pada campuran *filler* 100% abu batu, 6,85% pada campuran 50%-50% dan 6,9% pada campuran 100% abu grajen. Stabilitas dan kelelahan terbaik masih ditunjukkan oleh campuran dengan *filler* 100% abu batu yaitu masing-masing sebesar 1150 kg dan 4,97 mm, sedangkan campuran dengan *filler* 100% abu grajen hanya mempunyai stabilitas dan *flow* sebesar 1013 kg dan 4,7 mm. Kemudian jika menggunakan kadar aspal optimum yang sama pada tiap campuran yaitu sama dengan kadar aspal optimum campuran dengan 100% abu batu (6,65%), maka nilai-nilai struktural pada masing-masing campuran juga berbeda, terutama untuk nilai-nilai stabilitas dan kelelahan yaitu : dengan *filler* 100% abu batu sebesar 1150 kg dan 4,97 mm, dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen sebesar 1200 kg dan 2,8 mm serta dengan *filler* 100% abu grajen sebesar 1100 kg dan 2,6 mm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran aspal dengan *filler* 100% abu grajen memang mempunyai nilai karakteristik campuran yang paling buruk, sedangkan campuran aspal menggunakan *filler* abu batu dan abu grajen dengan kadar masing-masing 50%-50% bisa memberikan nilai karakteristik mendekati campuran aspal dengan *filler* 100% abu batu, meskipun dengan kadar aspal lebih tinggi.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pada kadar aspal optimum untuk semua campuran aspal sama dengan kadar aspal optimum 100% abu batu yaitu sebesar 6,65%, maka untuk campuran aspal yang menggunakan *filler* abu grajen baik sebagian (50%) maupun keseluruhan (100%), karakteristiknya masih lebih baik yang menggunakan *filler* 100% abu batu.

Campuran yang menggunakan *filler* 100% abu grajen sebaiknya tidak digunakan untuk lalu lintas yang berat karena dikhawatirkan akan terjadi *bleeding*, sedangkan untuk campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen perlu diteliti lebih lanjut komposisinya, karena nilai-nilai struktural yang didapatkan hampir menyamai campuran standar (*filler* 100% abu batu). Perlu pengujian lebih lanjut, terutama uji durabilitas dan permeabilitas.

ABSTRACT

THE PERFORMANCE EVALUATION OF HOT ROLLED ASPHALT MIXED WITH SAWDUST ASH AS A FILLER

There are two methods of mixing hot asphalt (Hotmix) applied in Indonesia; those are AAHSTO (American Method) using Asphalt Concrete (AC) system and British Standard (British Method) using Hot Rolled Asphalt (HRA) system. As the time goes, some problems appear when both methods are implemented in Indonesia. The problems of Asphalt Concrete System are cracking and brittle while HRA system bleeding are often happened.

HRA asphaltting system is also often called as gap gradation asphaltting which relies on the strength and adhesiveness of fine aggregate. Filler is one of the important fine aggregate components. The materials of filler can be cement, refined stone (ash of stone), slag etc. However, this kind of filler has higher economical value and is very limited in quantity. Therefore, it needs to have innovations and research to replace the filler with the one which has highly economical value and can be found easily by taking use of such recycled materials as sawdust.

This research discusses filler material which can possibly replace the function of refined stone (ash of stone) as the main material of filler by using HRA method, in which fine aggregate is more dominant than in AC. The reason of selecting refined-wood ash filler is that it has low economical value and its availability is abundant. It is a waste material of wood sewing or furniture industries. The research is aimed to study and evaluate the performance of mixture of HRA and sawdust filler and compare to the mixture with standard filler (stone ash). In this research, the composition of each filler used in the mixture are 100% of stone dust, 50% of stone dust – 50% of sawdust, and 100% of sawdust.

HRA, that is originated from England is often called as asphalt mixture with gap gradation. As it relies on the strength of fine aggregate and filler, unlike AC which relies on the tightening among the hard aggregates. In BS. 594, 1992, it is mentioned that in specification for mixture of HRA to road base, base course and wearing course usually contains 60% of hard aggregate, and the strength is distributed by the combination of aggregate and mortar adhesiveness. The research uses Marshall Method supported by test standard of BS and SNI. The tests include some Marshall's parameters; stability, flow, Marshall Quotient, VMA, VIM, and VFA. The result of Marshall's test indicated that the higher content of sawdust in the mixture, the higher asphalt content that is 6.65% for the filler mixture of 100% stone dust, 6.85% for the mixture of 50% and 6.9% for the mixture of 100% sawdust. The best stability and flow are still achieved by the mixture with 100% stone dust filler; these are 1150 kg and 4.97 mm, respectively while mixture with 100% sawdust filler the values are 1013 kg for stability and 4.7 mm for flow. Then, when using the same optimum content of asphalt to each mixture, that is, the same as the optimum content of asphalt in mixture with 100% stone dust (6.65%), the structural value of each mixture is also various, especially the stability and flow values; by filler of 100% stone dust are 1150 kg and 4.97 mm, by filler of 100% sawdust are 1100 kg and 2.6 mm.

The result of the research indicated that the mixture of asphalt and filler of 100% sawdust really has the worst mixing characteristics value, while the mixture of asphalt and filler of stone dust and sawdust with the content of each 50% - 50% can give characteristics value approaching to the mixture of asphalt and 100% stone dust filler, even though it has more content of asphalt.

The result of the research also indicated that in the optimum content of asphalt to all mixtures of asphalt is the same as the optimum asphalt content of 100% stone dust as much as 6.65%, so to the mixture of asphalt by using sawdust filler either part of it (50%) or the whole (100%), the characteristics with the one using 100% stone dust filler is still better.

The mixture using 100% sawdust filler is not recommended for heavy traffic, because it may be bleeding will be experienced, while the mixture using filler of 50% stone dust – 50% sawdust have to be further studied to find the best composition, since its structural values obtained nearly approaches the standard mixture (filler of 100% stone dust). Further test have to be concerned and especially its durability and permeability.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-NYA yang begitu besar, maka penulis bisa menyelesaikan pembuatan laporan tesis dengan judul 'Evaluasi Kinerja Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan Menggunakan *Filler* Abu Sisa Penggergajian Kayu' ini dengan baik.

Penulis juga menerima kritik dan saran yang konstruktif dari pembaca, karena penulis juga sadar bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak terutama para dosen pembimbing kami, yaitu Ir. Roeswan Soediro, MS dan Ir. Djoko Purwanto, MS. Bimbingan, masukan, kritik dan saran yang diberikan sangat berguna dalam pembuatan proposal tesis ini. Terima kasih pula penulis ucapkan kepada :

1. Dr. Ir. Suripin, M.Eng., selaku Ketua Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
2. Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA., selaku Sekretaris Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
3. Drs. Bagus Priyatno, ST, MT., Ir. Muhrozi, MS., dan Bagus Hario Setiadji, ST, MT., selaku dosen penguji dan pembahas.
4. Ir. Epf. Eko Yulipriyono, MS. sebagai kepala Laboratorium Transportasi Universitas Diponegoro beserta stafnya.
5. Para staf dan dosen Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro
6. Keluarga dan teman-teman yang telah memberikan support dan bantuan.
7. Semua pihak yang terlibat, baik langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata, semoga proposal ini bisa bermanfaat kepada semua pembacanya dan kepada semua pihak yang telah membantu pembuatan proposal ini baik yang terlibat langsung maupun tidak langsung, penulis berdoa semoga segala bantuan dan kebaikannya diberikan pahala yang setimpal oleh Tuhan YME. Terima Kasih.

Semarang, September 2003

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstraksi	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Lampiran	xii
Daftar Lambang dan Singkatan	xv
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan	2
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Umum	6
2.2. Pengertian <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> /Aspal dengan Gradasi Senjang	7
2.3. Spesifikasi Campuran Penyusun <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	8
2.4. Karakteristik Material Penyusun <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	10
2.4.1. Agregat	10
2.4.2. Aspal	13
2.4.3. Penelitian yang Pernah Dilakukan	14
2.5. Dasar Perhitungan	17
2.5.1. Berat Jenis Bulk Agregat	17
2.5.2. Berat Jenis Efektif Agregat	17
2.5.3. Berat Jenis Campuran	18
2.5.4. Penyerapan Aspal	18
2.5.5. Kadar Aspal Efektif	18
2.5.6. Rongga diantara Mineral Agregat (VMA).....	19

2.5.7. Rongga Dalam Campuran (VIM)	20
2.5.8. Rongga Terisi Aspal (VFA)	20
2.5.9. <i>Marshall Quotient</i> (MQ)	20
BAB III : METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1. Umum	22
3.2. Metode dan Perencanaan Penelitian	22
3.2.1. Bahan Penelitian	23
3.2.2. Persyaratan Bahan Penelitian	24
3.3. Cara/Tahapan Penelitian	30
3.3.1. Kerangka Tahapan Penelitian	30
3.3.2. Uraian Tahapan Penelitian	31
3.4. Pemeriksaan dan Pengujian	33
3.4.1. Pemeriksaan Agregat	33
3.4.2. Pengujian Aspal	34
3.4.3. Pengujian Campuran dengan Metode Marshall	35
3.4.4. Perkiraan Jumlah Sampel yang Diperlukan	36
3.5. Hipotesa	37
BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Hasil-hasil Pengujian	39
4.1.1. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Aspal	39
4.1.2. Hasil Pengujian Agregat	40
4.2. Hasil-hasil Penelitian	41
4.2.1. Hasil Pengujian Marshall	41
4.2.2. Kadar Aspal Optimum	48
4.2.3. Pengujian Marshall pada Kondisi Aspal Optimum	53
4.3. Pembahasan	56
4.3.1. Kadar Aspal Optimum	56
4.3.2. Kepadatan/Density	56
4.3.3. Stabilitas	57
4.3.4. Kelelehan/ <i>Flow</i>	58
4.3.5. <i>Marshall Quotient</i>	59
4.3.6. Rongga diantara Mineral Agregat (<i>Void in Mineral Aggregate/VMA</i>)	60

4.3.7. Rongga dalam Campuran (<i>Void in the Mix/VIM</i>)	60
4.3.8. Rongga Terisi Aspal (<i>Void Filled with Asphalt/VFA</i>)	61
4.3.9. Uji Rendaman Marshall/ <i>Marshall Immersion Test</i>	62
4.3.10. Pembahasan Umum	63
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1. Kesimpulan	66
5.2. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	73

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
3.1.	Batasan Gradasi Agregat Untuk Campuran HRA Tipe C	25
3.2.	Diagram Alir Tahapan Penelitian	31
4.1.	Hubungan <i>Density</i> Pada Masing-masing Komposisi <i>Filler</i> dengan Kadar Aspal Rencana	44
4.2.	Hubungan Stabilitas Sisa Pada Masing-masing Komposisi <i>Filler</i> dengan Kadar Aspal Rencana	45
4.3.	Hubungan Stabilitas Pada Masing-masing Komposisi <i>Filler</i> dengan Kadar Aspal Rencana	45
4.4.	Hubungan Kelelehan/ <i>Flow</i> Pada Masing-masing Komposisi <i>Filler</i> dengan Kadar Aspal Rencana	46
4.5.	Hubungan <i>Marshall Quotient</i> Pada Masing-masing Komposisi <i>Filler</i> dengan Kadar Aspal Rencana	46
4.6.	Hubungan VMA Pada Masing-masing Komposisi <i>Filler</i> dengan Kadar Aspal Rencana	47
4.7.	Hubungan VIM Pada Masing-masing Komposisi <i>Filler</i> dengan Kadar Aspal Rencana	47
4.8.	Hubungan VFA Pada Masing-masing Komposisi <i>Filler</i> dengan Kadar Aspal Rencana	48
4.9.	Hubungan Antara Macam-macam Karakteristik Campuran HRA dengan <i>Filler</i> 100% Abu Batu dan Kadar Aspal Rencana	49
4.10.	Penentuan Kadar Aspal Optimum Pada Campuran HRA dengan <i>Filler</i> 100% Abu Batu	50
4.11.	Hubungan Antara Macam-macam Karakteristik Campuran HRA dengan <i>Filler</i> 50% Abu Batu-50% Abu Grajen dan Kadar Aspal Rencana	50
4.12.	Penentuan Kadar Aspal Optimum Pada Campuran HRA dengan <i>Filler</i> 50% Abu Batu-50% Abu Grajen	51
4.13.	Hubungan Antara Macam-macam Karakteristik Campuran HRA dengan <i>Filler</i> 100% Abu Grajen dan Kadar Aspal Rencana	51

4.14. Penentuan Kadar Aspal Optimum Pada Campuran HRA dengan <i>Filler</i> 100% Abu Grajen	52
4.15. Hubungan Komposisi <i>Filler</i> Terhadap Campuran dan Kadar Aspal Optimum	52
4.16. Karakteristik Campuran dan Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum untuk Kepadatan dan Stabilitas Sisa	54
4.17. Karakteristik Campuran dan Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum untuk Stabilitas dan Kelelahan/ <i>Flow</i>	54
4.18. Karakteristik Campuran dan Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum untuk <i>Marshall Quotient</i> dan VMA	55
4.19. Karakteristik Campuran dan Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum untuk VIM dan VFA	55

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
2.1.	Kriteria Stabilitas dari Rancangan Campuran Aspal di Laboratorium	9
2.2.	Komposisi dari Campuran Perkerasan Permukaan Tipe C	9
3.1.	Batasan Gradasi Agregat untuk Campuran <i>HRA</i> Tipe C	24
3.2.	Rencana Gradasi Campuran dengan <i>Filler</i> 100% Abu Batu	25
3.3.	Rencana Gradasi Campuran dengan <i>Filler</i> 50% Abu Batu-50% Abu Grajen	26
3.4.	Rencana Gradasi Campuran dengan <i>Filler</i> 100% Abu Grajen	26
3.5.	Sifat-sifat dan Kriteria Aspal Menurut <i>British Standard</i>	27
3.6.	Sifat-sifat dan Kriteria Aspal Menurut SNI	27
3.7.	Sifat-sifat dan Kriteria Agregat	28
3.8.	Ketentuan Sifat-sifat Campuran	29
3.9.	Jumlah Sampel yang Diperlukan	37
4.1.	Rekapitulasi Hasil-hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Aspal	39
4.2.	Rekapitulasi Pengujian Sifat-sifat Fisik Agregat	40
4.3.	Hasil Pengujian Marshall Campuran dengan <i>Filler</i> 100% Abu Batu	43
4.4.	Hasil Pengujian Marshall Campuran dengan <i>Filler</i> 50% Abu Batu-50% Abu Grajen	43
4.5.	Hasil Pengujian Marshall Campuran dengan <i>Filler</i> 100% Abu Grajen	44
4.6.	Hasil Pengujian Marshall Campuran <i>HRA</i> dengan Masing-masing Komposisi <i>Filler</i> Pada Kondisi Aspal Optimum 6,65%	53
4.7.	Hasil Pengujian Marshall Campuran <i>HRA</i> dengan <i>Filler</i> 100% Abu Batu; 50% Abu Batu-50% Abu Grajen dan 100% Abu Grajen Pada Kondisi Aspal Optimum.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
A. HASIL PEMERIKSAAN SIFAT-SIFAT ASPAL		
1.	Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Aspal Pen. 60/70	73
2.	Pemeriksaan Penetrasi Aspal	74
3.	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	75
4.	Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	76
5.	Pemeriksaan Daktilitas	77
6.	Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	78
7.	Pemeriksaan Kelarutan dalam CH ₂ Cl ₃	79
8.	Pemeriksaan Kehilangan Berat Aspal	80
B. HASIL PEMERIKSAAN SIFAT-SIFAT AGREGAT		
1.	Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Agregat	81
2.	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	82
3.	Pemeriksaan Abrasi dengan Mesin Los Angeles	83
4.	Pemeriksaan Indeks Kepipihan dan Kelonjongan	84
5.	Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	85
6.	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	86
7.	Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	86
8.	Pemeriksaan Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i>	87
C. HASIL-HASIL PERHITUNGAN MARSHALL PADA KADAR ASPAL RENCANA		
1.	Hasil Perhitungan Marshall Untuk <i>Filler</i> 100% Abu Batu (Dry)	88
2.	Hasil Perhitungan Marshall Untuk <i>Filler</i> 50% Abu Batu-50% Abu Grajen (Dry)	89
3.	Hasil Perhitungan Marshall Untuk <i>Filler</i> 100% Abu Grajen (Dry)	90
4.	Hasil Perhitungan Marshall Untuk <i>Filler</i> 100% Abu Batu (Wet)	91
5.	Hasil Perhitungan Marshall Untuk <i>Filler</i> 50% Abu Batu-50% Abu Grajen (Wet)	92
6.	Hasil Perhitungan Marshall Untuk <i>Filler</i> 100% Abu Grajen(Wet)	93

D.	GRAFIK HUBUNGAN KARAKTERISTIK MARSHALL DENGAN KADAR ASPAL RENCANA	
1.	Grafik Hubungan Karakteristik Marshall dengan Kadar Aspal Rencana pada Campuran dengan <i>Filler</i> 100% Abu Batu	94
2.	Grafik Hubungan Karakteristik Marshall dengan Kadar Aspal Rencana pada Campuran dengan <i>Filler</i> 50% Abu Batu-50% Abu Grajen	95
3.	Grafik Hubungan Karakteristik Marshall dengan Kadar Aspal Rencana pada Campuran dengan <i>Filler</i> 100% Abu Grajen	96
E.	PENENTUAN KADAR ASPAL OPTIMUM	
1.	Kadar Aspal Optimum pada Campuran dengan <i>Filler</i> 100% Abu Batu	97
2.	Kadar Aspal Optimum pada Campuran dengan <i>Filler</i> 50% Abu Batu-50% Abu Grajen	98
3.	Kadar Aspal Optimum pada Campuran dengan <i>Filler</i> 100% Abu Grajen ...	99
F.	HASIL PERHITUNGAN MARSHALL PADA KONDISI ASPAL OPTIMUM	
1.	Hasil Perhitungan Marshall Untuk <i>Filler</i> 100% Abu Batu Pada Kondisi Aspal Optimum.....	100
2.	Hasil Perhitungan Marshall Untuk <i>Filler</i> 50% Abu Batu-50% Abu Batu Pada Kondisi Aspal Optimum	101
3.	Hasil Perhitungan Marshall Untuk <i>Filler</i> 100% Abu Grajen Pada Kondisi Aspal Optimum.....	102
G.	KALIBRASI DAN KOREKSI	
1.	Kalibrasi Alat Marshall	103
2.	Koreksi Volume Benda Uji	104
3.	Surat Keterangan Kalibrasi	105
H.	GAMBAR/FOTO PELAKSANAAN PENELITIAN	
1.	Pengujian Daktilitas Aspal	107
2.	Pemeriksaan Saringan (<i>Sieve Analysis</i>)	107
3.	Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat	108
4.	Pemeriksaan Indeks Kelonjongan Agregat	108
5.	Proses Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	109
6.	Proses Pembuatan Campuran Aspal (Penimbangan Campuran)	109

7. Proses Pembuatan Campuran Aspal (Proses Menggoreng/Mencampur)	110
8. Proses Pembuatan Campuran Aspal (Menyiapkan Cetakan Briket)	110
9. Proses Pembuatan Campuran Aspal (Proses Penumbukan Briket)	111

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AC	<i>Asphalt Concrete</i>
ASTM	<i>American Society for Testing Material</i>
BM	Bina Marga
BS	<i>British Standard</i>
CQCMU	<i>Central Quality Control and Monitoring Unit</i>
G_b	Berat jenis aspal
G_{mm}	Berat jenis maksimum teoritis
G_{sa}	Berat jenis semu dari agregat
G_{sb}	Berat jenis bulk dari agregat
G_{se}	Berat jenis efektif dari agregat
HRA	<i>Hot Rolled Asphalt</i>
HRS	<i>Hot Rolled Sheet</i>
HRSS	<i>Hot Rolled Sand Sheet</i>
IRS	<i>Index of Retained Strength</i>
kN	Kilo Newton
Kg	Kilogram
Laston	Lapis Aspal Beton
Latasir	Lapis Tipis Aspal Pasir
Lataston	Lapis Tipis Aspal Beton
MF	<i>Marshall Flow</i>
Mm	Milimeter
MQ	<i>Marshall Quotient</i>
MS	<i>Marshall Stability</i> /Stabilitas Marshall
MSI	Stabilitas Marshall setelah direndam selama 24 jam, suhu 60oC
MSS	Stabilitas Marshall standar
P_1, P_2, \dots, P_n	Persen berat dari agregat 1, 2, ..., n
P_b	Kadar aspal dari total campuran
PC	<i>Portland Cement</i>

P_{mm}	Persen berat dari total campuran = 100%
P_s	Persentase agregat dari total berat campuran
Puslitbang	Pusat Penelitian dan Pengembangan
SNI	Standar Nasional Indonesia
SSD	<i>Saturated Surface Dry</i>
VFA	<i>Void Filled with Asphalt</i>
VIM	<i>Void in the Mix</i>
VMA	<i>Void in Mineral Agregate</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Perkembangan dan pertumbuhan penduduk di Indonesia dewasa ini sudah sedemikian pesatnya. Hal tersebut mengakibatkan pesatnya juga pembangunan di segala bidang. Termasuk salah satu di dalamnya adalah bidang transportasi, terutama angkutan jalan. Indikasinya adalah semakin bertambah banyaknya kendaraan bermotor yang melintas di jalan raya, baik kendaraan ringan maupun kendaraan berat.

Jalan sebagai salah satu sarana atau komponen lalu lintas memang disediakan untuk kepentingan dilalui oleh kendaraan. Jalan dituntut agar selalu dalam kondisi yang baik sehingga lalu lintas yang melintas di atasnya dapat merasa aman dan nyaman. Namun seiring dengan semakin pesatnya pertumbuhan kendaraan yang melintas di atas jalan tersebut, maka kerusakan yang diderita jalan raya cenderung prematur, dalam artian jalan mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana, bahkan ada yang mengalami kerusakan tidak lama setelah jalan tersebut dibuka.

Berbagai metoda pernah dicoba diterapkan pada perencanaan perkerasan jalan di beberapa tempat di Indonesia. Ada dua metoda yang sering diterapkan di Indonesia, yaitu :

a. *Aspal Beton (AC/Asphalt Concrete)*

Mengacu pada metoda Amerika dengan buku yang dijadikan acuan adalah AASHTO.

b. *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Mengacu pada metode yang diterapkan di Inggris dengan buku yang dijadikan acuan adalah *British Standard (BS)*.

Walaupun kedua metode tersebut mempunyai beberapa perbedaan yang cukup signifikan, namun dalam penerapan di Indonesia juga masih memiliki berbagai kendala. Perbedaan campuran aspal tersebut adalah terletak pada gradasi dan komposisi aspal yang digunakan. Selain itu pemilihan dari kedua metoda tersebut seringkali terbentur pada masalah pendanaan. Masalah pendanaan dalam artian untuk pengadaan material-material penyusun campuran aspal tersebut, karena sebagian besar bahan dari penyusun aspal tersebut merupakan hasil alam yang jumlahnya semakin lama semakin menipis. Maka sesuai hukum ekonomi bahwa barang yang semakin sedikit jumlahnya maka akan semakin mahal

harganya. Untuk itu inovasi-inovasi dalam mencari bahan-bahan pengganti terus dilakukan dalam upaya mendapatkan bahan-bahan pengganti yang lebih ekonomis.

Dalam penelitian ini, metoda campuran aspal yang digunakan adalah metoda *Hot Rolled Asphalt (HRA)*, dengan maksud bahwa *HRA* juga terkadang digunakan pada lapis perkerasan permukaan jalan pada beberapa ruas jalan di perkotaan. Selain itu, yang terpenting adalah kunci kekuatan campuran perkerasan *HRA* terletak pada agregat halusnya (sering disebut sebagai mortar). Penggunaan *HRA* di Indonesia berawal dari beberapa kerusakan yang dialami metode *Asphalt Cement (AC)* yang menggunakan *AASHTO* (di Indonesia lebih banyak digunakan, bahkan juga diadaptasi dalam metode yang digunakan Bina Marga, diantaranya metode analisa komponen). Kerusakan yang sering terjadi tersebut diantaranya *Cracking* (retak) dan *Brittle* (getas). Karena hal tersebut, maka dicoba beberapa metode lain yang memiliki kelenturan yang lebih tinggi. Metode tersebut termasuk metode yang diadaptasi dari Inggris yang disebut *Hot Rolled Asphalt (HRA)*. *HRA* dikenal mempunyai kelenturan yang tinggi (karena bergradasi senjang, kadar aspal lebih tinggi) dan karena kelenturannya yang tinggi tersebut, maka jika kendaraan yang melintas di atasnya akan terasa nyaman. Campuran aspal *HRA* juga mengandung kadar agregat kasar, halus dan *filler* seperti campuran aspal yang lainnya, namun dengan spesifikasi yang berbeda. Seperti telah diulas di atas, bahwa bahan-bahan agregat yang digunakan sebagai standar spesifikasi campuran aspal *HRA* juga perlu dicari inovasi-inovasi alternatif. Penelitian yang dilakukan adalah penggunaan abu sisa penggergajian kayu sebagai *filler*, mengingat materi penyusun utama dari *HRA* adalah sebagian besar terdiri atas agregat halus dan *filler*. Pemilihan bahan tersebut karena harganya lebih murah dari bahan *filler* yang lain seperti semen, kapur dan abu batu. Selain abu sisa penggergajian kayu ini adalah limbah dari tempat-tempat penggergajian kayu, juga material ini lolos dari saringan no. 200, sebagai syarat utama material *filler*. Sisa penggergajian kayu dihasilkan dari tempat-tempat penggergajian kayu, perusahaan meubel dan juga pengrajin kusen dan jendela yang terdapat di berbagai tempat, karena sebagian besar dari mereka hanya membuang bahan tersebut sebagai limbah yang dianggap sudah tidak memiliki kegunaan lagi.

1.2. MAKSUD DAN TUJUAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan maksud untuk mengetahui/mendapatkan beberapa hal berikut ini :

- a. Untuk mengetahui kinerja atau kemampuan suatu bahan material penyusun perkerasan jalan, dalam hal ini terutama *filler* yang menggunakan abu sisa penggergajian kayu/grajen dengan cara membandingkan bahan tersebut terhadap material lainnya yang digunakan sebagai standar atau pembanding.
- b. Memberikan gambaran mengenai sejauh mana kinerja dan karakteristik bahan abu sisa penggergajian kayu/grajen yang digunakan sebagai bahan alternatif untuk bahan *filler* pada campuran perkerasan jalan.

Sedangkan tujuan dari penelitian yang telah dilakukan ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

- a. Mengkaji dan mengevaluasi perilaku campuran *HRA* dengan *filler* abu sisa penggergajian kayu dan seberapa besar pengaruhnya pada sifat atau karakteristik campuran *HRA*.
- b. Membandingkan campuran agregat *HRA* standar dengan campuran agregat *HRA* yang sudah dimodifikasi dengan penggantian *filler* yang memakai abu sisa penggergajian kayu dan juga dengan campuran material standar dan material modifikasi dengan kadar masing-masing 50%.

1.3. MANFAAT PENELITIAN

Dari penelitian yang sudah dilaksanakan, tentunya dihasilkan beberapa manfaat. Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian yang dilakukan juga dapat dituliskan sebagai berikut :

- a. Dapat memberikan alternatif-alternatif lain dalam hal pemilihan dari suatu material yang tentunya diharapkan dapat menjadi lebih murah dan efisien pada suatu susunan campuran aspal panas (*Hotmix*), terutama campuran *HRA*.
- b. Dapat mengetahui sampai sejauh mana kemampuan suatu material perkerasan, terutama kejelekan dan kebaikan suatu bahan/material, dalam hal ini terutama material *filler* dari suatu campuran aspal panas (*Hotmix*), khususnya dengan menggunakan metode *HRA*.
- c. Dapat mengetahui kinerja dari suatu metode, terutama metode *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan berbagai macam syarat-syarat dan standar-standar pengujiannya.

1.4. BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah atau ruang lingkup penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Metoda yang digunakan sesuai dengan *British Standard (BS)*. 594 tahun 1992 part I dan II. Yaitu untuk campuran tipe C (*coarse*).
- b. Standar pengujian yang digunakan adalah standar dari *British Standard (BS)* di tambah dengan standar dari Bina Marga (BM).
- c. Penelitian yang dilakukan adalah terutama mengenai karakteristik campuran HRA dengan *filler* standar (abu batu), *filler* abu sisa penggergajian kayu dan *filler* gabungan antara *filler* standar dan abu sisa penggergajian kayu.
- d. Agregat kasar (termasuk batuan dan *filler* standard) yang digunakan adalah batu dari Kali Kuto, Batang.
- e. Abu sisa penggergajian kayu yang digunakan adalah sisa penggergajian kayu yang telah dibakar terlebih dahulu.
- f. Rencana kadar *filler* yang dibandingkan yaitu :
 - 100 % dari kadar *filler* menggunakan abu batu
 - 100% dari kadar *filler* menggunakan abu sisa penggergajian kayu
 - Kadar *filler* mengandung 50% abu batu + 50% abu sisa penggergajian kayu.
- g. Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70 ex PT. Pertamina, karena merupakan jenis aspal yang paling umum digunakan.
- h. Uji yang dilakukan adalah *Marshall Test* dan uji *Marshall Immersion Test*.
- i. Sifat-sifat kimia dari bahan material penyusun campuran HRA pada penelitian ini tidak ditinjau dan diuji.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

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

- a. Bab I : Pendahuluan

Merupakan awal dari penyusunan tesis, dalam bab ini pembaca disiapkan ke arah judul tesis. Bab ini berisi permasalahan yang hendak dibahas, termasuk latar belakang, tujuan, kegunaan serta waktu penelitian.

b. Bab II : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi mengenai teori-teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan dari penelitian, serta syarat-syarat untuk melaksanakan penelitian. Dalam bab ini hasil 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 berisi uraian tentang data dan metode yang akan digunakan dalam penelitian maupun penyelidikan serta hipotesa yang diajukan dan ingin diuji.

d. Bab IV : Analisa Data Dan Pembahasan

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

e. Bab V : Kesimpulan Dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan-kesimpulan terutama setelah dilakukan analisa dan pembahasan. Kesimpulan dinyatakan secara khusus dan menjawab semua permasalahan yang diteliti atau diamati. Kesimpulan merupakan rangkuman hasil-hasil yang berasal dari bab pembahasan secara rinci. Kemudian dalam bab ini juga berisi mengenai saran atau rekomendasi yang didasarkan pada hasil penelitian dan penilaian menurut pendapat serta pemikiran peneliti.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. UMUM

Dasar dari penggunaan campuran aspal panas (*Hotmix*) adalah kemudahan dalam pencampuran (*mixing*) yang tepat, pelapisan (*coverage*) agregat dengan sempurna dan juga pemadatan (*compacting*) yang tepat tetapi tanpa terjadi over heating. Jika terjadi over heating, maka akan merubah susunan kimia aspal dan dapat menurunkan nilai daktilitas dan kohesivitas aspal tersebut (Krebs, R.D. & Walker, R.D., 1971). Untuk pemakaian pada lapis perkerasan, campuran aspal panas dibuat dengan berdasarkan perhitungan proporsi yang tepat antara agregat halus, agregat kasar dan pasir yang kemudian dipanaskan dan dicampur dengan aspal, lalu dibawa ke proyek suatu jalan dan dikerjakan ketika kondisi campuran aspal tersebut masih panas.

Pembuatan perkerasan yang menggunakan aspal panas mempunyai beberapa metode, diantaranya adalah metode *HRA* yang dikenal juga dengan campuran aspal dengan gradasi senjang dengan menggunakan panduan *British Standard* yang berasal dari Inggris. Metode ini menggunakan agregat halus yang lebih menentukan dari pada agregat kasarnya. Akibatnya campuran *HRA* ini menjadi sangat lentur dan nyaman untuk dilewati oleh kendaraan, sedangkan pada sisi lain kelemahan dari campuran aspal ini adalah kurang fleksibel terhadap suhu tinggi (sering terjadi *bleeding*).

Pencampuran aspal (bitumen) dengan agregat, sebenarnya adalah merupakan suatu tujuan dari prinsip-prinsip ekonomis. Ekonomis maksudnya adalah pengaturan gradasi dan kadar aspal sedemikian hingga menghasilkan suatu campuran yang efisien dan optimum, sehingga pengeluaran biaya dapat ditekan seefisien mungkin. Pencampuran ini juga dibagi-bagi dalam gradasi-gradasi tertentu sehingga memberikan proporsi antara agregat dan kadar aspal tersebut. Pembagian gradasi itulah yang menyebabkan perbedaan pada beberapa metode pencampuran aspal panas (*Hotmix*). Di dalam *HRA*, seperti metode yang lain, gradasi juga dibagi lagi menjadi : agregat kasar, agregat halus dan *filler*, namun juga dengan kadar masing-masing agregat yang berbeda dengan metode yang lain.

2.2. PENGERTIAN *HOT ROLLED ASPHALT (HRA)*/ASPAL DENGAN GRADASI SENJANG

Dalam sejarahnya, *Hot Rolled Asphalt* digunakan pertama kali di Inggris pada tahun 1895, namun perkerasan tersebut mengalami kegagalan hanya dalam kurun waktu 1 bulan saja, hal tersebut diakibatkan kurang diperhatikan pentingnya gradasi agregat halus dan kandungan *filler*. Kemudian kondisi ini disempurnakan oleh Clifford Richardson, salah seorang yang piawai dalam permasalahan *HRA*. Pada tahun 1935 dibuat suatu standar yang utuh yaitu *British Standard (BS). 594*. Kemudian setelah mengalami beberapa kali revisi, maka pada revisi tahun 1985, BS 594 dibagi menjadi 2 bagian/seri (*Shell Bitument, 1990*). Revisi terbaru dibuat pada tahun 1992, dengan bentuk masih sama dengan BS 594 tahun 1985 yaitu terdiri atas dua seri, part 1 dan part 2.

Seperti telah kita ketahui di atas, bahwa *Hot Rolled Asphalt (HRA)* sering juga disebut campuran aspal bergradasi senjang. Disebut demikian karena *HRA* mengandalkan kekuatan dari ikatan antara bahan pengikat, agregat halus dan *filler*, tidak seperti aspal beton yang mengandalkan saling kunci antara agregat kasar. Pada awal pemakaiannya di Indonesia, metode *HRA* (di Indonesia dikenal juga dengan *Hot Rolled Sheet/HRS*) ini mampu mengatasi permasalahan retak pada jaringan, namun demikian timbul masalah baru dengan terjadinya deformasi plastis dengan waktu yang sangat singkat. Adanya gap gradasi disebut-sebut sebagai penyebab timbulnya kerusakan dini tersebut. Menurut Siswosoebrotho, B.I. (1995-dalam Mulyono, A.T, 1996), campuran agregat aspal bergradasi senjang bersifat tahan terhadap keausan, lebih lentur tanpa mengalami *fatigue cracking* serta mempunyai ketahanan terhadap cuaca dan kemudahan dalam pengerjaannya. Namun demikian campuran ini bersifat kurang kaku, kurang tahan terhadap deformasi dan memerlukan bitumen 2.0% lebih banyak dibandingkan campuran agregat aspal bergradasi tertutup seperti AC (*Asphalt Concrete*). Namun metode *HRA* di Indonesia ini juga mengalami perbaikan, dengan diluncurkannya spesifikasi terbaru, yaitu disebut sebagai *Hot Rolled Sand Sheet* dan *Hot Rolled Sheet* (Priyatno, B., 2001). *Hot Rolled Sheet* dibagi lagi menjadi dua kelas, yaitu kelas A didesain sebagai Laston (spesifikasi Bina Marga 12/PT/1983) dan kelas B atau disebut sebagai Laston (spesifikasi Bina Marga 13/PT/1983).

Disebutkan bahwa salah satu karakteristik yang terpenting dari *HRA* adalah gradasi agregatnya yang senjang, agregat tersebut memiliki kandungan agregat ukuran menengah, misal ukuran 2.36 mm s/d 10 mm dengan jumlah yang sangat sedikit, tetapi juga terdiri

atas sejumlah pasir, *filler* berupa mineral yang sangat halus dan aspal yang biasanya disebut mortar, serta agregat kasar biasanya berupa agregat dengan ukuran mencapai 14 mm. Meskipun pencampuran agregat kasar dapat meningkatkan kekakuan campuran, namun peran utama dalam campuran ke dalam mortar adalah supaya pembuatan campuran lebih ekonomis (*Shell Bitumen*, 1990). Dalam BS. 594, 1992, dinyatakan bahwa dalam spesifikasi untuk campuran HRA pada *roadbase*, *basecourse* dan *wearing course* biasanya mengandung 60% agregat kasar dan untuk perkuatan didistribusikan oleh kombinasi dari kelekatan agregat dan mortar.

2.3.SPEKIFIKASI CAMPURAN PENYUSUN *HOT ROLLED ASPHALT (HRA)*

Berdasarkan BS. 594 (1992), pada campuran lapis permukaan (*wearing course*) diberikan dua alternatif metode pencampuran, yaitu pertama berdasarkan resep yang termuat di dalam BS. 594 tersebut dan kedua menggunakan prosedur desain campuran untuk kemudian ditentukan kadar aspal optimum dari campuran tersebut.

Kemudian dari jenis/tipe yang bisa digunakan sebagai lapis perkerasan, BS. 594 membagi menjadi tipe F dan tipe C. Tipe F (*fine*) menggunakan pasir halus sebagai agregat halus, hal tersebut sesuai dengan sifatnya yang merupakan gradasi senjang tradisional HRA lapis permukaan. Sedangkan tipe C (*coarse*) mempunyai karakteristik yang menggunakan gradasi kasar biasanya berhubungan dengan penggunaan batu pecah atau agregat halus yang berasal dari material olahan (*slag*), tetapi bagaimanapun juga pasir alam masih bisa digunakan sebagian ataupun di dalam total keseluruhan.

BS. 594 (1992), juga mencatat mengenai persyaratan untuk agregat halus, yaitu sebagai berikut :

a. Tipe F (*fine*) :

Agregat halus sebaiknya mengandung tidak lebih dari 5% (m/m) dari material yang tertinggal pada saringan 2.36 mm dan material yang lolos dari saringan 0.075 mm tidak melebihi 9% dari berat keseluruhan dari agregat halus.

b. Tipe C (*coarse*) :

Untuk campuran tipe C, agregat halus sebaiknya mengandung tidak lebih dari 10% (m/m) dari material yang tertinggal pada saringan 2.36 mm dan material yang lolos dari saringan 0.075 mm tidak melebihi 19% dari berat keseluruhan dari agregat halus.

Menurut resep dan persyaratan yang dibuat oleh BS 594 (1992) dapat dilihat tabel resep dan persyaratan/kriteria untuk merancang atau mendesain campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* sebagai berikut :

Tabel 2.1. Kriteria Stabilitas Dari Rancangan Campuran Aspal Di Laboratorium

Traffic Flow (Comm.Vec./line/day)	Marshall Properties	
	Stability of complete mix (kN)	Maximum flow (mm)
Less than 1500	3.0 – 8.0	5.0
1500 – 6000	4.0 – 8.0	5.0
over 6000	6.0 – 10.0	5.0 – 7.0
<i>Catatan : Untuk nilai stabilitas sampai dengan 8.0 kN, nilai flow maksimum sebaiknya 5 mm, sedangkan pada saat nilai stabilitas melebihi 8.0 kN, maka penggunaan flow maksimum sampai dengan 7.0 mm diperbolehkan.</i>		

Sumber : British Sandard/BS. 594 part 1 (1992)

Tabel 2.2. Komposisi Dari Campuran Perkerasan Permukaan Tipe C

Designation	30/14
Nominal thickness layer (mm)	40
Percentage (m/m) of total aggregate passing test sieve :	
28.00 mm	–
20.00 mm	100
14.00 mm	85 – 100
10.00 mm	60 – 90
6.30 mm	–
2.36 mm	60 – 72
600.00 µm	25 – 45
212.00 µm	15 – 30
75.00 µm	8 – 12
Minimum target binder content percentage (m/m) of total mixture	6.5

Sumber : British Sandard/BS. 594 part 1 (1992)

2.4.KARAKTERISTIK MATERIAL PENYUSUN *HOT ROLLED ASPHALT (HRA)*

Material utama penyusun suatu campuran aspal panas (*Hotmix*) sebenarnya hanya ada dua macam, yaitu agregat dan aspal. Namun dalam pemakaiannya aspal dan agregat bisa menjadi bermacam-macam, tergantung kepada metode dan kepentingan yang dituju pada penyusunan suatu perkerasan.

2.4.1. Agregat

Agregat adalah suatu komponen yang fundamental dalam campuran suatu perkerasan aspal. Agregat tersebut harus mempunyai sifat-sifat yang pasti dalam hal kemampuan untuk menahan tegangan/beban yang dibebankan kepada permukaan jalan maupun lapisan di bawahnya (Hunter, R.N.,1994).

Dalam penelitian yang akan dilakukan, digunakan *metode Hot Rolled Asphalt (HRA)*, maka komposisi dan gradasi agregat yang dipilih pun disesuaikan dengan metode *HRA* yang termuat dalam *British Standard (BS) 594*. Dalam metode *HRA* tersebut terdapat tiga komponen penting penyusun campuran, yaitu agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

A. Agregat Kasar

Shell Bitumen, 1990 menyatakan bahwa penambahan agregat kasar ke dalam mortar membuat campuran lebih ekonomis dan bisa meningkatkan stabilitas campuran. Menurut *BS 594* tahun 1992 yang termasuk ke dalam agregat kasar adalah agregat yang ukuran terkecilnya melewati/lolos *sieve test* pada ukuran 2.36 mm. Macam batuan yang bisa digunakan sebagai agregat kasar dalam campuran *HRA* adalah :

- a. Pecahan batu, termasuk basalt, granit, batu kapur dan sebagainya.
- b. Batu kerikil atau batuan lainnya yang juga termasuk dalam point a.
- c. Biji batu dari hasil pengolahan tanur tinggi yang berpanduan *BS 1047*, 1983.
- d. Biji besi, dan batuan lainnya yang mempunyai berat jenis antara 1700 kg/m^3 dan 1900 kg/m^3 dan di test menggunakan metode pada *BS 1047*, 1983.

B. Agregat Halus

Merupakan proporsi yang terbesar dari mortar dan kemungkinan adalah komponen terpenting yang mempengaruhi kemampuan/performa material baik ketika pembuatan maupun ketika digunakan atau dilewati kendaraan (*Shell Bitumen*, 1990). Dalam *BS 594*, agregat halus adalah material yang lolos pada saringan

nomor 4 dan tertahan pada saringan nomor 200. Disyaratkan bahwa yang termasuk dalam agregat halus adalah :

- a. Pasir
- b. Agregat halus yang dibuat dengan memecahkan agregat kasar.
- c. Campuran antara poin a dan b.

C. Filler

Menurut fungsinya, *filler* dapat meningkatkan nilai viskositas dari suatu campuran agregat dengan *bitumen* dan juga dapat mengurangi kepekaan terhadap temperatur. Sedangkan fungsi yang lain adalah bahwa sebagian besar *filler* tersebut sebagian besar diserap oleh *bitumen*, sehingga dapat meningkatkan jumlah volumenya. Penentuan *filler* yang paling mudah adalah semua jenis material yang telah melalui sieve test dan material tersebut sebagaimana besar lolos dari saringan nomor 200 (0.075 mm). Namun dalam *Shell Bitumen* (1990) dikatakan, bahwa untuk memperoleh suatu *filler* dapat dilakukan dalam dua cara yaitu :

- a. *Filler* dapat dianggap/dinyatakan sebagai hasil modifikasi gradasi agregat halus dengan demikian dapat membuat campuran yang lebih padat dengan titik kontak antar agregat menjadi lebih banyak.
- b. Cara yang kedua (mungkin cara yang lebih baik) adalah dengan mempertimbangkan bahwa *filler* dan *bitumen* (aspal) bersama-sama membentuk suatu bahan pengikat dimana keduanya melumasi dan menempelkan agregat halus untuk membuat suatu bentuk yang disebut mortar.

Meningkatkan kadar *filler* dalam suatu campuran dapat meningkatkan stabilitas, namun juga menurunkan kadar *air void* (rongga udara) dalam campuran. Terlalu banyak kadar *filler* dalam campuran, maka akan mengakibatkan campuran menjadi cenderung mudah retak (*crack*) dan getas (*brittle*) ketika dilalui lalu lintas. Demikian juga ketika kadar *filler* terlalu sedikit dalam campuran akan menyebabkan campuran menjadi sangat lunak pada saat cuaca panas (Hatherlay, 1967-dalam Yasruddin, 2000).

Suhartono dan Lisminto (1995) menyatakan bahwa penambahan butiran halus (*filler*) pada gradasi HRS (*Hot Rolled Sheet*-diadopsi di Indonesia dari *Hot Rolled Asphalt/HRA*) dapat meningkatkan luas permukaan agregat total sehingga menyebabkan selimut aspal campuran HRS lebih tipis daripada campuran AC (*Asphalt Concrete*), meskipun kadar aspalnya lebih tinggi.

Dalam BS 594 (1992) disebutkan bahwa material *filler* dapat berupa batu kapur dan *Portland Cement* serta mempunyai berat jenis tidak kurang dari 0.5 g/ml dan tidak lebih dari 0.9 kg/ml, juga suatu *filler* mengandung tidak kurang dari (*less than*) 85% dari material yang melewati saringan 0.075 mm. Pada tahap-tahap awal penggunaan *Hot Rolled Asphalt*, *filler* yang bahannya berupa semen paling banyak digunakan, karena semen (*Portland Cement*) adalah salah satu material yang mempunyai gradasi terkontrol. Bahan-bahan lain yang pernah digunakan sebagai penelitian tentang *filler* adalah :

- a. *Fly Ash* : disebut juga sebagai debu batu bara, karena didapatkan dari sisa-sisa batu bara atau berasal dari limbah batu bara.
- b. Abu sekam padi : merupakan sisa atau abu dari pembakaran sekam padi, mengandung kadar silika sekitar 92 % dari berat abu yang merupakan komposisi kimia yang lazim dari mineral yang digunakan sebagai bahan perkerasan jalan.
- c. Lanau sungai : diambil dari sedimen di sungai dan dikeringkan untuk mendapatkan material yang lolos saringan no. 200. Hanya bisa digunakan pada lalu lintas rendah.
- d. Kapur : merupakan agregat standar menurut BS. 594 (594), ideal digunakan untuk campuran pada perkerasan karena mempunyai stabilitas yang tinggi. Mempunyai mutu yang baik terhadap air, karena keberadaan ion kalsium yang terhidrasi memiliki durabilitas yang tinggi dalam kaitannya dengan air.
- e. Semen : *Filler* yang berupa semen adalah jenis *filler* yang terbaik menurut BS. 594 (1992), namun penggunaan *filler* semen di Indonesia kurang, karena selain harganya yang cukup mahal juga terkadang susah didapat.
- f. Abu batu : berasal dari batu alam dengan ukuran yang paling kecil, *filler* dari bahan ini paling banyak digunakan di Indonesia, menurut BS. 549 (1992) abu batu juga merupakan agregat standar yang bisa digunakan dalam campuran *HRA*.
- g. Batu bata : berasal dari pecahan batu bata yang ditumbuk, sehingga didapatkan ukuran material yang mampu lolos dari saringan no 200 (0.075mm).
- h. Abu sawit : termasuk dalam penelitian yang baru (2001), dimana material *filler* yang dipergunakan adalah abu dari limbah pengolahan kelapa sawit. Berasal dari pembakaran cangkang dan serabut kelapa sawit.

Dalam penelitian ini, *filler* yang digunakan adalah *filler* dari abu sisa penggergajian kayu/*grajen*. Dasar dari penggunaan bahan ini adalah dari penelitian-penelitian sebelumnya, *filler* yang sering digunakan berasal dari abu yang berasal dari tumbuhan, seperti abu sekam padi dan abu sawit. Dari penelitian-penelitian tersebut ternyata didapatkan hasil yang memenuhi syarat suatu perkerasan, sehingga perlu dilakukan penelitian-penelitian yang lebih lanjut.

2.4.2. Aspal

Aspal dibuat dari bahan minyak mentah (*crude oil*). Diketahui bahwa minyak mentah secara umum berasal dari sisa organisme laut dan juga sisa tumbuhan dari masa lampau yang tersimpan dan ditimbun dengan lumpur dan pecahan batu pada dasar samudera. Setelah berjuta-juta tahun material organis dan lumpur terakumulasi dalam lapisan-lapisan setebal ratusan meter, beban yang berat dari lapisan yang teratas menekan lapisan yang terbawah menjadi batuan sedimen. Sedimen tersebut yang lama-kelamaan menjadi atau terproses sehingga berubah menjadi suatu bahan yang berupa minyak mentah senyawa dasar berupa hydrocarbon. Aspal biasanya berasal dari distilasi minyak mentah tersebut, namun aspal juga ditemukan sebagai bahan alam (misal : asbuton), dimana sering juga disebut sebagai mineral (*Shell Bitumen*, 1990).

Aspal atau pada metode *Hot Rolled Asphalt* ini disebut *bitumen*, adalah merupakan komponen yang sangat penting dari suatu metode perkerasan. Penggunaan aspal yang paling banyak pada pekerjaan jalan raya adalah pada suatu pekerjaan yang disebut metode pencampuran beraspal panas (*Hotmix*), dimana digunakan pada jalan raya atau jalan bebas hambatan dalam jumlah banyak. Aspal adalah material yang berwarna coklat tua sampai hitam dan bersifat melekatkan, padat atau semi padat, dimana sifat-sifat aspal yang menonjol tersebut didapat dari alam atau dengan penyulingan minyak. (Kreb, R.D. & Walker, R.D., 1971).

Aspal adalah suatu sistem koloidal dari senyawa hidrokarbon. Pada dasarnya senyawa hidrokarbon ini terdiri atas *asphaltenes*, *resin* dan minyak. Menurut BS 3690 part 1 (1989), didefinisikan bahwa aspal (*bitumen*) adalah suatu cairan kental atau suatu padatan yang pada pokoknya terdiri atas hidrokarbon dan turunannya, dimana bahan tersebut dapat larut dalam *trichloroethylene* dan tidak mudah menguap serta melembek/melunak secara berangsur-angsur ketika dipanasi.

Aspal (*bitumen*) berfungsi sebagai pelumas ketika dilakukan pemadatan (*compaction*) dan sebagai bahan pelekat/pengikat antar agregat yang bersifat *visco-elastic* (bisa melekatkan namun elastis) pada saat pelayanan atau saat melayani lalu lintas (*Shell Bitumen*, 1990). Sedangkan untuk tingkat penetrasi bitumen Shell Bitumen (1990) membagi menjadi 5 tingkat yaitu pen 35, pen 50, pen 70, pen 100 dan HD 40. Pen 35 dan HD 40 digunakan untuk lokasi-lokasi yang berlalu lintas berat, pen 70 dan pen 100 digunakan untuk lalu lintas yang lebih ringan dan pen 50 biasanya cocok untuk segala keperluan.

2.4.3. Penelitian Yang Pernah Dilakukan

Walaupun pada pemilihan bahan penelitian yang telah dilakukan tidak sama persis dengan bahan penelitian yang akan dilakukan, namun pada dasarnya penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat dijadikan sebagai acuan atau literatur untuk pembuatan tesis/penelitian ini.

Siswosoebrotho, B.I., (1994-dalam Sentosa, L., 2001) meneliti dengan metode *HRA* dengan memakai *filler* yang bervariasi, yang terdiri dari :

a. Fly Ash

Fly ash didapatkan dari limbah batu bara. Pada penelitian ini didapatkan nilai stabilitas 9.68 kN dengan nilai kelelahan 3.90 mm. Dilihat dari nilai tersebut, maka Siswosoebrotho menyimpulkan bahwa *filler Fly ash* dapat digunakan untuk jalan raya dengan lalu lintas berat.

b. Lanau Sungai

Dari *filler* lanau sungai ini didapatkan nilai stabilitas 3.91 kN dan nilai kelelahan 8.78, sehingga disimpulkan bahwa penggunaan *filler* lanau sungai ini hanya bisa digunakan pada perkerasan dengan kondisi lalu lintas rendah.

c. Kapur

Pada penggunaan *filler* kapur ini didapatkan nilai stabilitas sebesar 11.37 kN dan nilai kelelahan sebesar 4.94, sehingga kemudian disimpulkan bahwa kapur ini sangat potensial digunakan sebagai *filler* karena mempunyai nilai stabilitas yang cukup tinggi.

Sedangkan Wenan, A.H. (1994) menyatakan bahwa kapur yang terhidrasi memiliki durabilitas yang tinggi dalam kaitannya dengan air hal ini diindikasikan dengan nilai *index of retained strength* $\pm 90\%$. Keberadaan ion kalsium dalam kapur terhidrasi akan

menghasilkan campuran dengan mutu yang baik terhadap kerusakan akibat air dan memerlukan kadar bitumen/aspal yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan campuran *HRA* yang menggunakan semen sebagai *filler*. Wenan juga meneliti *filler* yang menggunakan debu tanah, dari penggunaan *filler* tersebut didapatkan nilai stabilitas sebesar 10.75 kN, sehingga disimpulkan bahwa penggunaan debu tanah sebagai *filler* di atas nilai yang disyaratkan namun memerlukan kadar aspal yang cukup tinggi, sehingga secara ekonomis perlu pertimbangan lebih lanjut.

Yasruddin (2000) meneliti dengan memakai material *filler* berupa bubuk dari pecahan batu bata, yang merupakan hasil dari tanah liat yang telah diolah. Pada penelitian tersebut digunakan *filler* pembanding dengan menggunakan abu batu. Pembandingan dan pencampuran kedua macam *filler* tersebut juga dilakukan. Pencampuran dilakukan dengan perbandingan antara *filler* batu bata dengan abu batu sebagai berikut : 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, 0/100. Nilai stabilitas minimum didapatkan pada campuran 100% batubata-0%abu batu yaitu sebesar 10.50 kN dengan nilai kelelahan sebesar 3.60 mm. Sedangkan nilai stabilitas tertinggi didapatkan pada kadar campuran 0% batu bata-100% abu batu, yaitu sebesar 13.44 kN dengan nilai kelelahan sebesar 2.60 mm. Pada pengujian *Wheel Tracking* lendutan permanen terjadi pada kandungan 100% batu bata-0% abu batu.

Penelitian yang lain dilakukan oleh Leo Sentosa (2001), pada penelitian ini *filler* yang digunakan adalah abu sawit, kapur dan semen. Abu sawit dicampur dengan kapur atau dengan semen dengan komposisi semen/abu sawit dan kapur/abu sawit sebesar : 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 dan 0/100. Hasil pengujian di laboratorium menyatakan bahwa kadar aspal optimum tertinggi adalah pada campuran *filler* 100% abu sawit yaitu sebesar 8.37% dengan nilai stabilitas Marshall sebesar 1290 kg dan nilai kelelahan 4.30 mm. Nilai *Marshall Immersion* memenuhi persyaratan yaitu di atas 75% (81.936%). Dari pengujian *Wheel Tracking*, campuran dengan *filler* 100% abu sawit memberikan nilai stabilitas dinamis tertinggi (12992.13 lintasan/mm) dengan laju deformasi 0.0034 mm/menit.

Agus Taufik Mulyono (1996), meneliti tentang variasi jenis dan kadar *filler* terhadap kinerja campuran *Hot Rolled Sheet (HRS)* kelas B. Penelitian ini dicantumkan dalam daftar penelitian yang pernah dilakukan dalam kaitannya dengan penelitian yang akan dilakukan dan menggunakan metode *Hot Rolled Asphalt*, adalah karena *Hot Rolled Sheet* diadopsi dari prinsip *Hot Rolled Asphalt* yang mempunyai gradasi senjang. Dalam penelitian ini Agus menggunakan tiga macam *filler*, yaitu semen kapur dan lanau. Pengujian yang dilakukan juga menggunakan metode *Marshall Test*.

Selanjutnya hasil yang didapatkan dapat dituliskan pada masing-masing karakteristik (stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas) sebagai berikut :

a. Stabilitas

Untuk kadar *filler* yang diteliti, ternyata nilai stabilitas campuran untuk masing-masing jenis *filler* adalah *filler* semen > *filler* kapur > *filler* lanau. Nilai stabilitas maksimum untuk campuran yang menggunakan *filler* kapur adalah sebesar 900 kg, untuk campuran *filler* kapur sebesar 725 kg dan untuk campuran yang menggunakan *filler* lanau mempunyai stabilitas sebesar 575 kg. Nilai-nilai tersebut secara teknis memenuhi persyaratan dari *Central Quality Control and Monitoring Unit (CQCMU)* Direktorat Jendral Bina Marga. Kadar *filler* optimum yang didapatkan yaitu, untuk *filler* semen adalah sebesar 5.5%, untuk *filler* kapur dan *filler* lanau masing-masing sebesar 6.5%.

b. Fleksibilitas

Kondisi fleksibilitas untuk setiap kadar *filler*, seperti ditunjukkan dengan *Marshall Quotient* dan *VIM* adalah, untuk *Marshall Quotient* campuran yang menggunakan *filler* semen > campuran *filler* kapur > campuran *filler* lanau. Sedangkan untuk *VIM (Void In Total Mix)* adalah campuran *filler* semen < campuran *filler* kapur < campuran *filler* lanau. Nilai *Marshall Quotient* makin besar dan nilai *VIM* makin kecil menunjukkan bahwa campuran aspal mempunyai kelenturan yang lebih besar.

c. Durabilitas

Pengujian untuk memperoleh nilai durabilitas adalah dengan memberikan proses perendaman selama 24 jam dengan suhu 60°C. Nilai durabilitas didapatkan dengan hasil pembagian antara nilai stabilitas Marshall standar dengan nilai stabilitas hasil proses perendaman untuk tiap kadar dan jenis *filler* tertentu. Hasil yang didapat adalah : campuran dengan menggunakan *filler* semen > campuran *filler* kapur > campuran *filler* lanau. Campuran aspal HRS dengan menggunakan *filler* semen dan *filler* kapur mempunyai nilai durabilitas yang lebih tinggi dari persyaratan (syarat minimal *CQCMU* sebesar 75%), yaitu masing-masing sebesar 95% dan 80%. Sedangkan *filler* lanau tingkat durabilitasnya lebih kecil dari persyaratan, yaitu hanya sebesar 60%. Dengan demikian berarti bahwa campuran semen dan kapur mampu bereaksi dengan aspal, sehingga semakin lama campuran akan makin tinggi kekuatannya.

2.5.DASAR PERHITUNGAN

Departemen Kimpraswil/Puslitbang Jalan (1999), mensyaratkan perhitungan-perhitungan yang harus digunakan pada setiap rancangan campuran suatu perkerasan. Perhitungan tersebut digunakan saat menganalisis atau membahas data-data yang dihasilkan dari tes/uji Marshall.

2.5.1. Berat Jenis Bulk Agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/filler yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda. Berat jenis bulk (G_{sb}) agregat total dapat dihitung sebagai berikut :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots (1)$$

Keterangan :

G_{sb} = Berat jenis bulk total agregat

P_1, P_2, P_3 = Persentase masing-masing fraksi agregat

G_1, G_2, G_3 = Berat jenis bulk masing-masing fraksi agregat

Berat jenis bulk bahan pengisi/filler sulit ditentukan dengan teliti. Namun demikian, jika berat jenis nyata (*apparent*) bahan pengisi dimasukkan, maka penyimpangan yang timbul dapat diabaikan

2.5.2. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif campuran (G_{se}), dapat ditentukan dengan memakai rumus berikut ini :

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots (2)$$

Keterangan :

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol

P_{mm} = Persen berat total campuran (=100)

P_b = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum

G_b = Berat jenis aspal

2.5.3. Berat Jenis Campuran

Berat jenis maksimum campuran, G_{mm} pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaiknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah atau tiga buah.

Selanjutnya Berat jenis maksimum (G_{mm}) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) rata-rata sebagai berikut :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots (3)$$

Keterangan :

- P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat
- G_{sb} = Berat jenis bulk agregat
- G_{se} = Berat jenis efektif agregat
- G_b = Berat jenis aspal

2.5.4. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (P_{ba}) adalah sebagai berikut :

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} G_b \dots (4)$$

Keterangan :

- P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat
- G_{sb} = Berat jenis bulk agregat
- G_{se} = Berat jenis efektif agregat
- G_b = Berat jenis aspal

2.5.5. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (P_{be}) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti

permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus kadar aspal efektif adalah :

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \dots (5)$$

Keterangan :

P_{be}	= Kadar aspal efektif, persen total campuran
P_b	= Kadar aspal, persen total campuran
P_{ba}	= Penyerapan aspal, persen total agregat
P_s	= Kadar agregat, persen total campuran

2.5.6. Rongga di antara Mineral Agregat/*Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Rongga di antara mineral agregat (VMA) adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan Berat Jenis Bulk (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume Bulk campuran yang dipadatkan. Perhitungan VMA terhadap campuran total adalah dengan rumus :

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots (6)$$

VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total, rumusnya adalah sebagai berikut :

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \dots (7)$$

Keterangan :

VMA	= Rongga di antara mineral agregat, persen volume bulk
G_{sb}	= Berat jenis bulk agregat
G_{mb}	= Berat jenis bulk campuran padat
P_s	= Kadar agregat, persen total campuran
P_b	= Kadar aspal, persen total campuran

2.5.7. Rongga Dalam Campuran/*Void in the Mix (VIM)*

Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam persen dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots (8)$$

Keterangan :

- V_a = Rongga udara campuran, persen total campuran
 G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat
 G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol.

2.5.8. Rongga Terisi Aspal/*Void Filled with Asphalt (VFA)*

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat di antara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus VFA adalah sebagai berikut :

$$VFA = \frac{100(VMA - V_a)}{VMA} \dots (9)$$

Keterangan :

- VFA = Rongga terisi aspal, persen VMA
VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk
 V_a = Rongga di dalam campuran, persen total campuran

2.5.9. *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots (10)$$

Kemudian setelah menghitung *Marshall Quotient* (MQ), maka dilakukan uji Rendaman Marshall (*Immersion Test*), sehingga *Index of Retained Strength* (IRS) dapat ditentukan dengan rumus :

$$IRS = \left[\frac{MSI}{MSS} \right] \times 100\% \dots (11)$$

Keterangan :

- MQ = *Marshall Quotient*
- MS = **Stabilitas Marshall**
- MF = *Marshall Flow* (Kelelehan)
- IRS = *Index of Retined Strength*
- MSS = **Stabilitas Marshall kondisi standar**
- MSI = **Stabilitas Marshall kondisi setelah direndam selama 24 jam dengan suhu 60°**

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. UMUM

Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan dasar menggunakan sistem pencampuran aspal panas *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan panduan *British Standard (BS)*. 594 yang merupakan dasar dari pembangunan dari sebagian besar jalan-jalan di Inggris. Sedangkan standar-standar pengujian yang digunakan sebagian menggunakan standar yang dikeluarkan oleh *British Standard (BS)*, namun sebagian besar juga mengadopsi dari metode yang disahkan atau distandarkan oleh Bina Marga (BM) yang berupa SK-SK SNI.

Di dalam penelitian ini, pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian agregat (kasar, halus dan *filler*), aspal dan pengujian terhadap campuran (uji Marshall). Pengujian terhadap agregat termasuk pemeriksaan berat jenis, pengujian *Los Angeles*, kelekatan terhadap aspal, indeks kepipihan, dan penyerapan air. Untuk pengujian aspal termasuk juga pengujian penertrasi, titik nyala-titik bakar, titik lembek, kehilangan berat, kelarutan (CCl_4), daktilitas dan berat jenis. Sedangkan metode yang digunakan sebagai pengujian campuran adalah metode Marshall, dimana dari pengujian Marshall tersebut didapatkan hasil-hasil yang berupa komponen-komponen Marshall yaitu, *stabilitas*, *flow*, *void in mineral aggregate (VMA)*, *void in the mix (VIM)*, *void filled with asphalt (VFA)* dan kemudian dapat dihitung *Marshall Quotient*-nya, pengujian terakhir adalah berupa uji rendaman Marshall atau uji *Immersion*.

Kemudian setelah semua pengujian tersebut di atas telah dilalui dan mendapatkan hasil yang berupa data, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan atau analisa dan setelah itu dapat dilakukan pembahasan apakah hasil analisa yang didapat sesuai dengan hipotesa, ataupun hasil tersebut bertolak belakang dengan hipotesa. Dan terakhir, dapat diambil kesimpulan dan juga saran dari penelitian yang telah dilakukan.

3.2. METODE DAN PERENCANAAN PENELITIAN

Sebelum dapat melakukan suatu penelitian, maka perlu juga diperhitungkan atau dipertimbangkan mengenai suatu perencanaan terhadap cara atau tahap-tahap dalam penelitian tersebut. Perencanaan tersebut penting sebab dapat dijadikan suatu dasar atau acuan dalam menentukan langkah penelitian ini. Selain itu perencanaan ini penting supaya

ketelitian atau kekompletan dalam mencari data dan menguji sampel dalam laboratorium dapat terjaga atau dalam kata lain hasil yang dicapai penelitian dapat akurat.

Seperti telah dijelaskan di atas, metode pencampuran yang digunakan adalah metode pencampuran aspal panas. Metode ini disebut *Hot Rolled Asphalt* yang digunakan di Inggris untuk perkerasan jalan, namun juga beberapa kali digunakan di Indonesia untuk mengatasi masalah *cracking* (retak) dan *brittle* (getas). Sebagai dasar metode penelitian ini adalah menggunakan *British Standard (BS)* no. 594 tahun 1992. Di dalam BS. 594 ini terdapat resep atau persyaratan mengenai gradasi agregat, persyaratan aspal dan juga persyaratan mengenai campuran.

3.2.1. Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, bahan-bahan yang digunakan dapat dibagi menjadi dua yaitu bahan standar (sesuai dengan rancangan atau resep dalam *British Standard*) dan juga bahan alternatif/modifikasi yang berupa *filler* abu sisa penggergajian kayu/grajen. Bahan-bahan tersebut dapat diterangkan sebagai berikut :

a. Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal minyak pen. 60/70 yang diproduksi oleh PT. Pertamina.

b. Agregat Standar

Sesuai dengan *British Standard (BS)*. 594, agregat yang digunakan adalah berupa batu pecah dengan ukuran tertentu sesuai dengan *sieve test* yang akan dilakukan, termasuk juga *filler* yang digunakan, yaitu berupa pecahan batu atau berupa debu batu. Batu-batu yang digunakan sebagai agregat standar tersebut diambil dari PT. Adhi Karya, Mangkang dengan *quary* Kali Kuto, Batang. Batu-batu tersebut diperiksa sesuai dengan metode yang telah disyaratkan dan juga diuji ke dalam mesin *Sieve* (penyaring) untuk kemudian dibagi ke dalam fraksi-fraksi agregat seperti agregat kasar, agregat halus dan *filler* sebagai bagian dari agregat standar.

c. Agregat *Filler* Dari Abu Sisa Penggergajian Kayu (*Grajen*)

Dalam penelitian ini, *filler* yang dipakai adalah limbah penggergajian kayu atau yang sering disebut *grajen*, kemudian dibakar terlebih dahulu, sehingga diperoleh abunya dan kemudian ditumbuk. Tujuan dari pembakaran dan penumbukan tersebut adalah untuk mendapatkan suatu ukuran yang homogen dan bisa melewati saringan (*sieve test*) nomor 200 (0.075 mm). Bahan didapatkan dari tempat-tempat

penggergajian kayu ataupun dari pembuatan meubel dan kusen, di tempat-tempat tersebut biasanya *grajen* hanya dianggap sebagai limbah untuk kemudian dibuang atau jika ada yang membutuhkan, paling hanya akan digunakan sebagai alat pembakaran. Sedangkan pada penelitian ini, *grajen* yang digunakan adalah *grajen* dari perusahaan meubel. Perusahaan meubel tersebut menggunakan bahan dasar untuk produksi meubelnya yang berasal dari kayu jati. Jadi penelitian ini menggunakan abu *grajen* yang berasal dari sisa penggergajian kayu jati tersebut. Penggunaan dalam penelitian, abu *grajen* ini setelah dibakar dan ditumbuk, lalu disaring dan dicampurkan ke dalam agregat dengan proporsi perbandingan volume, karena dipastikan terjadi perbedaan berat jenis *filler* standar dan *filler* abu *grajen*.

3.2.2. Persyaratan Bahan Penelitian

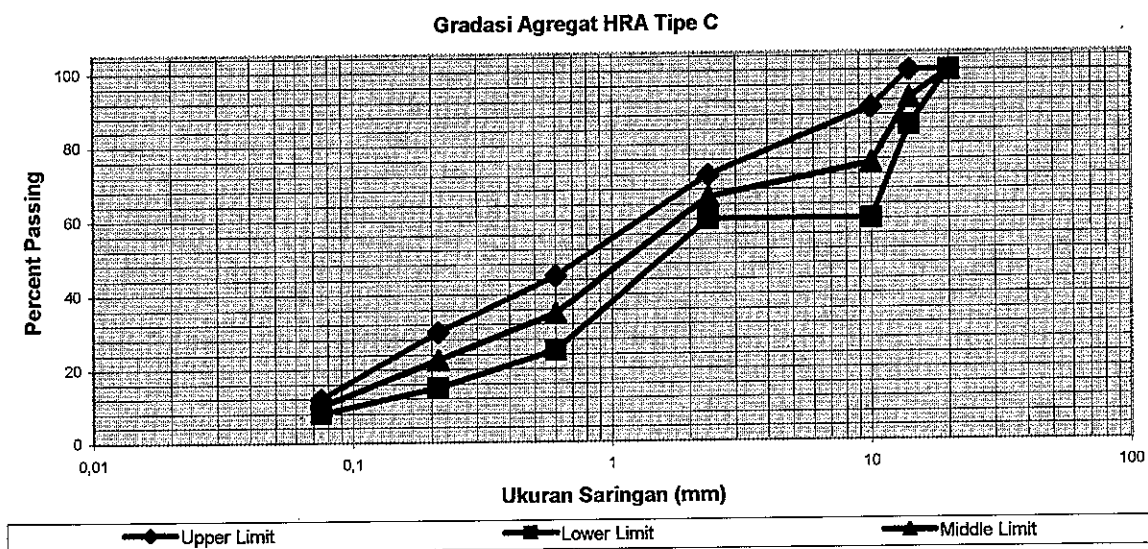
Seperti telah diulas pada bab-bab sebelumnya di atas, bahan penelitian juga dibatasi dengan berbagai macam persyaratan benda uji, hal tersebut berlaku termasuk juga untuk aspal maupun agregatnya. Persyaratan-persyaratan tersebut juga digunakan pada kondisi campuran antara agregat dengan aspal/bitumen. Sedangkan ketentuan-ketentuan lainnya telah dituliskan dalam bab sebelumnya. Persyaratan-persyaratan tersebut, yang berupa resep dan metode pengujian maupun metode pencampurannya termuat dalam BS. 594, namun kemudian dalam prakteknya, persyaratan-persyaratan tersebut dapat dijabarkan pada tabel-tabel berikut ini :

Tabel 3.1. Batasan Gradasi Agregat Untuk Campuran HRA Tipe C

Sieve	Percent Passing			% Retained (Middle Gradation)
	Upper Limit	Lower Limit	Middle Limit	
20.00 mm	100.0	100.0	100.0	0
14.00 mm	100.0	85.0	92.5	7.5
10.00 mm	90.0	60.0	75.0	17.5
6.30 mm	-	-	-	-
2.36 mm	72.0	60.0	66.0	9.0
600.00 μm	45.0	25.0	35.0	31.0
212.00 μm	30.0	15.0	22.5	12.5
75.00 μm	12.0	8.0	10.0	12.5
Pan				10.0

Sumber : British Standard (BS). 594

Dari Tabel 3.1. di atas, dapat diketahui urutan mengenai gradasi agregat yang digunakan dalam penelitian ini. Gradasi tersebut disyaratkan oleh *British Standard 594, 1992* mengenai *Hot Rolled Asphalt* dengan tipe *Coarse* (kasar). Dalam penelitian ini gradasi agregat yang diuji adalah gradasi agregat yang berada di tengah-tengah atau *middle gradation*. Sedangkan pada Gambar 3.1. berikut ini dapat dilihat gambaran mengenai gradasi HRA tipe C yang digunakan dalam penelitian. Adapun Gambar 3.1. berdasarkan dari batasan gradasi atau perencanaan gradasi yang telah dibuat pada Tabel 3.1, yaitu resep batasan gradasi untuk campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA) tipe C (*Coarse*) yang diambil dari *British Standard 594*.



Gambar 3.1. Batasan Gradasi Agregat Untuk Campuran HRA Tipe C

Kemudian dari Tabel 3.1. dan Gambar 3.1. di atas dibuat suatu rencana/target gradasi dan berat agregat untuk membuat benda uji dalam Tabel 3.2.-Tabel 3.4. berikut ini.

Tabel 3.2. Rencana Gradasi Campuran dengan *Filler* 100% Abu Batu

Ukuran Ayakan BS. (mm)	Persentase Lolos	Persentase (%)		Berat Tertahan
		Gradasi Rencana	Tertahan	
20	100	100	0	0
14	85-100	92,5	7,5	90
10	60-90	75	17,5	120
6,3	-	-	-	-
2,36	60-72	66	9	108
0,6	25-45	35	31	372
0,212	15-30	22,5	12,5	150
0,075	8-12	10	12,5	150
Pan			10	120
Jumlah Total			100	1200

Tabel 3.3. Rencana Gradasi Campuran dengan *Filler* 50% Abu Batu-50% Abu Grajen

Ukuran Ayakan BS. (mm)	Persentase Lolos	Persentase (%)		Berat Tertahan
		Gradasi Rencana	Tertahan	
20	100	100	0	0
14	85-100	92,5	7,5	90
10	60-90	75	17,5	120
6,3	-	-	-	-
2,36	60-72	66	9	108
0,6	25-45	35	31	372
0,212	15-30	22,5	12,5	150
0,075	8-12	10	12,5	150
Pan			10	94,7
Jumlah Total			100	1174,7

Tabel 3.4. Rencana Gradasi Campuran dengan *Filler* 100% Abu Grajen

Ukuran Ayakan BS. (mm)	Persentase Lolos	Persentase (%)		Berat Tertahan
		Gradasi Rencana	Tertahan	
20	100	100	0	0
14	85-100	92,5	7,5	90
10	60-90	75	17,5	120
6,3	-	-	-	-
2,36	60-72	66	9	108
0,6	25-45	35	31	372
0,212	15-30	22,5	12,5	150
0,075	8-12	10	12,5	150
Pan			10	42,82
Jumlah Total			100	1122,82

Dari Tabel 3.2-3.4. di atas, dapat dijelaskan bahwa dengan menggunakan *filler* yang berbeda-beda menyebabkan pembuatan campuran tidak bisa memakai perbandingan berat, sehingga digunakan perbandingan volume. Kemudian dengan patokan menggunakan volume campuran dengan *filler* 100% abu batu, maka didapatkan rencana campuran untuk *filler* 50% abu batu-50% abu grajen (Bj. material *filler* 2,115) pada Tabel 3.3, sedangkan Tabel 3.4. berisi tentang rencana campuran untuk *filler* 100% abu grajen (Bj. *filler* abu grajen 0,957). Dari tabel-tabel tersebut dapat kita ketahui bahwa kondisi berat masing-masing campuran berbeda, hal tersebut disebabkan karena perbedaan volume dari masing-masing material *filler*. Namun demikian perbedaan berat briket tersebut bisa diatasi dengan adanya kalibrasi atau koreksi volume yang telah ditentukan atau disyaratkan pada pengujian Marshall.

Tabel 3.5. dan 3.6. berikut ini memuat mengenai persyaratan tentang aspal/bitumen dengan beberapa parameter yang ditetapkan oleh *British Standard* dan Bina Marga. Ketentuan-ketentuan yang ditetapkan oleh *British Standard* tersebut kurang lebih sama dengan yang disyaratkan oleh Bina Marga dalam ketentuan yang diterbitkan dalam SK. SNI. Namun ketentuan-ketentuan mengenai persyaratan aspal minyak penetrasi 60/70 yang tidak ditetapkan atau tidak tercantum dalam *British Standard* terpaksa harus dilengkapi dengan ketentuan-ketentuan Bina Marga yang lainnya. Ketentuan-ketentuan tersebut diantaranya seperti daktilitas, kelekatan agregat terhadap aspal, dan lain sebagainya.

Tabel 3.5. Sifat-sifat dan Kriteria Aspal Menurut *British Standard*

No.	Property	Bitumen		
		Pen. 50	Pen. 35	Pen. 70
a.	Penetration at 25°C	50±10	35±10	70±10
	• Softening point °C	47	51	43
	• (ring and ball) °C	56	62	52
b.	Loss on heating for 5 hours at 163°C			
	• Loss by mass %max	0.2	0.2	0.2
	• Drop in penetration %max	20	20	20
c.	Solubility in carbon disulphide or trichloroethylene			
	• % min	99.5	99.5	99.5
	• % max	100	100	100
d.	Ash content			
	• % min	nil	nil	nil
	• % max	0.5	0.5	0.5

Sumber : *British Standard (BS). 594 (1992)*

Tabel 3.6. Sifat-sifat dan Kriteria Aspal Menurut SNI

No.	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi Pengujian			Satuan
		Metoda Uji	Min	Max	
1.	Penetrasi (25°C, 5 dt, 100 gr)	SNI 06-2456-1991	60	79	0,1 mm
2.	Titik Lembek	SNI M-20-1990-F	48	58	°C
3.	Titik Nyala	SNI M-19-1990-F	200	-	°C
4.	Daktilitas	SNI M-18-1990-F	100	-	cm
5.	Berat Jenis	SNI M-30-1990-F	1	-	gr/cm ³
6.	Kelarutan Dalam CH ₂ CL ₃	SNI M-27-1990-F	99	-	% berat
7.	Kehilangan Berat	SNI M-30-1990-F	-	0,8	% berat
8.	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	SNI 06-2456-1991	54	-	% asli
9.	Daktilitas Setelah Kehilangan Berat	SNI M-18-1990-F	50	-	cm

Sumber : *Standar Nasional Indonesia*

Kemudian Tabel 3.7. berikut ini berisi tentang kriteria mengenai bahan uji/material agregat yang akan digunakan dalam campuran. Persyaratan atau kriteria agregat yang digunakan juga bersumber dari *British Standard* dan juga berasal dari SK SNI yang diterbitkan oleh Bina Marga.

Tabel 3.7. Sifat-sifat dan Kriteria Agregat

No.	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi Pengujian			Satuan
		Metoda Uji	Min	Max	
I. Agregat Kasar					
1.	Berat Jenis	SNI-1969-1990-F			
	Berat jenis bulk		2,5	-	-
	Berat jenis apparent		-	-	-
	Berat jenis efektif		-	-	-
	Penyerapan		-	-	%
2.	Pengujian Abrasi	SNI M-02-1990-F	-	40	%
3.	Indeks Kepipihan	BS. 812 (1975)	-	25	%
4.	Indeks Kelonjongan	BS. 812 (1975)	-	-	%
5.	Kelekatan Terhadap Aspal	SNI M-28-1990-F	95	-	%
II. Agregat Halus					
1.	Berat Jenis	SNI-1969-1990-F	2,5	-	-
	Berat jenis bulk		-	-	-
	Berat jenis apparent		-	-	-
	Berat jenis efektif		-	-	-
	Penyerapan		-	3	%
2.	Sand Equivalent	SNI 03-4428-1997	50	-	%
III. Filler					
1.	Berat Jenis	BS. 812 (1975)			
	100% Abu batu		-	-	-
	50%abu batu-50% abu grajen		-	-	-
	100% abu grajen		-	-	-

Sumber : Standar Nasional Indonesia dan British Standard

Sedangkan Tabel 3.8. berikut ini, memuat ketentuan-ketentuan mengenai persyaratan dan spesifikasi campuran beraspal panas (*Hotmix*) yang ditetapkan oleh Puslitbang Departemen Kimpraswil. Tabel 3.8. tersebut berisi ketentuan mengenai campuran aspal panas baik campuran menerus maupun campuran bergradasi senjang pada kondisi pembebanan lalu lintas tertentu (lalu lintas berat, sedang, dan ringan) dengan spesifikasi terbaru yang ditetapkan/diluncurkan pada bulan Agustus 2001. Sebagian besar penelitian yang dilakukan mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam tabel 3.6. ini, terutama hal-hal mengenai pengujian benda uji dan perhitungan benda uji tersebut.

Tabel 3.8. Ketentuan Sifat-sifat Campuran

Sifat-sifat Campuran			Kelas A & B	Lataston		Laston				
				WC	Base	WC	BC	Base		
Penyerapan kadar aspal			Maks	2.0	1.2 untuk Lalu lintas > 1,000,000 ESA 1.7 untuk Lalu lintas < 1,000,000 ESA					
Jumlah tumbukan per bidang				50	75					112 ⁽¹⁾
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	Min	Tidak digunakan untuk LL berat	-		4.9				
		Maks		-		5.9				
	> 0.5 juta ESA & < 1 juta ESA	Min		4.0		3.9				
		Maks		6.0		4.9				
	Lalu lintas (LL) < 0.5 juta ESA	Min		3.0			3.0			
		Maks		6.0			5.0			
Rongga dalam Agregat (VMA) %			Min	20	18	17	15	14	13	
Rongga terisi aspal (%)	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	Min	Tidak digunakan untuk LL berat	65		65	63	60		
	> 0.5 juta ESA & < 1 juta ESA	Min		68						
	Lalu lintas (LL) < 0.5 juta ESA	Min		75						73
Stabilitas Marshall (kg)			Min	200	800				800 ⁽¹⁾	
			Maks	850	-				-	
Kelelehan (mm)			Min	2	2				2 ⁽¹⁾	
			Maks	3	-				-	
Marshall Quotient (kg/mm)			Min	80	200				200	
Stabilitas Marshall sisa setelah perendaman 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾			Min	85 untuk Lalu lintas > 1,000,000 ESA 80 untuk Lalu lintas < 1,000,000 ESA						
Rongga dlm campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) ^(2,3)	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	Min	Tidak digunakan untuk LL berat	-		2.5				
	> 0.5 juta ESA & < 1 juta ESA	Min		2						
	Lalu lintas (LL) < 0.5 juta ESA	Min		1						
		Maks								

Sumber : Spesifikasi Baru Beton Aspal Panas, Departemen Kimpraswil (Agustus 2001)

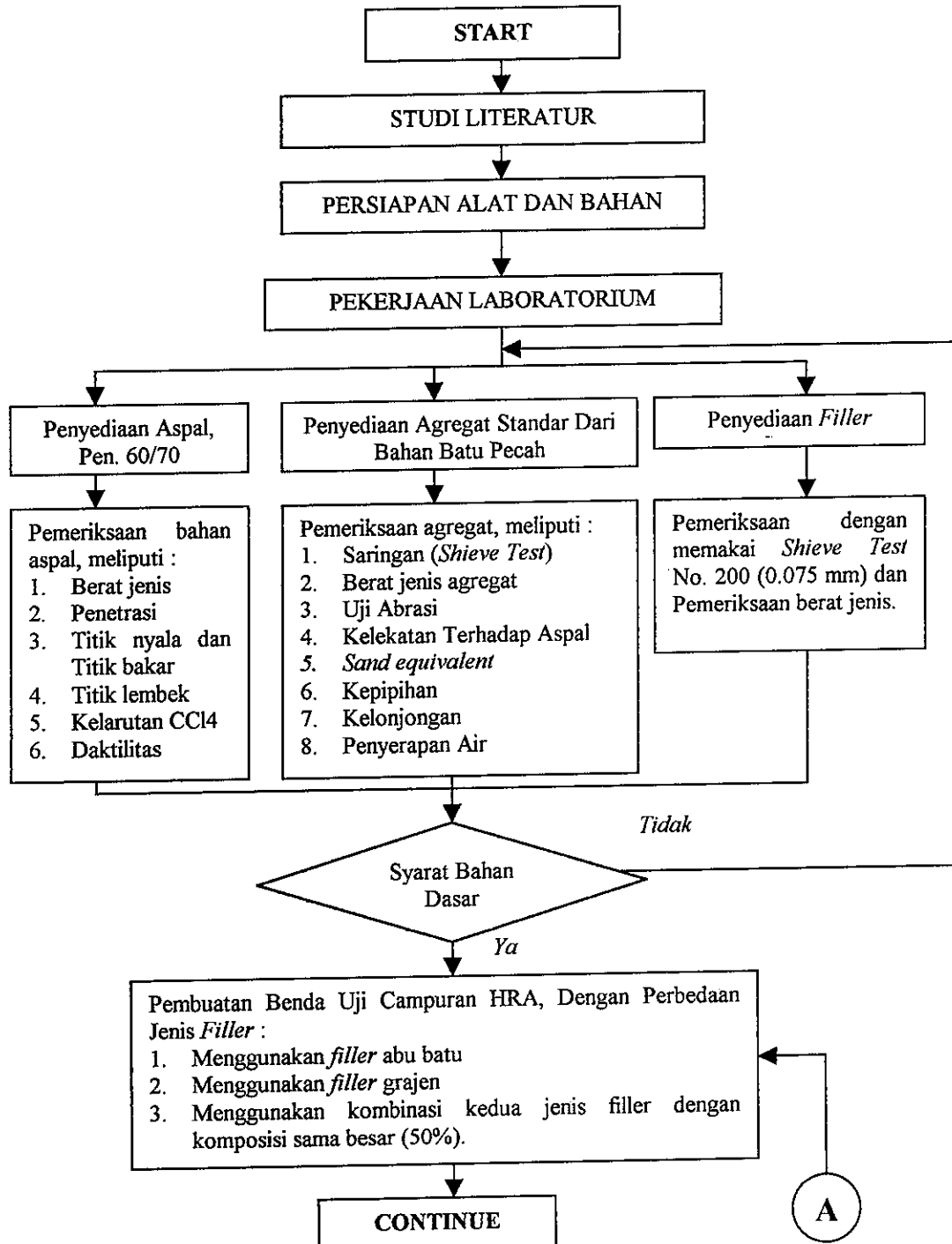
Catatan tabel 3.8:

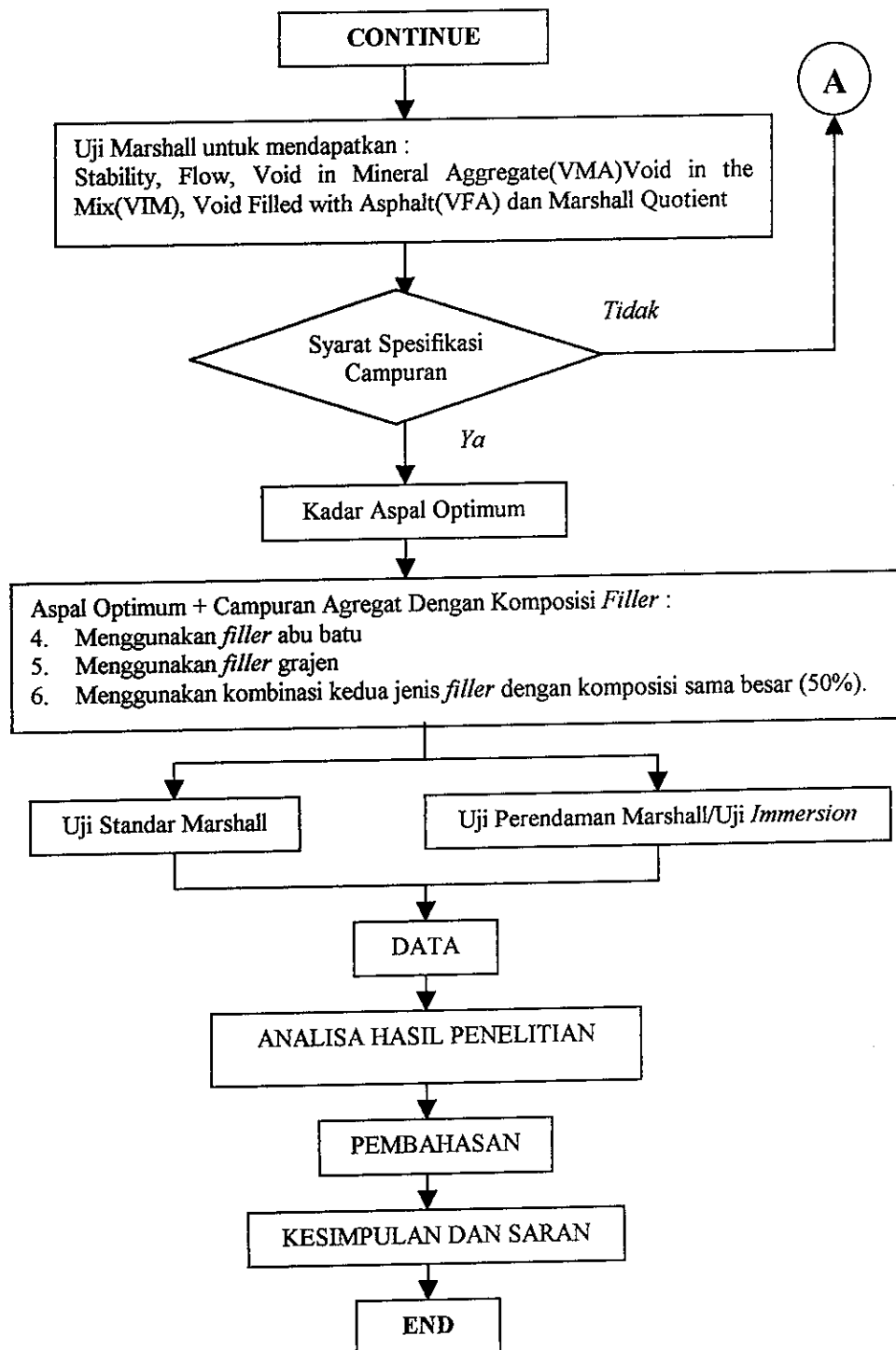
1. Modifikasi Marshall
2. Untuk menentukan kepadatan membal (refusal), penumbuk bergetar (vibratory hammer) disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya butiran agregat dalam campuran. Jika digunakan penumbukan manual jumlah tumbukan per bidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 inch dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inch.
3. Untuk Lalu lintas yang sangat lambat atau lajur padat, gunakan kriteria ESA yang lebih tinggi.
4. Berat jenis efektif agregat akan dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat.
5. Direksi Pekerjaan dapat menyetujui prosedur pengujian AASHTO T.283 sebagai alternatif pengujian kepekaan kadar air. Pengondisian beku cair tidak diperlukan.

3.3.CARA/TAHAPAN PENELITIAN

3.3.1. Kerangka Tahapan Penelitian

Tahapan atau cara melaksanakan penelitian ini, secara garis besar dapat digambarkan dalam suatu kerangka yang berbentuk diagram alir seperti diagram di bawah ini :





Gambar 3.2. Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.3.2. Uraian Tahapan Penelitian

1. Sebelum melangkah lebih jauh ke dalam penelitian ini, maka pertama kali yang dilakukan adalah studi pustaka. Studi pustaka bertujuan untuk mendapatkan

referensi-referensi dari literatur-literatur yang berguna sebagai dasar dari penelitian ini.

2. Setelah mendapat referensi yang diinginkan, maka kemudian melangkah pada tahap selanjutnya, yaitu persiapan alat dan bahan. Pembuatan proposal penelitian juga termasuk ke dalam tahapan ini, selain juga menyiapkan bahan-bahan dan alat-alat, terutama laboratorium yang akan digunakan sebagai tempat penelitian.
3. Kemudian setelah persiapan alat dan bahan matang, maka langkah selanjutnya adalah pekerjaan penelitian itu sendiri. Karena jalannya penelitian tersebut berada pada laboratorium, maka dapat dikatakan bahwa penelitian ini sebagian besar adalah pekerjaan laboratorium.
4. Pertama kali, pekerjaan laboratorium dimulai dengan pemeriksaan bahan penelitian dan pemeriksaan tersebut dibagi menjadi tiga hal, yaitu :
 - a. Pekerjaan pengujian aspal
Dalam pengujian aspal ini dimulai dari penyediaan aspal, kemudian aspal tersebut diperiksa sesuai standar, yaitu : berat jenis, penetrasi, titik nyala dan titik bakar, titik lembek, kelarutan CCl_4 , dan daktilitas.
 - b. Pekerjaan pengujian agregat standar
Pengujian terhadap agregat standar ini juga berguna sebagai dasar untuk dapat meneliti lebih jauh. Agregat standar ini termasuk juga agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Pemeriksaan terhadap agregat standar tersebut meliputi : saringan (*Sieve Test*), berat jenis agregat, uji abrasi, kelekatan terhadap aspal, sand equivalent, kepipihan, kelonjongan, penyerapan air.
 - c. Pekerjaan pengujian *filler grajen*
Karena berupa materi filler, maka pemeriksaan yang perlu dilakukan terhadap *filler* sisa pengergajian kayu ini adalah hanya berupa pengujian *Sieve Test* no. 200 (0.075 mm) dan juga pengujian terhadap berat jenisnya.
5. Kemudian setelah semua material/bahan penelitian di atas memenuhi syarat, maka selanjutnya dapat dibuat benda uji dan kemudian diuji dengan Marshall standar, pengujian berguna untuk menguji apakah benda uji tersebut sudah memenuhi syarat dasar campuran Marshall dan juga berguna untuk mendapatkan kadar aspal optimum dari masing-masing benda uji (sesuai dengan kondisi *filler* yang digunakan).

6. Setelah didapatkan kadar aspal optimum, maka selanjutnya dibuat benda uji yang baru dengan menggunakan campuran agregat ditambah dengan kadar aspal optimum yang telah diuji. Namun perlu diperhatikan bahwa pencampuran filler abu grajen dilakukan terlebih dahulu pada aspal yang akan digunakan (dalam kondisi panas).
7. Selanjutnya benda uji tersebut diuji lagi juga menggunakan uji Marshall untuk kemudian dapat ditentukan *stability*, *flow*, *Void in Mineral Aggregate(VMA)*, *Void in the Mix (VIM)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)* dan *Marshall Quotient*.
8. Setelah semua data di atas diketahui, maka langkah selanjutnya adalah analisa hasil penelitian. Dalam analisa hasil penelitian ini berguna untuk mendapatkan perhitungan-perhitungan yang berguna untuk mendapatkan hasil-hasil dalam bentuk angka-angka sebagai bagian dari tujuan penelitian ini.
9. Kemudian setelah semua perhitungan dilakukan, maka hal selanjutnya yang dilakukan adalah pembahasan mengenai semua hasil penelitian, apakah sesuai dengan hipotesa, maupun tidak sesuai.
10. Terakhir, kemudian dari semua penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan dan saran.

3.4. PEMERIKSAAN DAN PENGUJIAN

3.4.1. Pemeriksaan Agregat

Secara garis besar pemeriksaan agregat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Adapun untuk pemisahan agregat tersebut digunakan pengujian saringan atau *Sieve Test* dengan tujuan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah presentase butiran baik agregat halus, *filler* maupun agregat kasar. Standar pemeriksaan secara umum digunakan SNI 03-1968-1990.

A. Agregat Kasar

Seperti telah diketahui sebelumnya, agregat kasar didefinisikan sebagai agregat yang tertahan pada saringan 2,36 mm. Agregat kasar yang digunakan berupa batu alam, kemudian dipecah-pecah dalam ukuran tertentu sehingga didapatkan betuan-batuan kecil yang masuk dalam uji saringan atau *sieve test*. Pemeriksaan dan standar uji untuk agregat kasar tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

- a. Berat jenis dan penyerapan air : SNI-1969-1990-F
- b. Pengujian Los Angeles : SNI M-02-1990-F

- c. Kelekatan terhadap aspal : SNI M-28-1990-F
 - d. Indeks kepipihan : BS. 812 (1975)
 - e. Indeks kelonjongan : BS. 812 (1975)
- B. Agregat Halus
- Sesuai dengan persyaratan BS. 594 (1992), agregat halus adalah semua material yang telah melewati uji *sieve* dan lolos dari saringan 2.36 mm serta tertahan pada saringan no 200 (0.075 mm). Adapun macam-macam pengujian terhadap agregat halus adalah :
- a. Berat jenis dan penyerapan air : SNI-1970-1990-F
 - b. *Sand Equivalent* : SNI 03-4428-1997
- C. *Filler*

Pengujian terhadap bahan-bahan *filler* adalah juga merupakan bagian dari uji *Sieve*. Material *filler* adalah material yang lolos dari saringan terbawah atau saringan no. 200 dan tertinggal di pan. Menurut BS. 594 material *filler* dalam *HRA* disyaratkan mempunyai berat jenis tidak kurang dari 0.5 g/ml dan tidak lebih dari 0.9 kg/ml, juga suatu *filler* mengandung tidak kurang dari (*less than*) 85% dari material yang melewati saringan 0.075 mm. Uji yang dilakukan terhadap material *filler* ini adalah pengujian terhadap berat jenis (BS. 812 : 1975) dan gradasi (BS. 812 : 1975).

3.4.2. Pengujian Aspal

Pengujian pada aspal bertujuan menguji aspal yang akan dipergunakan dalam penelitian, sesuai dengan syarat atau tidak. Dalam hal ini aspal yang digunakan adalah aspal minyak Pertamina dengan penetrasi 60/70. Macam-macam pengujian aspal yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Penetrasi : SNI 06-2456-1991
- b. Titik lembek : SNI M-20-1990-F
- c. Berat jenis : SNI M-30-1990-F
- d. Daktilitas : SNI M-18-1990-F
- e. Titik nyala dan titik bakar : SNI M-19-1990-F
- f. Kehilangan berat : SNI M-30-1990-F
- g. Penetrasi setelah kehilangan berat : SNI 06-2456-1991

3.4.3. Pengujian Campuran Dengan Metode Marshall

Pengujian dengan metode Marshall dapat dibagi menjadi dua macam yaitu pengujian standar Marshall dan pengujian rendaman Marshall (*Marshall Immersion Test*). Sebenarnya Marshall Immersion Test ini adalah termasuk dalam uji standar Marshall, namun seringkali diuji secara terpisah. Metode tersebut digunakan untuk mencari stabilitas sisa dai pengujian Marshall. Untuk lebih jelasnya, jalannya penelitian dengan kedua metode tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

A. Marshall Standar

Dalam penelitian ini, pengujian dengan Marshall standar ini dilakukan sebanyak dua tahap pada suatu benda uji, maksudnya adalah pada uji yang pertama dipergunakan untuk mencari kadar aspal optimum, sedangkan yang kedua adalah untuk melihat karakteristik campuran aspal tersebut setelah menggunakan aspal optimum dalam campuran. Secara garis besar pengujian Marshall yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Pengujian pertama dilakukan untuk mendapatkan aspal optimum, dengan perencanaan proporsi aspal terhadap berat campuran aspal adalah 6%, 6.5%, 7%, 7.5%, 8%. Kemudian dari masing-masing agregat uji (100% abu batu, 50% abu batu + 50% abu grajen, 100% abu grajen) dicampur dengan masing-masing proporsi aspal dan diuji dengan standar Marshall, untuk mendapatkan *Stability*, *Flow*, *Void in Mineral Aggregate(VMA)*, *Void in the Mix(VIM)*, *Void Filled with Asphalt(VFA)* dan *Marshall Quotient*. Dan selanjutnya hal-hal tersebut diperhitungkan untuk mendapatkan aspal optimum pada ketiga jenis parameter uji tersebut.
- b. Uji Marshall yang kedua adalah bertujuan untuk mencari nilai-nilai dari karakteristik campuran dari suatu aspal yang sudah mengandung kadar agregat yang telah diuji/diperiksa ditambah dengan kadar aspal optimum. Campuran yang terdiri atas 100% abu batu, 50% abu batu + 50% abu grajen dan 100% abu grajen kemudian dicampur dengan aspal optimum masing-masing benda uji. Terakhir masing-masing benda uji dihitung *Stability*, *Flow*, *Void in Mineral Aggregate(VMA)*, *Void in the Mix(VIM)*, *Void Filled with Asphalt(VFA)* dan *Marshall Quotient*, biasanya hasil yang didapat lebih bagus dari sebelum menggunakan aspal optimum.

Secara garis besar persyaratan yang dituliskan pada BS. 594 (1992) pada pengujian Marshall, dilakukan dalam kondisi sebagai berikut :

- a. Temperatur agregat : 160° C
- b. Temperatur bahan pengikat : 155°C
- c. Temperatur pemadatan : 140°C
- d. Waktu pendinginan : 18-60 jam
- e. Waktu perendaman pada suhu ruang : 24 jam
- f. Waktu perendaman pada suhu 60° : 30-60 menit
- g. Temperatur pengujian : 60° C

B. Uji Rendaman Marshall (*Marshall Immersion Test*)

Uji ini bertujuan untuk mengukur ketahanan terhadap pengaruh kerusakan air. Perbandingan stabilitas Marshall sebelum dan sesudah perendaman disebut sebagai *Index of Retained Strength (IRS)*, parameter ini (*IRS*) digunakan sebagai indikasi ketahanan campuran terhadap pengaruh dari air. *IRS* juga sering disebut sebagai stabilitas sisa. Cara kerja dari metode pengujian rendaman Marshall ini adalah:

- a. Pertama-tama disiapkan empat sampel/benda uji pada setiap campuran pada kondisi aspal optimum, kemudian direndam dalam bak perendam selama 24 jam dengan suhu ruang.
- b. Dua benda uji diambil dan direndam dalam waterbath dengan suhu 60°C selama ½ jam kemudian diuji stabilitas dan kelelehannya dengan menggunakan kondisi standar.
- c. Dua benda uji lainnya diuji setelah direndam dalam bak perendam selama 24 jam dengan suhu 60°C.

3.4.4. Perkiraan Jumlah Sampel Yang Diperlukan

Sebagai dasar pembuatan benda uji yang akan dilakukan di laboratorium, maka jumlah benda uji/sampel yang diperlukan, dihitung dengan melihat hal-hal sebagai berikut ini :

- a. Rancangan campuran aspal *HRA* dengan kandungan proporsi *filler* yang telah direncanakan (100% abu batu, 50% abu batu + 50% abu grajen, 100% abu grajen), yaitu :
- b. 3 macam variasi *filler*
- c. 5 variasi kadar aspal pada setiap variasi *filler*

- d. 2 sampel/benda uji pada masing-masing kadar aspal dengan kondisi kering (direndam dalam suhu ruang selama 24 jam dan dengan suhu 60°C selama ½ jam) dan basah (direndam selama 24 jam dengan suhu ruang kemudian direndam dengan suhu 60°C selama 24 jam).

Kemudian setelah mendapatkan parameter-parameter di atas, maka perkiraan jumlah sampel tersebut dapat dilihat dalam tabel matriks di bawah ini.

Tabel 3.7. Jumlah Sampel yang Diperlukan

Jenis Variasi <i>Filler</i>	Variasi Kadar Aspal					Aspal Optimum	Sub Total
	6%	6.5%	7%	7.5%	8%		
Abu Batu 100%	2D	2D	2D	2D	2D	2D	12D
	2W	2W	2W	2W	2W	2W	12W
Kombinasi 2 macam <i>filler</i> (50%-50%)	2D	2D	2D	2D	2D	2D	12D
	2W	2W	2W	2W	2W	2W	12W
Abu Grajen 100%	2D	2D	2D	2D	2D	2D	12D
	2W	2W	2W	2W	2W	2W	12W
Total Sampel							72

Keterangan : D= kondisi kering (Dry); W= kondisi basah (Wet)

Jadi dengan melihat tabel 3.4 di atas, maka didapatkan jumlah sampel yang digunakan atau dipakai dalam penelitian ini adalah sebanyak 72 briket/sampel.

3.5.HIPOTESA

Dalam penelitian ini juga dilandasi oleh suatu hipotesa, diterima atau ditolakny suatu hipotesa dapat ditentukan dari hasil akhir suatu penelitian. atau dengan kata lain, suatu hasil penelitian dapat sesuai dengan hipotesa maupun dapat berbeda dengan perkiraan hipotesa yang dirumuskan. Adapun hipotesa-hipotesa yang dalam penelitian ini dapat dituliskan sebagai berikut :

- a. Campuran aspal dengan menggunakan abu grajen, masih dapat memenuhi spesifikasi *HRA*. Maksudnya adalah campuran aspal dengan menggunakan *filler* abu grajen masih lolos dari berbagai macam persyaratan yang dituliskan dalam *British Standard (BS)*.

- b. Karena dapat lolos dari syarat campuran aspal dengan metode *HRA*, maka campuran aspal dengan menggunakan *filler* abu grajen ini dalam hal kinerjanya juga cukup baik, jika dibandingkan dengan campuran aspal standar.
- c. Secara ekonomis, *filler* abu grajen dapat menggantikan *filler* abu batu sebagai agregat standar.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL-HASIL PENGUJIAN

Sebelum memasuki suatu penelitian, maka bahan/benda uji dan material yang akan digunakan untuk penelitian perlu diuji atau dites terlebih dahulu. Pengetesan tersebut meliputi sifat-sifat fisik dan bentuk dari material yang akan digunakan tersebut. Adapun macam-macam pengujian material yang telah diterangkan pada bab sebelumnya terdiri atas pemeriksaan sifat-sifat aspal dan juga pemeriksaan agregat, termasuk juga bahan *filler* abu gergaji.

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Aspal

Pemeriksaan yang dilakukan terhadap sifat-sifat (fisik) aspal penetrasi 60/70 ex PT. Pertamina yang telah dilakukan menyatakan bahwa aspal yang digunakan sebagai bahan material penelitian memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan baik syarat-syarat SNI maupun persyaratan yang dituliskan oleh *British Standard*. Hasil-hasil pengujian aspal (*bitumen*) beserta persyaratan metode pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 4.2. di bawah ini.

Tabel 4.1. Rekapitulasi Hasil-hasil Pemeriksaan Sifat-sifat fisik Aspal

No.	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi Pengujian			Satuan	Ket.
			Metoda Uji	Min	Max		
1.	Penetrasi (25 ^o , 5 dt, 100 gr)	65,3	SNI 06-2456-1991	60	79	0,1 mm	Memenuhi
2.	Titik Lembek	51,5	SNI M-20-1990-F	48	58	^o C	Memenuhi
3.	Titik Nyala	335	SNI M-19-1990-F	200	-	^o C	Memenuhi
4.	Daktalitas	> 110	SNI M-18-1990-F	100	-	cm	Memenuhi
5.	Berat Jenis	1,050	SNI M-30-1990-F	1	-	gr/cm ³	Memenuhi
6.	Kelarutan Dalam CH ₂ CL ₃	99,436	SNI M-27-1990-F	99	-	% berat	Memenuhi
7.	Kehilangan Berat	0,0385	SNI M-30-1990-F	-	0,8	% berat	Memenuhi
8.	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	90,96	SNI 06-2456-1991	54	-	% asli	Memenuhi
9.	Daktalitas Setelah Kehilangan Berat	> 110	SNI M-18-1990-F	50	-	cm	Memenuhi

Dari Tabel 4.1. di atas dapat dilihat bahwa material aspal yang digunakan telah memenuhi syarat-syarat yang ditentukan untuk aspal yang mempunyai spesifikasi penetrasi 60/70

menurut standar Bina Marga dan *British Standard*. Sedangkan hasil-hasil pemeriksaan sifat-sifat fisik aspal secara lengkap dan detail dapat dilihat pada Lampiran A1-A8.

4.1.2. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat ex Kali Kuto, Batang yang dilakukan meliputi agregat kasar (*coarse agregate*), agregat halus (*fine agregate*) dan juga bahan pengisi (*filler*). Pengujian juga mendapatkan hasil yang cukup memuaskan, dalam artian material agregat yang diuji menunjukkan hasil-hasil yang memenuhi persyaratan. Rekapitulasi hasil-hasil pengujian agregat tersebut, termasuk juga pengujian terhadap material abu serbuk gergaji dapat dilihat pada Tabel 4.2. berikut ini.

Tabel 4.2. Rekapitulasi Pengujian Sifat-sifat Fisik Agregat

No.	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi Pengujian			Satuan	Ket.
			Metoda Uji	Min	Max		
I. Agregat Kasar							
1.	Berat Jenis		SNI-1969-1990-F				
	Berat jenis bulk	2,609		2,5	-	-	Memenuhi
	Berat jenis apparent	2,768		-	-	-	Memenuhi
	Berat jenis efektif	2,689		-	-	-	Memenuhi
	Penyerapan	2,2		-	-	%	Memenuhi
2.	Pengujian Abrasi	23,73	SNI M-02-1990-F	-	40	%	Memenuhi
3.	Indeks Kepipihan	12,31	BS. 812 (1975)	-	25	%	Memenuhi
4.	Indeks Kelonjongan	19,75	BS. 812 (1975)	-	-	%	Memenuhi
5.	Kelekatan Terhadap Aspal	98	SNI M-28-1990-F	95	-	%	Memenuhi
II. Agregat Halus							
1.	Berat Jenis		SNI-1969-1990-F	2,5	-	-	
	Berat jenis bulk	2,777		-	-	-	Memenuhi
	Berat jenis apparent	2,916		-	-	-	Memenuhi
	Berat jenis efektif	2,847		-	-	-	Memenuhi
	Penyerapan	1,667		-	3	%	Memenuhi
2.	Sand Equivalent	69,57	SNI 03-4428-1997	50	-	%	Memenuhi
III. Filler							
1.	Berat Jenis		BS. 812 (1975)	0,5	9,0	-	
	100% Abu batu	2,68		-	-	-	Memenuhi
	50%abu batu-50% abu grajen	2,115		-	-	-	Memenuhi
	100% abu grajen	0,957		-	-	-	Memenuhi

Pada Tabel 4.2. di atas dapat dilihat bahwa agregat yang digunakan untuk membuat benda uji campuran aspal HRA, ternyata juga dapat memenuhi persyaratan yang ditetapkan baik oleh SNI maupun *British Standard*, sehingga agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan dasar dari penelitian ini. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel-tabel yang terdapat di dalam Lampiran B1-B7.

4.2. HASIL-HASIL PENELITIAN

Setelah material dasar (aspal dan agregat) diuji dan memenuhi persyaratan, maka penelitian pun bisa dilaksanakan dan bisa diambil hasilnya. Seperti diterangkan pada bab-bab sebelumnya, yaitu bahwa penelitian ini hanya didasarkan pada metode dan pengujian Marshall, sehingga hasil-hasil penelitian yang diperoleh adalah hasil dari uji Marshall.

4.2.1. Hasil Pengujian Marshall

Pembuatan benda uji berdasarkan metode Marshall, dilakukan dengan panduan/dasar mengenai kadar aspal optimum dari *British Standard*, karena campuran yang digunakan adalah campuran *Hot Rolled Asphalt*. *British Standard* mensyaratkan kadar aspal optimum tidak boleh kurang dari 6.5% dari total campuran. Untuk itu, sebagai dasar penetapan kadar aspal rencana digunakan kadar aspal sebesar 6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5%, dan 8.0% terhadap total campuran. Sedangkan komposisi *filler* seperti yang telah dijelaskan dalam Bab III (metodologi) adalah 100% abu batu; 50% abu batu-50% abu grajen dan 100% abu grajen.

Sebelum dituliskan dalam tabel, perhitungan-perhitungan tersebut sebagian dapat dituliskan sebagai berikut :

a. Kepadatan/*density*

Kepadatan/*density* dihitung dengan cara membandingkan berat benda uji kering dengan volume benda uji. Diketahui berat benda uji kering = 1270,05 gr dan volume benda uji = 525,1 cc, maka $density = 1270,05 \text{ gr} / 525,1 \text{ cc} = 2,4187 \text{ gr/cc}$.

b. Stabilitas

Stabilitas dihitung setelah sebelumnya membaca dial pada mesin Marshall. Hasil pembacaan dial tersebut dikalikan dengan kalibrasi yang telah ditentukan untuk kapasitas *proving ring* 5000 lbs yang dapat dibaca pada tabel pada Lampiran G1. Kemudian hasil pembacaan tabel tersebut dikalikan lagi dengan koreksi benda uji (Lampiran G2). Diketahui : Stabilitas pembacaan dial = 123, kemudian dari pembacaan tabel didapatkan stabilitas sebesar 1264 kg. Karena diketahui volume

benda uji sebesar 525,4 cc, maka koreksi benda uji sebesar 0,96. Jadi stabilitasnya adalah $1264 \text{ kg} \times 0,96 = 1213,4 \text{ kg}$.

c. *Kelelahan/Flow*

Didapatkan dari pembacaan kelelahan pada dial dan kemudian dikalikan kalibrasi untuk kelelahan yang ditentukan yaitu sebesar 0,01. Diketahui : Kelelahan pembacaan dial = 298, maka kelelahan yang didapatkan = $298 \times 0,01 = 2,98 \text{ mm}$.

d. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient didapatkan dari rasio stabilitas dan kelelahan. Jadi *Marshall Quotient* didapat sebesar = $1213,4 \text{ kg} / 2,98 \text{ mm} = 407,2 \text{ kg/mm}$.

e. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Didapatkan dengan menggunakan rumus (6) pada bab tinjauan pustaka, halaman 19, yaitu :

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

Diketahui :

$$G_{mb} = 2,4187 \text{ gr/cc}$$

$$P_s = 94\%$$

$$G_{sb} = 2,7079$$

Jadi didapatkan VMA sebesar 15,9654%.

f. *Void in the Mix (VIM)*

Dihitung dengan menggunakan rumus (8) pada halaman 20, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$V_a = 100 \times \frac{G_{nm} - G_{mb}}{G_{nm}}$$

Diketahui :

$$G_{nm} = 2,525 \text{ gr/cc}$$

$$G_{mb} = 2,4187 \text{ gr/cc}$$

Jadi didapatkan VIM sebesar 4,21%.

g. *Void Filled with Asphalt (VFA)*

Perhitungan VFA dengan menggunakan rumus (9) pada bab II halaman 20, sebagai berikut :

$$VFA = \frac{100(VMA - V_a)}{VMA}$$

Diketahui :

$$\text{VMA} = 15,9654\%$$

$$\text{Va/VIM} = 4,21\%$$

Jadi didapatkan hasil VFA sebesar 73,75%.

h. Stabilitas Sisa

Stabilitas sisa dihitung dengan cara membandingkan stabilitas yang didapatkan dari benda uji *wet* (benda uji direndam pada suhu kamar selama 24 jam kemudian direndam pada suhu 60°C selama 24 jam) dengan stabilitas dari benda uji *dry* (benda uji direndam pada suhu kamar selama 24 jam kemudian direndam pada suhu 60°C selama ½ jam) kemudian dikalikan dengan 100%. Diketahui : Stabilitas *wet* = 1142 kg, Stabilitas *dry* = 1213 kg, jadi Stabilitas Sisa = $(1142/1213) \times 100\% = 94,1\%$.

Hasil pengujian Marshall tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3.-4.5. berikut ini. Tabel perhitungan lengkap mengenai perhitungan Marshall dapat dilihat pada Lampiran C1-C6.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Marshall Campuran HRA dengan *Filler* 100% Abu Batu

No.	Sifat Campuran	Satuan	Syarat	Kadar Aspal (%)				
				6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
1.	Kepadatan/ <i>density</i>	gr/cc	-	2,42	2,39	2,37	2,36	2,35
2.	Stabilitas	kg	Min. 800	1203	1218	1172	974,6	911,4
3.	Kelelehan	mm	Min. 2	2,58	3,925	5,135	7,05	7,16
4.	<i>Marshall Quotient</i>	kg/mm	Min. 200	477,3	310,4	234,5	138,7	128
5.	VMA	%	Min. 17	16,04	17,53	18,45	19,29	20,02
6.	VIM	%	-	4,21	4,699	4,557	4,324	3,978
7.	VFA	%	Min. 65	73,75	73,19	75,31	77,65	80,13
8.	Stabilitas Sisa	%	Min. 85	96,5	98,7	91,9	88,9	90

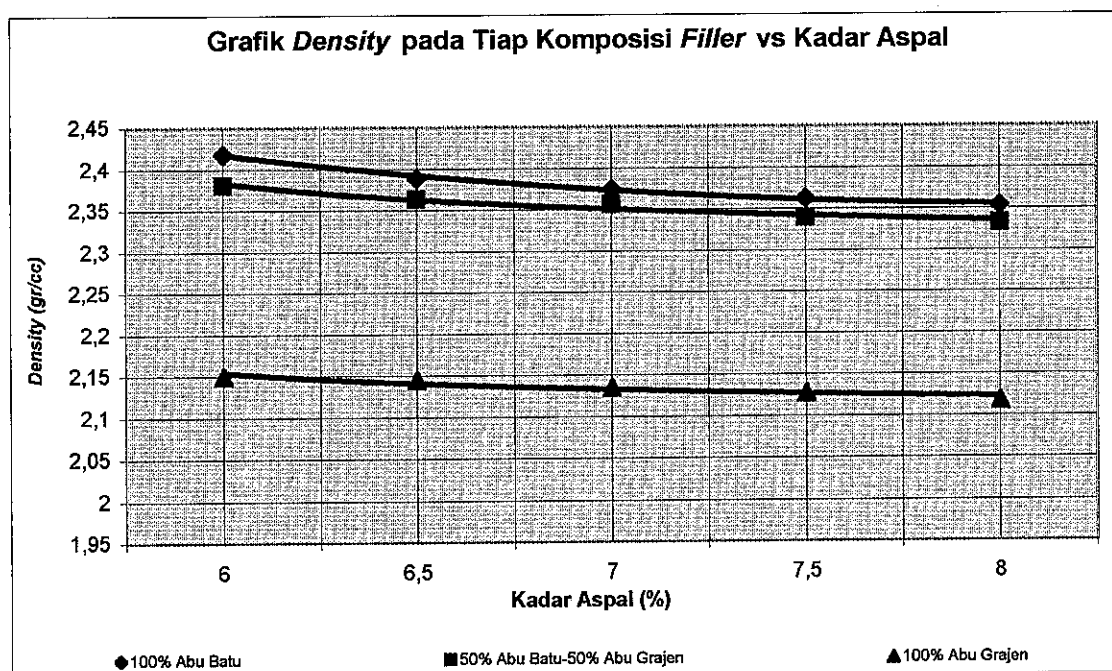
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Marshall Campuran HRA dengan *Filler* 50% Abu Batu-50% Abu Grajen

No.	Sifat Campuran	Satuan	Syarat	Kadar Aspal (%)				
				6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
1.	Kepadatan/ <i>density</i>	gr/cc	-	2,38	2,36	2,36	2,34	2,33
2.	Stabilitas	kg	Min. 800	1346	1279	1130	1043	925,8
3.	Kelelehan	mm	Min. 2	1,71	2,27	4,015	5,81	6,63
4.	<i>Marshall Quotient</i>	kg/mm	Min. 200	803,7	567,2	284,1	184,3	139,7
5.	VMA	%	Min. 17	17,34	18,39	19,08	20,07	20,75
6.	VIM	%	-	3,46	3,49	3,1	3,09	2,71
7.	VFA	%	Min. 65	80,1	81,14	83,81	84,68	86,92
8.	Stabilitas Sisa	%	Min. 85	97,2	95,7	98	92,7	96,4

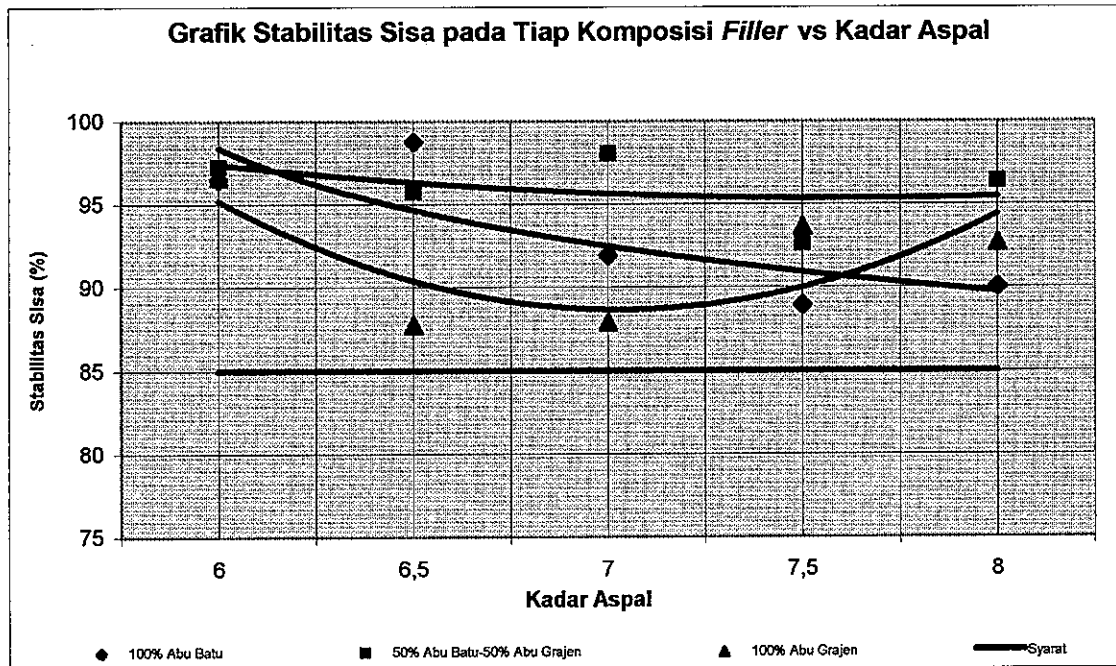
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Marshall Campuran HRA dengan *Filler* 100% Abu Grajen

No.	Sifat Campuran	Satuan	Syarat	Kadar Aspal				
				6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
1.	Kepadatan/ <i>density</i>	gr/cc	-	2,15	2,15	2,13	2,13	2,12
2.	Stabilitas	kg	Min. 800	1120	1148	991,6	919,3	769
3.	Kelelehan	mm	Min. 2	1,965	2,34	3,225	4,385	5,495
4.	<i>Marshall Quotient</i>	kg/mm	Min. 200	570,1	492,7	341,3	211,3	139,9
5.	VMA	%	Min. 17	25,36	25,93	26,69	27,32	28,06
6.	VIM	%	-	1,242	0,917	0,848	0,603	0,542
7.	VFA	%	Min. 65	95,1	96,46	96,83	97,8	98,13
8.	Stabilitas Sisa	%	Min. 85	96,6	87,7	87,9	93,6	92,7

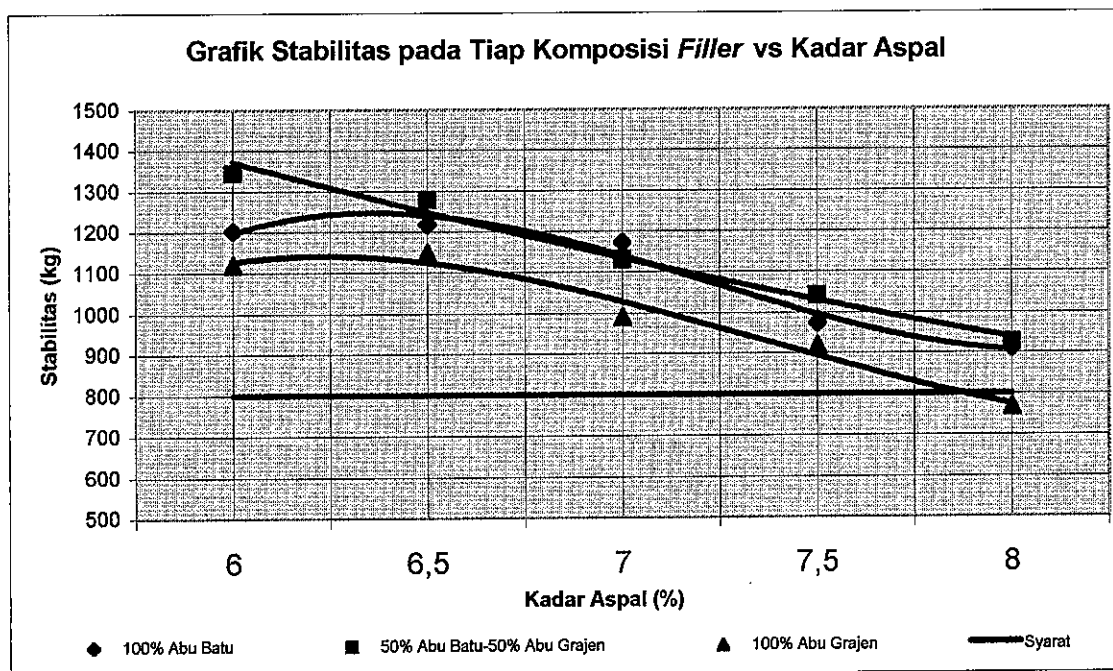
Dari Tabel 4.3.-4.5. di atas dapat kita lihat hubungan antara sifat/karakteristik masing-masing campuran yang menggunakan jenis komposisi *filler* yang berbeda dan dengan kadar aspal yang telah ditentukan dan juga ditambah dengan persyaratan yang juga telah ditentukan. Nilai yang dipakai adalah apabila nilai tersebut berada di atas persyaratan yang ada. Tabel 4.3-4.5. tersebut di atas dapat juga dibuat dalam bentuk grafik-grafik. Adapun grafik-grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1-4.6. Kadar aspal optimum (KAO) untuk masing-masing komposisi *filler* ditentukan berdasarkan hasil-hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.-4.5. di atas dan juga grafik-grafik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1-4.8. di bawah ini.



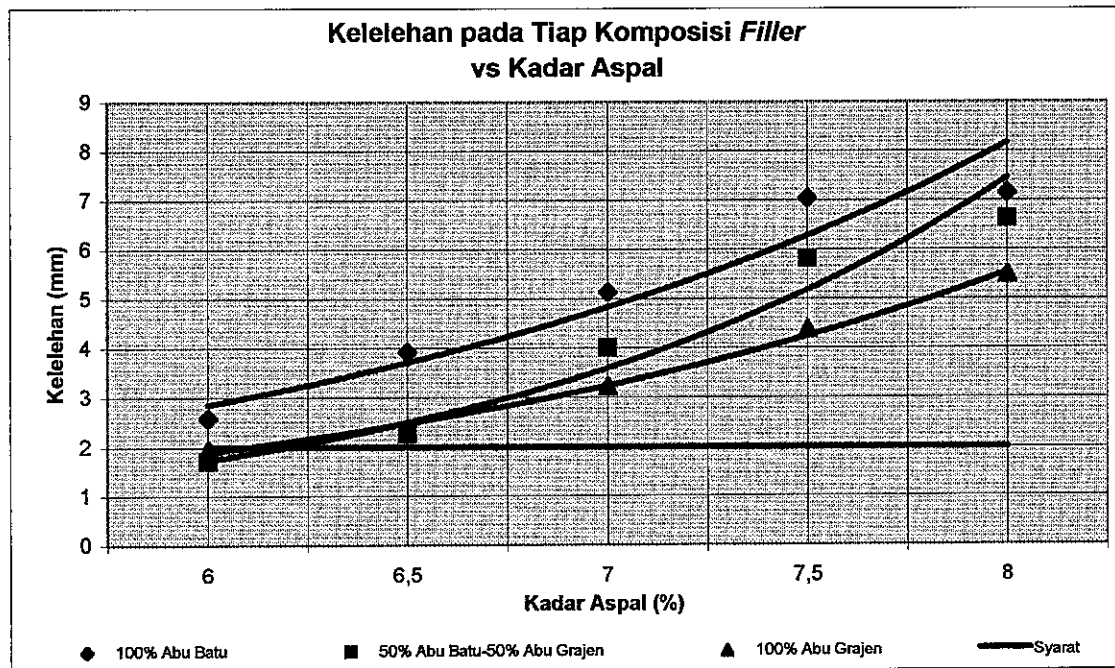
Gambar 4.1. Hubungan *Density* Pada Masing-masing Komposisi *Filler* dengan Kadar Aspal Rencana



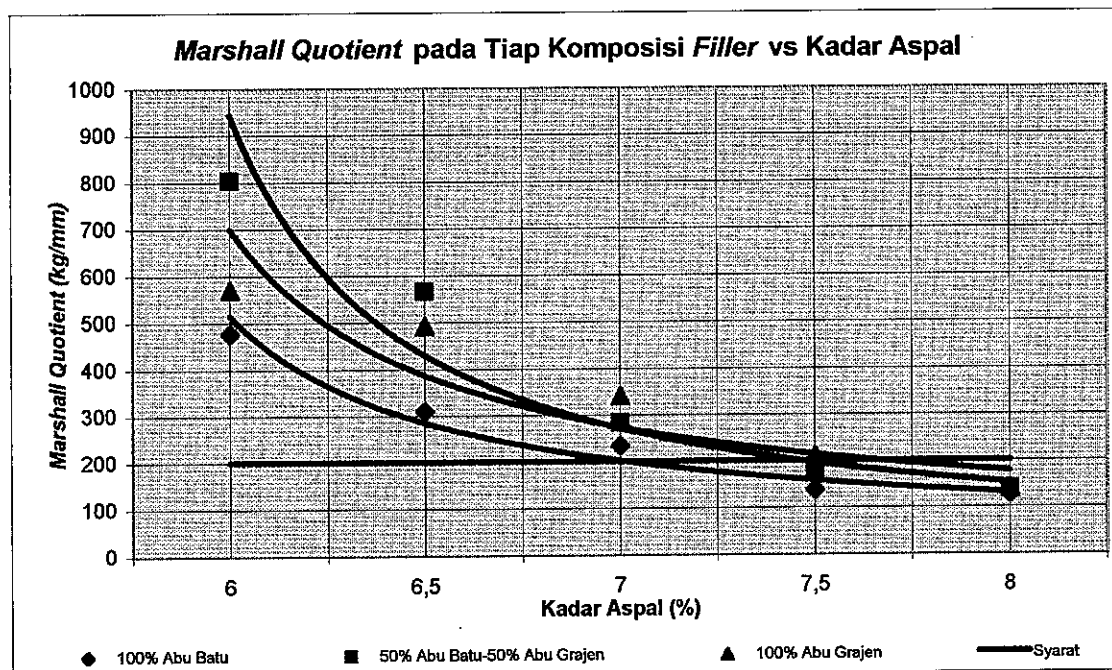
Gambar 4.2. Hubungan Stabilitas Sisa Pada Masing-masing Komposisi *Filler* dengan Kadar Aspal Rencana



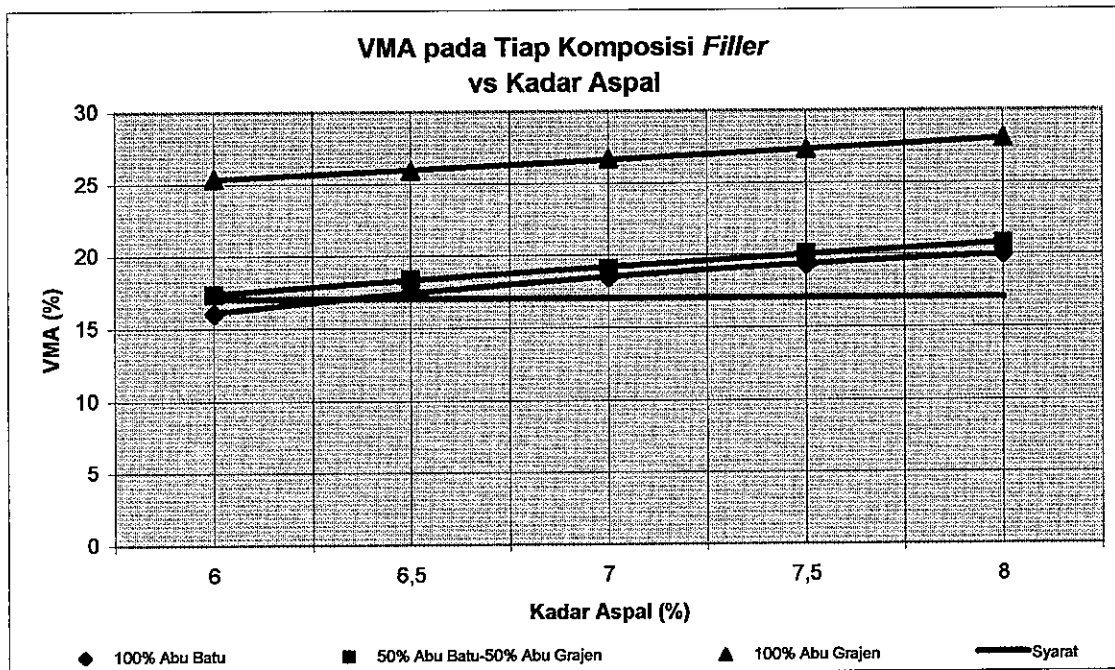
Gambar 4.3. Hubungan Stabilitas Pada Masing-masing Komposisi *Filler* dengan Kadar Aspal Rencana



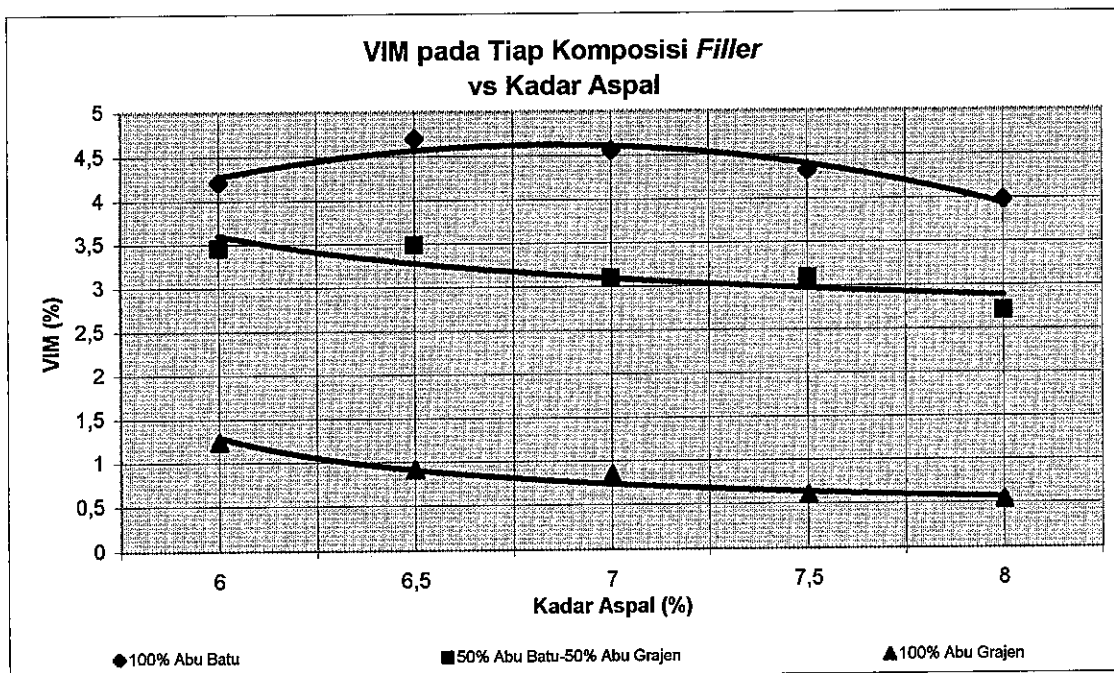
Gambar 4.4. Hubungan Kelelehan/Flow Pada Masing-masing Komposisi Filler dengan Kadar Aspal Rencana



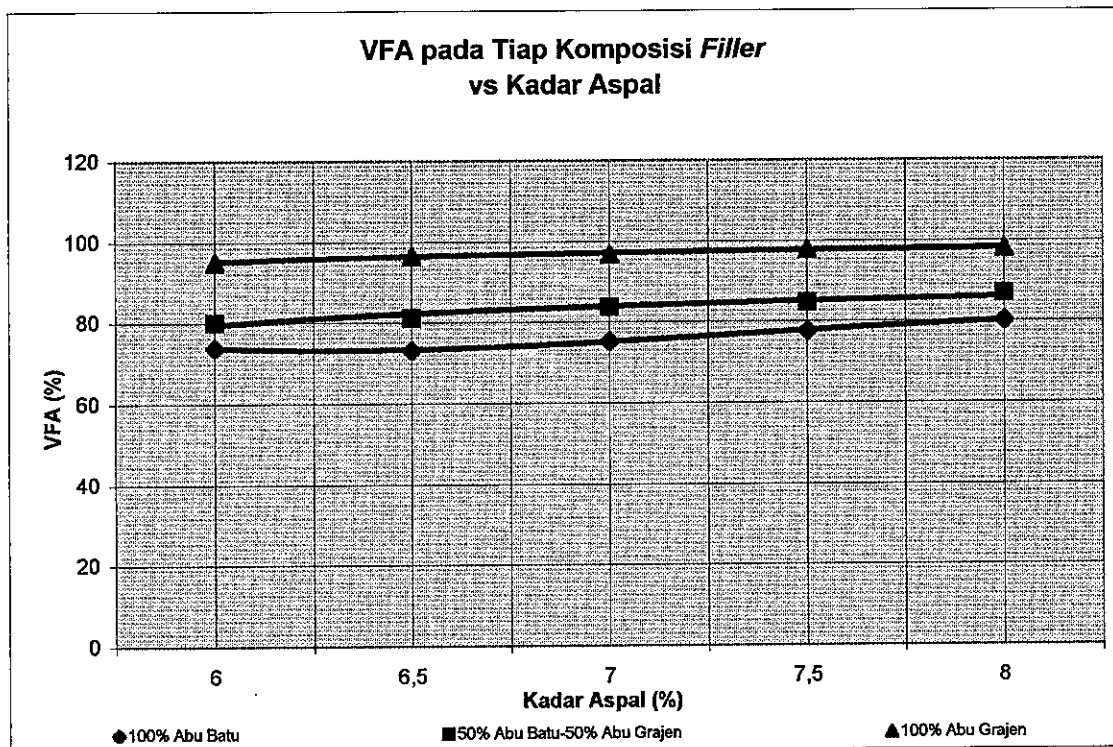
Gambar 4.5. Hubungan Marshall Quotient Pada Masing-masing Komposisi Filler dengan Kadar Aspal Rencana



Gambar 4.6. Hubungan VMA Pada Masing-masing Komposisi *Filler* dengan Kadar Aspal Rencana



Gambar 4.7. Hubungan VIM Pada Masing-masing Komposisi *Filler* dengan Kadar Aspal Rencana



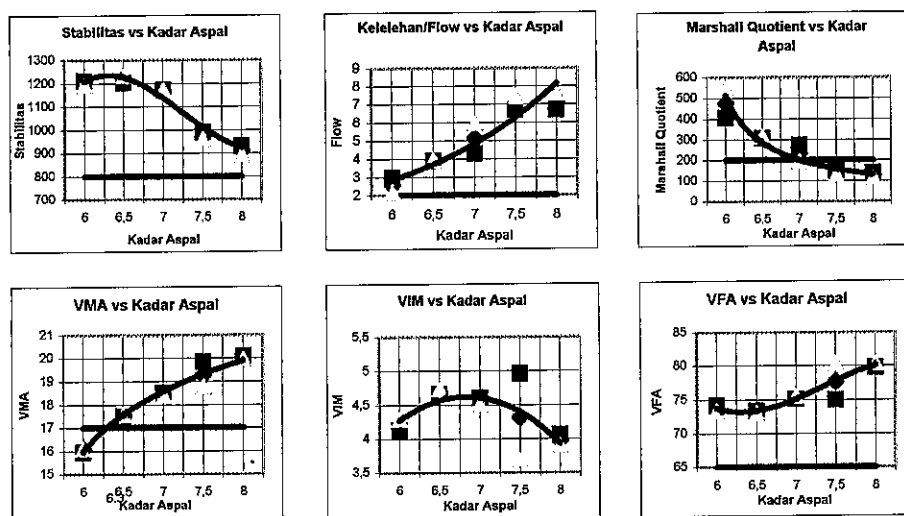
Gambar 4.8. Hubungan VFA Pada Masing-masing Komposisi *Filler* dengan Kadar Aspal Rencana

4.2.2. Kadar Aspal Optimum

Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan Marshall pada kadar aspal rencana sebesar 6%, 6.5%, 7.0%, 7.5% dan 8.0%, maka langkah selanjutnya adalah menentukan kadar aspal optimum yang ditetapkan dari standar Bina Marga (Puslitbang Jalan, Edisi 2001). Adapun parameter-parameter yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum adalah seperti yang tertulis dalam tabel di atas (4.3.-4.5.), yaitu : Stabilitas, Kelelehan, *Marshall Quotient*, VMA, VIM dan VFA. Demikian juga telah ditetapkan oleh Puslitbang Departemen Kimpraswil, dalam Ketentuan Campuran Beraspal Panas Spesifikasi Terakhir (Agustus 2001), bahwa parameter Marshall yang digunakan dalam penghitungan kadar aspal optimum adalah stabilitas, kelelehan, *Marshall Quotient*, VMA, VIM dan VFA.

Kemudian dalam rangka perhitungan kadar aspal optimum, maka perlu dibuat kurva-kurva dari masing-masing sifat campuran pada masing-masing komposisi *filler* yang ditunjukkan dalam hubungan antara karakteristik campuran dan kadar aspal ditambah

dengan persyaratan-persyaratan yang ditetapkan oleh Puslitbang Departemen Kimpraswil (Bina Marga). Sehingga dapat diketahui batas-batas maksimum dan minimum dari kurva-kurva tersebut sebagai acuan dalam pembuatan grafik penentuan kadar aspal optimum. Secara lengkap, kurva-kurva yang digunakan untuk menentukan grafik kadar aspal optimum tersebut disajikan dalam Gambar 4.9.-4.14. berikut ini.



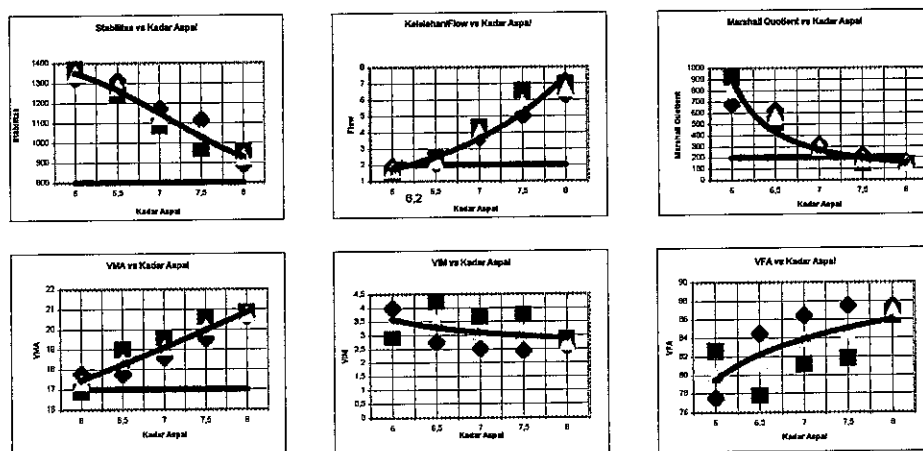
Gambar 4.9. Hubungan Antara Macam-macam Karakteristik Campuran HRA dengan *Filler* 100% Abu Batu dan Kadar Aspal

Kurva-kurva yang terdapat pada Gambar 4.9. di atas adalah hasil dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya pada Tabel 4.3. yang menerangkan hubungan antara masing-masing karakteristik/sifat campuran dengan kadar aspal 6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5% dan 8.0%. Dengan menambahkan persyaratan yang ada pada Tabel 4.3. pada Gambar 4.10, maka dapat ditentukan kadar aspal optimum pada campuran HRA dengan *filler* 100% abu batu tersebut. Gambar penghitungan kadar aspal optimum tersebut, selengkapnya dapat kita lihat pada Gambar 4.10. berikut ini.

Sifat-sifat Campuran	Rentang Kadar Aspal Yang Memenuhi Spesifikasi (%)				
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
Stabilitas Marshall	█	█	█	█	
Kelelahan/Flow	█	█	█	█	
Marshall Quotient	█	█			
VMA		█	█	█	
VIM	█	█	█	█	
VFA	█	█	█	█	
Aspal Optimum		↓ 6,65			

Gambar 4.10. Penentuan Kadar Aspal Optimum Pada Campuran HRA dengan Filler 100% Abu Batu

Dari gambar 4.10. di atas dapat dilihat bahwa kadar aspal optimum campuran HRA dengan menggunakan *filler* 100% abu batu adalah 6,65% terhadap campuran, sehingga memenuhi persyaratan HRA yaitu sebesar 6,5% terhadap campuran. Cara yang sama dilakukan pada campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen dan 100% abu grajen.

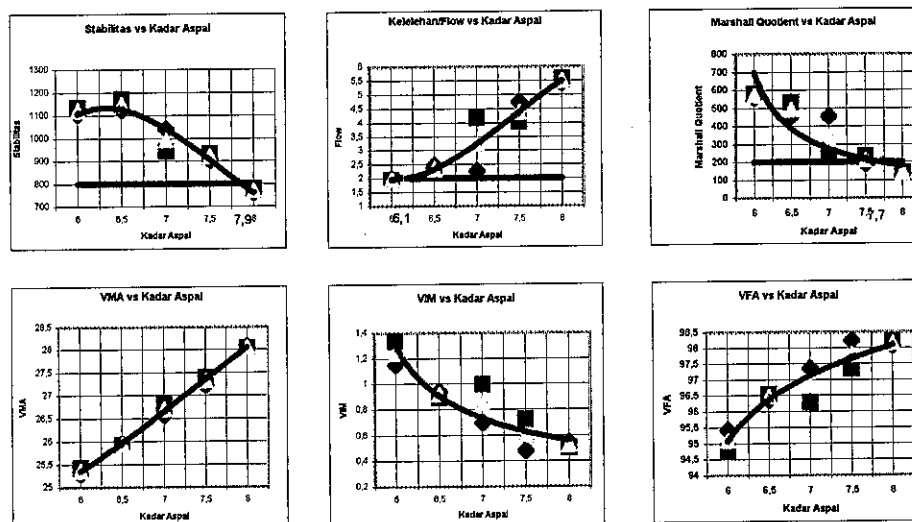


Gambar 4.11. Hubungan Antara Macam-macam Karakteristik Campuran HRA dengan *Filler* 50% Abu Batu-50% Abu Grajen dan Kadar Aspal

Sifat-sifat Campuran	Rentang Kadar Aspal Yang Memenuhi Spesifikasi (%)				
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
Stabilitas Marshall	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	White
Kelelehan/Flow	White	Shaded	Shaded	Shaded	White
Marshall Quotient	Shaded	Shaded	Shaded	White	White
VMA	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	White
VIM	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	White
VFA	Shaded	Shaded	Shaded	Shaded	White
Aspal Optimum		6,85 ↓			

Gambar 4.12. Penentuan Kadar Aspal Optimum Pada Campuran HRA dengan *Filler* 50% Abu Batu-50% Abu Grajen

Dari perhitungan kadar aspal optimum pada campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen dengan menggunakan Gambar 4.11.-4.12. di atas didapatkan kadar aspal optimum sebesar 6,85% (>6,5%) terhadap campuran.

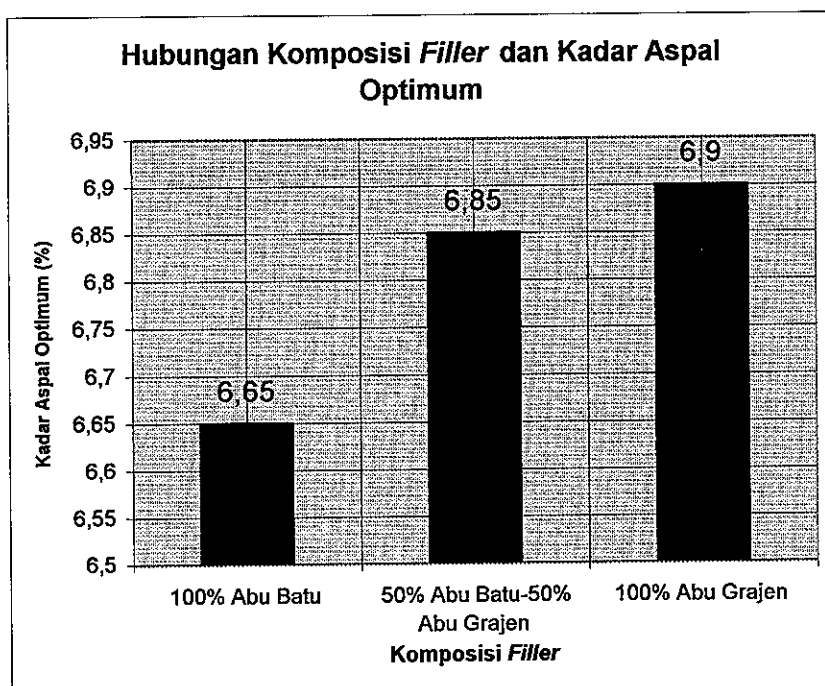


Gambar 4.13. Hubungan Antara Macam-macam Karakteristik Campuran HRA dengan *Filler* 100% Abu Grajen dan Kadar Aspal

Sifat-sifat Campuran	Rentang Kadar Aspal Yang Memenuhi Spesifikasi (%)				
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
Stabilitas Marshall	█	█	█	█	█
Kelelehan/Flow	█	█	█	█	█
Marshall Quotient	█	█	█	█	█
VMA	█	█	█	█	█
VIM	█	█	█	█	█
VFA	█	█	█	█	█
Aspal Optimum		6,9▼			

Gambar 4.14. Penentuan Kadar Aspal Optimum Pada Campuran HRA dengan Filler 100% Abu Grajen

Dengan menggunakan Gambar 4.13. dan 4.14 dapat dilihat, bahwa kadar aspal optimum campuran dengan filler 100% abu grajen hasil perhitungan adalah sebesar 6,9% terhadap campuran yang tentunya memenuhi persyaratan HRA yaitu minimal kadar aspal optimum sebesar 6,5% terhadap campuran.



Gambar 4.15. Hubungan Komposisi Filler Terhadap Campuran dan Kadar Aspal Optimum (KAO)

4.2.3. Pengujian Marshall Pada Kondisi Aspal Optimum

Setelah mendapatkan kadar aspal optimum, maka dilakukan juga pembuatan benda uji secara duplo sesuai kadar aspal optimum masing-masing seperti yang diperhitungkan di atas sesuai dengan kadar *filler* masing-masing. Adapun perhitungan Marshall tersebut dapat dituliskan dalam dua jenis perhitungan, yaitu : pertama, perhitungan Marshall dengan menggunakan asumsi bahwa kadar aspal optimum yang digunakan sama dengan kadar aspal optimum pada campuran standar (*filler* 100% abu batu), kedua, perhitungan Marshall dengan kadar aspal optimum masing-masing campuran. Hasil perhitungan Marshall untuk kadar aspal optimum tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6. dan 4.7.

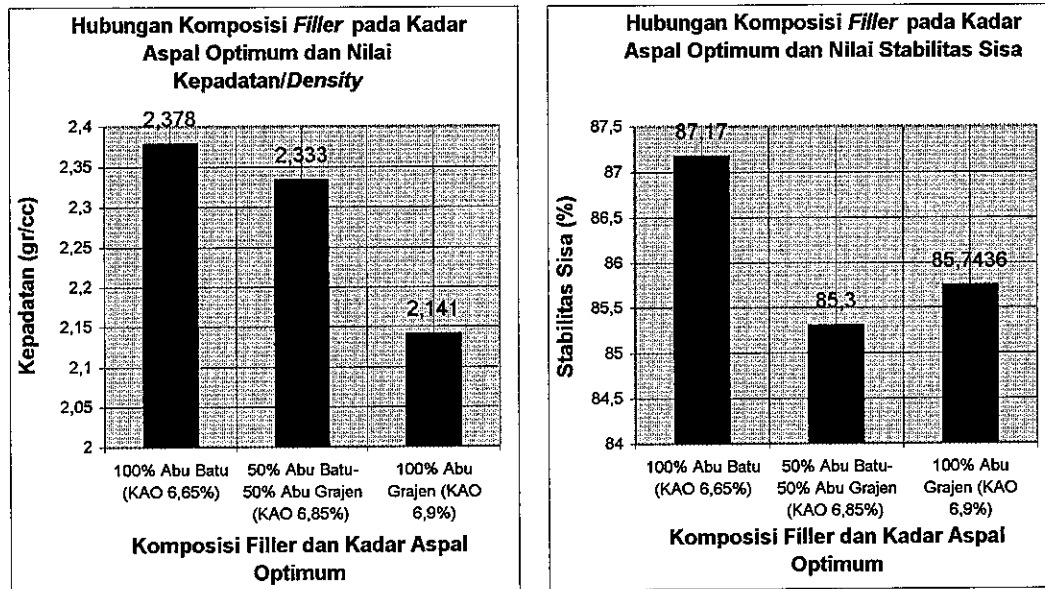
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Marshall Campuran HRA, dengan Masing-masing Komposisi *Filler* Pada Kondisi Aspal Optimum 6,65%

No.	Sifat Campuran	Satuan	Syarat	Komposisi <i>Filler</i> dan Kadar Aspal Optimum (KAO)		
				KAO 6,65%	KAO 6,65%	KAO 6,65%
				100% Abu Batu	50% Abu Batu-50% Abu Grajen	100% Abu Grajen
1.	Kepadatan/ <i>density</i>	gr/cc	-	2,378	2,36	2,18
2.	Stabilitas	kg	Min. 800	1150	1200	1100
3.	Kelelehan	mm	Min. 2	4,97	2,8	2,6
4.	<i>Marshall Quotient</i>	kg/mm	Min. 200	231,6	380	350
5.	VMA	%	Min. 17	18,04	17,5	26,5
6.	VIM	%	-	5,838	3,2	0,85
7.	VFA	%	Min. 65	67,64	82,5	97
8.	Stabilitas Sisa	%	Min. 85	87,17	97	89,5

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Marshall Campuran HRA dengan *Filler* 100% Abu Batu; 50% Abu Batu-50% Abu Grajen; dan 100% Abu Grajen Pada Kondisi Aspal Optimum

No.	Sifat Campuran	Satuan	Syarat	Komposisi <i>Filler</i> dan Kadar Aspal Optimum (KAO)		
				KAO 6,65%	KAO 6,85%	KAO 6,9%
				100% Abu Batu	50% Abu Batu-50% Abu Grajen	100% Abu Grajen
1.	Kepadatan/ <i>density</i>	gr/cc	-	2,378	2,333	2,141
2.	Stabilitas	kg	Min. 800	1150	1139	1013
3.	Kelelehan	mm	Min. 2	4,97	4,745	4,7
4.	<i>Marshall Quotient</i>	kg/mm	Min. 200	231,6	242,9	215,6
5.	VMA	%	Min. 17	18,04	19,76	26,39
6.	VIM	%	-	5,838	5,431	1,663
7.	VFA	%	Min. 65	67,64	72,52	93,8
8.	Stabilitas Sisa	%	Min. 85	87,17	85,3	85,74

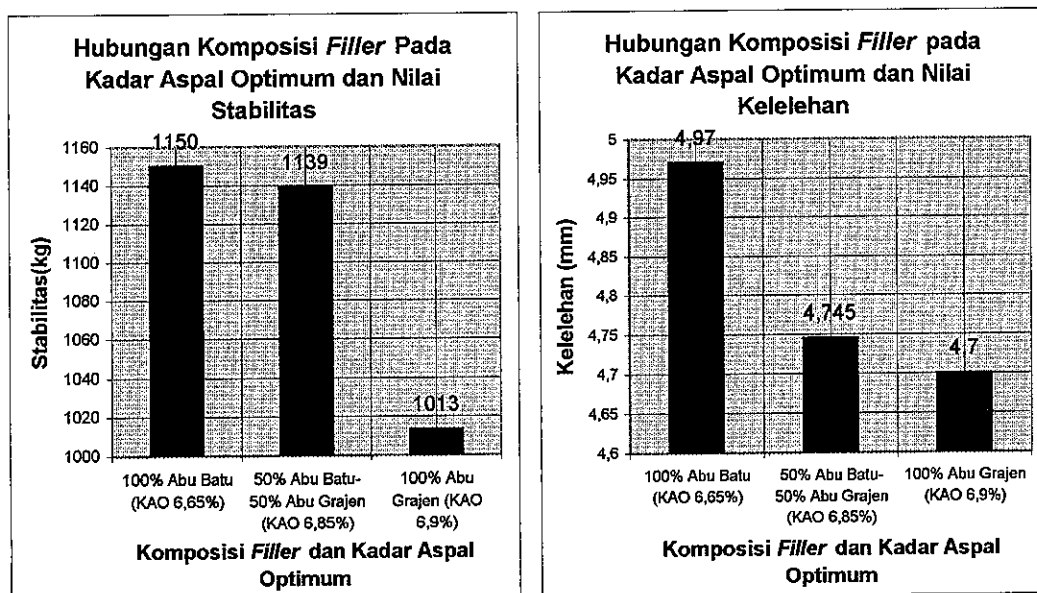
Kemudian, karakteristik campuran dengan komposisi *filler* masing-masing pada aspal optimum dapat dijabarkan pula dalam bentuk grafik-grafik di dalam Gambar 4.16.-4.19. di bawah ini.



(a)

(b)

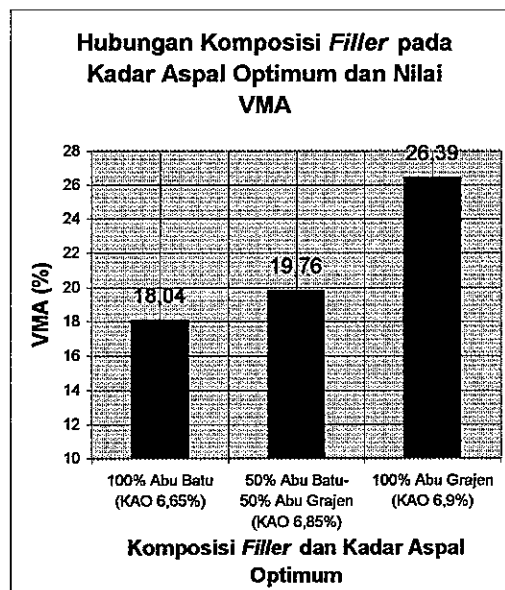
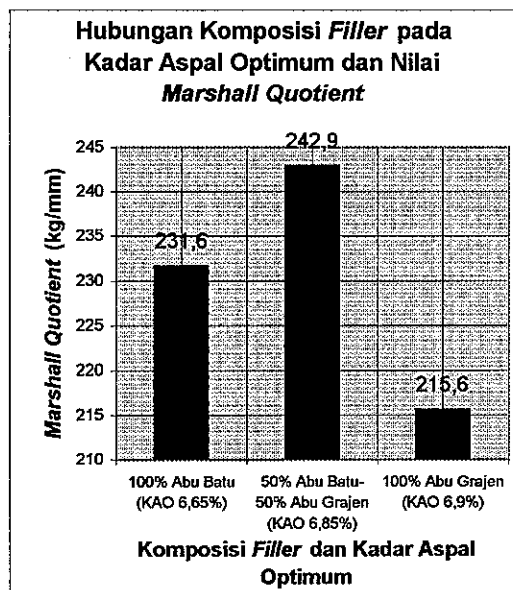
Gambar 4.16. Karakteristik Campuran dan Komposisi *Filler* pada Kadar Aspal Optimum Untuk Kepadatan (a) dan Stabilitas Sisa (b)



(a)

(b)

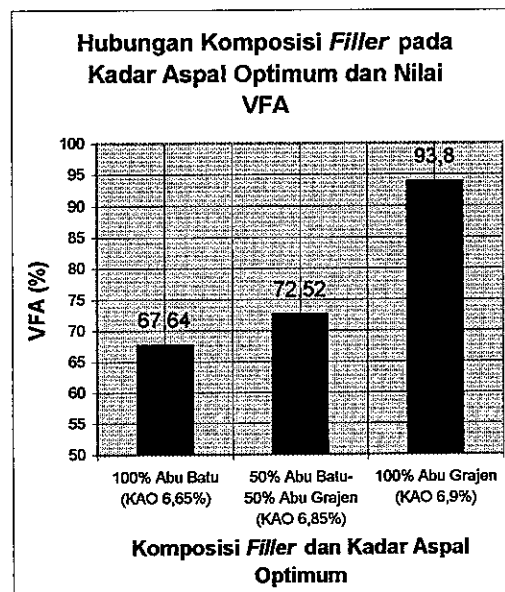
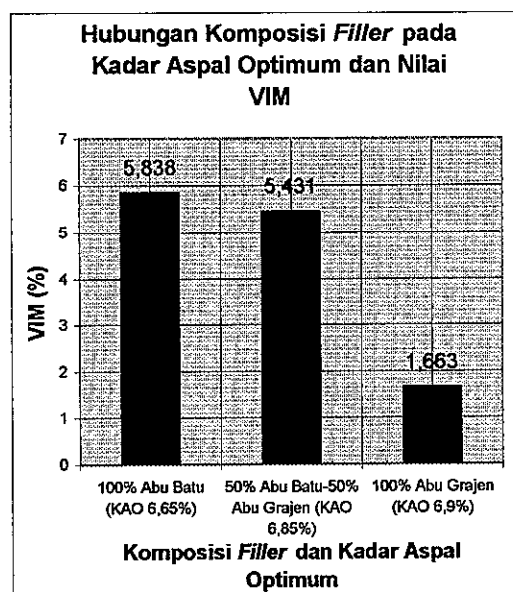
Gambar 4.17. Karakteristik Campuran dan Komposisi *Filler* pada Kadar Aspal Optimum Untuk Stabilitas (a) dan Kelelahan/Flow (b)



(a)

(b)

Gambar 4.18. Karakteristik Campuran dan Komposisi *Filler* pada Kadar Aspal Optimum Untuk *Marshall Quotient* (a) dan *VMA* (b)



(a)

(b)

Gambar 4.19. Karakteristik Campuran dan Komposisi *Filler* pada Kadar Aspal Optimum Untuk *VIM* (a) dan *VFA* (b)

Tabel-tabel perhitungan dengan metode Marshall pada kadar aspal optimum yang selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran F1-F3.

4.3. PEMBAHASAN

Dari data-data yang telah disajikan di atas, maka selanjutnya hasil-hasil penelitian tersebut dapat dibahas. Pembahasan mencakup semua parameter yang termasuk dalam karakteristik campuran dengan metoda Marshall.

4.3.1. Kadar Aspal Optimum

Dalam *British Standard (BS). 495, 1992*, disyaratkan bahwa kadar aspal optimum terhadap total campuran minimal 6,5%. Sehingga kadar aspal rencana tidak boleh terlalu jauh di bawah 6,5%, maka digunakan kadar aspal rencana sebesar 6-8%. Setiap campuran dengan proporsi/komposisi *filler* yang digunakan ditentukan kadar aspal optimumnya. Kadar aspal optimum yang terendah adalah campuran dengan menggunakan *filler* abu batu yaitu sebesar 6,65%, kemudian untuk campuran dengan menggunakan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen memiliki kadar aspal optimum sebesar 6,85% sedangkan kadar aspal optimum tertinggi adalah campuran dengan menggunakan *filler* 100% abu grajen. Perbedaan kadar aspal optimum tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Seperti diketahui sebelumnya yaitu bahwa kadar aspal optimum yang digunakan adalah kadar aspal optimum masing-masing campuran dan kadar aspal optimum yang diasumsikan sama dengan kadar aspal optimum campuran standar dengan *filler* 100% abu batu. Untuk kadar aspal optimum yang pertama, yaitu dengan menggunakan kadar aspal optimum pada masing-masing campuran diketahui bahwa penambahan dan penggantian abu batu dengan abu grajen ternyata secara signifikan menambah kadar aspal optimum. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan berat jenis antara kedua jenis *filler* tersebut yang cukup besar. Sehingga mempengaruhi volume kedua macam *filler* tersebut. Akibatnya kadar aspal optimum yang digunakan untuk menyelimuti partikel agregat dengan baik akan bertambah, sedangkan untuk kadar aspal yang kedua, diasumsikan bahwa kadar aspal optimumnya sebesar 6,65%.

Semua kadar aspal optimum yang diperoleh memenuhi persyaratan target minimal kadar aspal optimum yang disyaratkan oleh *British Standard*, sehingga semua benda uji memenuhi persyaratan untuk kadar aspal optimum.

4.3.2. Kepadatan/*Density*

Kepadatan atau *density* disebut juga sebagai rasio antara berat benda uji kering dengan volume benda uji tersebut. Di dalam perhitungan juga disebut dengan G_{MB} . Dari

hasil perhitungan, didapatkan nilai-nilai kepadatan sebagai berikut : campuran dengan *filler* 100% abu batu memiliki nilai *density* 2,378 gr/cc, campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen memiliki nilai *density* sebesar 2,333 gr/cc dan campuran dengan *filler* 100% abu grajen didapatkan nilai *density* sebesar 2,141 gr/cc. Sedangkan, jika kadar aspal optimum untuk semua campuran diasumsikan sama dengan kadar aspal optimum campuran standar (*filler* 100% abu grajen) yaitu sebesar 6,65%, dan dengan melihat pada Tabel 4.6 serta Gambar 4.2., maka nilai *density* untuk masing-masing campuran adalah : dengan *filler* 100% abu batu = 2,378 gr/cc, dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen = 2,36 dan dengan *filler* 100% abu grajen = 2,18 gr/cc.

Dari uraian di atas, maka dapat diketahui bahwa penambahan dan penggantian *filler* dengan abu grajen dapat menurunkan nilai kepadatan/*density*. Nilai kepadatan terendah dicapai oleh campuran yang menggunakan 100% abu grajen sebagai *filler*, sedangkan campuran standar (*filler* 100% abu batu) memiliki nilai kepadatan yang paling tinggi. Dengan demikian dapat dikatakan campuran dengan menggunakan 100% abu grajen memiliki kepadatan/*density* yang paling jelek. Hal tersebut terjadi baik pada perhitungan kadar aspal optimum masing-masing campuran, maupun jika kadar aspal optimum diasumsikan sama pada tiap campuran. Menurunnya nilai kepadatan tersebut bisa jadi karena mutu dari bahan abu grajen, dalam artian abu grajen bersifat lebih lunak dari abu batu dan jika dilakukan pemadatan akan lebih mudah memadat.

Tidak ada persyaratan yang mengatur tentang kepadatan atau *density* ini, baik untuk nilai minimum maupun nilai maksimumnya, jadi nilai-nilai kepadatan di atas bisa dianggap memenuhi persyaratan. Grafik kepadatan/*density* untuk masing-masing kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4.16.a.

4.3.3. Stabilitas

Yang dimaksudkan dengan stabilitas adalah sebagai ukuran kemampuan suatu campuran aspal untuk menahan deformasi beban lalu lintas di atasnya. Dapat dilihat pada tabel 4.7. yaitu stabilitas pada kadar aspal optimum tertinggi dicapai oleh campuran dengan menggunakan *filler* 100% abu batu yaitu sebesar 1150 kg, stabilitas terendah terjadi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu grajen, yaitu hanya sebesar 1013 kg. Sedangkan campuran yang menggunakan *filler* kombinasi dari kedua macam *filler* (50% abu batu-50% abu grajen) mempunyai stabilitas sebesar 1139 kg. Nilai-nilai stabilitas tersebut dapat dilihat dalam Gambar 4.17.a.

Kemudian dengan melihat Tabel 4.6. dan dengan asumsi bahwa kadar aspal optimum untuk semua campuran adalah sama dengan kadar aspal optimum campuran standar (*filler* 100% abu batu) dengan menggunakan Gambar 4.3., maka dapat diketahui nilai-nilai stabilitas : campuran dengan *filler* 100% abu batu sebesar 1150 kg, campuran dengan *filler* 100% abu grajen sebesar 1100 kg dan campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen sebesar 1200 kg.

Jadi dapat dikatakan penggunaan abu grajen pada campuran HRA ini ternyata sangat berpengaruh terhadap stabilitas. Penggantian abu batu dengan abu grajen dapat mengakibatkan menurunnya stabilitas pada suatu campuran aspal. Namun dalam kondisi dicampur dengan abu batu (50%-50%) ternyata bisa menyebabkan stabilitas yang ada menjadi naik bahkan mendekati stabilitas campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu.

Persyaratan yang ditetapkan untuk nilai-nilai stabilitas adalah minimal 800 kg, sehingga dengan demikian ketiga jenis campuran tersebut di atas dapat memenuhi syarat minimal stabilitas.

4.3.4. Kelelahan/*Flow*

Penambahan dan penggantian abu grajen dalam campuran HRA ini dapat mengakibatkan penurunan nilai kelelahan. Dalam artian campuran yang mengandung *filler* abu grajen, semakin banyak maka kelelahan dari campuran tersebut akan mempunyai nilai yang lebih rendah (Tabel 4.7.). Nilai kelelahan tertinggi terjadi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu yaitu sebesar 4,97 mm, sedangkan terendah terjadi pada campuran dengan *filler* 100% abu grajen yaitu sebesar 4,7 mm (dapat dilihat pada Gambar 4.17.b.). Dapat diartikan pula penambahan dan penggantian abu batu dengan abu grajen ini dapat menyebabkan sifat campuran menjadi lebih kaku dan getas.

Sedangkan jika menggunakan asumsi bahwa kadar aspal optimum untuk semua campuran adalah sama yaitu 6,65%, maka nilai-nilai kelelahan tersebut dapat disebutkan : kelelahan untuk campuran dengan *filler* 100% abu batu = 4,97 mm, kelelahan untuk campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen = 2,8 mm dan kelelahan untuk campuran dengan *filler* 100% abu grajen = 2,6 mm. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6. dan Gambar 4.4.

Sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan Bina Marga, maka nilai keelehan tidak boleh lebih kecil dari 2 mm. Sehingga keelehan hasil pengujian Marshall terhadap ketiga jenis benda uji tersebut di atas dapat dikatakan memenuhi syarat keelehan.

4.3.5. *Marshall Quotient*

Didapatkan dari rasio antara stabilitas dan keelehan dan digunakan sebagai indikator kekakuan benda uji. Nilai *Marshall Quotient* disyaratkan oleh Bina Marga yaitu terendah 200 kg/mm. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil : campuran dengan menggunakan 100% abu batu mempunyai *Marshall Quotient (MQ)* sebesar 231,6 kg/mm, campuran dengan menggunakan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen mempunyai MQ sebesar 242,9 kg/mm dan campuran yang menggunakan *filler* 100% abu grajen mempunyai MQ sebesar 215. Nilai-nilai *Marshall Quotient* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.18.a. Pada Gambar 4.18.a. tersebut dapat kita lihat bahwa nilai *Marshall Quotient* untuk campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen adalah nilai yang tertinggi, dengan demikian dapat dikatakan bahwa campuran dengan menggunakan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen memiliki sifat atau nilai kekakuan yang tinggi dibanding dengan kedua campuran yang lain.

Dari nilai-nilai *Marshall Quotient* tersebut di atas juga dapat diketahui bahwa dengan penambahan/pencampuran abu grajen dan abu batu dapat meningkatkan nilai *Marshall Quotient* dibandingkan dengan hanya menggunakan abu batu saja, namun penggantian abu batu dengan abu grajen akan mengakibatkan penurunan nilai *Marshall Quotient*. Ketiga nilai *Marshall Quotient* tersebut memenuhi syarat minimal *Marshall Quotient* yaitu sebesar 200 kg/mm.

Kemudian jika menggunakan Tabel 4.6. dan Gambar 4.5. dan dengan asumsi bahwa kadar aspal optimum untuk semua campuran adalah sama, yaitu 6,65%, maka nilai-nilai *Marshall Quotient* yang didapatkan berbeda dengan jika menggunakan kadar aspal optimum masing-masing campuran. Nilai *Marshall Quotient (MQ)* tertinggi dicapai oleh campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen yaitu sebesar 380 kg/mm, nilai MQ terendah dicapai oleh campuran dengan *filler* 100% abu batu yaitu sebesar 231,6 kg/mm, sedangkan jika menggunakan *filler* 100% abu grajen memiliki nilai MQ sebesar 350 kg/mm.

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa penggunaan abu grajen sebagai *filler* ternyata memang bisa menaikkan nilai *Marshall Quotient* dan nilai-nilai *Marshall Quotient*

tersebut ternyata bisa memenuhi persyaratan minimal untuk *Marshall Quotient* yaitu sebesar 200 kg/mm.

4.3.6. Rongga diantara Mineral Agregat (*Void in Mineral Agregate/VMA*)

Nilai VMA mengalami kenaikan yang cukup signifikan akibat dari penambahan dan penggantian *filler* abu grajen. Nilai-nilai VMA tersebut dapat diuraikan : untuk campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu mempunyai VMA sebesar 18,04%, dengan menggunakan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen memiliki nilai VMA sebesar 19,76% dan yang terbesar dimiliki oleh campuran yang menggunakan *filler* 100% abu grajen yaitu sebesar 26,39%. Nilai-nilai VMA tersebut dapat dilihat dalam Gambar 4.18.b.

Sedangkan jika mengacu pada Tabel 4.6. dan Gambar 4.6. serta dengan asumsi bahwa kadar aspal optimum untuk semua campuran adalah sama dengan kadar aspal optimum campuran standar (100% abu batu = 6,65%), maka nilai-nilai VMA yang didapatkan adalah : campuran dengan *filler* 100% abu batu = 18,04%, campuran dengan *filler* 50% abu-50% abu grajen = 17,5% dan campuran dengan *filler* 100% abu grajen = 26,5%.

Dengan meningkatnya nilai-nilai VMA pada campuran yang mengandung abu grajen, maka dapat dikatakan bahwa penggunaan abu grajen pada campuran ternyata menyebabkan campuran aspal bertambah kadar rongga/pori yang berada di antara agregat. Pertambahan tersebut kurang lebih disebabkan oleh berat jenis abu grajen yang lebih kecil dari abu batu sehingga bisa menyebabkan *filler* abu grajen tidak bisa mengisi pori atau rongga antar agregat dengan merata.

Dengan nilai-nilai VMA di atas, maka dapat diketahui bahwa dengan penggunaan abu grajen dalam campuran ternyata bisa meningkatkan nilai VMA secara signifikan, hal tersebut berarti rongga/*void* di antara agregat menjadi semakin tinggi. Sedangkan syarat yang ditetapkan untuk VMA adalah minimal 17% untuk *HRS base* sehingga dengan demikian hasil perhitungan VMA untuk ketiga jenis benda uji di atas dapat memenuhi persyaratan yang ada.

4.3.7. Rongga dalam Campuran (*Void in the Mix/VIM*)

Nilai VIM seringkali dikaitkan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil nilai VIM, maka campuran akan bersifat lebih kedap air, namun nilai VIM yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan (*bleeding*).

Pada spesifikasi Beton Aspal Campuran Panas yang dikeluarkan oleh Puslitbang Kimpraswil tahun 1999, nilai VIM untuk lalu lintas berat dibatasi sebesar 3-6%, namun pada spesifikasi terbaru (Agustus, 2001), nilai VIM tidak dibatasi, sehingga berapapun nilai VIM dapat memenuhi persyaratan.

Nilai VIM terbesar didapatkan dari campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu yaitu sebesar 5,838%, sedangkan VIM pada campuran yang menggunakan *filler* kombinasi 50% abu batu-50% abu grajen memiliki nilai yang hampir mendekati nilai VIM pada campuran yang menggunakan 100% abu batu yaitu sebesar 5,431% dan nilai VIM terendah adalah pada campuran yang menggunakan 100% abu grajen. Nilai-nilai dan syarat dari VIM dapat dilihat pada Gambar 4.19.a. Sedangkan jika diasumsikan bahwa kadar aspal optimum untuk semua campuran adalah sama yaitu sebesar 6,65%, maka pada Tabel 4.6. dan Gambar 4.7. dapat diketahui bahwa nilai-nilai VIM untuk masing-masing campuran adalah : dengan *filler* 100% abu batu = 5,431%, dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen = 3,2% dan dengan *filler* 100% abu grajen = 0,85%.

Nilai-nilai VIM di atas mempertegas bahwa penggunaan abu grajen sebagai *filler* ternyata bisa menurunkan nilai VIM pada campuran HRA dengan sangat drastis, walaupun dalam hal ini nilai VIM tidak dibatasi. Namun dengan melihat nilai VIM pada *filler* 100% abu grajen yang hanya sebesar 0,85%, bisa kita lihat bahwa terjadi suatu campuran yang nilainya mendekati nilai campuran untuk *rigid pavement*, sehingga bisa digunakan ketentuan-ketentuan VIM yang diluncurkan oleh Puslitbang Kimpraswil (1999) yang mensyaratkan nilai VIM antar 3-6 %. Sehingga bisa dinyatakan nilai VIM yang ada walaupun bisa memenuhi persyaratan, namun tidak bisa digunakan sebagai acuan untuk digunakan dalam perkerasan lentur, karena dengan nilai VIM yang sedemikian kecil dikhawatirkan akan terjadi kerusakan berupa *bleeding*.

4.3.8. Rongga Terisi Aspal (*Void Filled with Asphalt/VFA*)

Perubahan jenis *filler* ternyata dapat mengubah nilai VFA secara signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan menurunnya nilai-nilai VFA pada masing-masing campuran. Nilai VFA pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu sebesar 67,64%, VFA pada campuran dengan *filler* menggunakan 50% abu batu-50% abu grajen mempunyai nilai sebesar 72,52% dan campuran yang menggunakan *filler* 100% abu grajen mempunyai nilai sebesar 93,8 (Gambar 4.19.b).

Perubahan nilai VFA tersebut juga berlaku jika perhitungan menggunakan asumsi kadar aspal optimum untuk semua jenis campuran adalah sama yaitu sebesar 6,65%, seperti yang bisa disaksikan dalam Tabel 4.6. dan Gambar 4.8. Perubahan tersebut dapat disajikan dalam nilai-nilai sebagai berikut : nilai VFA untuk campuran dengan *filler* 100% abu batu adalah 67,64%, nilai VFA untuk campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen adalah 82,5% dan nilai VFA untuk campuran dengan *filler* 100% abu grajen adalah 97%.

Besarnya nilai VFA di atas, terutama untuk campuran dengan *filler* 100% abu grajen bisa jadi disebabkan karena abu grajen membuat rongga antar mineral menjadi lebih besar, sehingga bisa terisi dengan aspal (bitumen) dengan kadar yang lebih besar. Kemungkinan lainnya adalah karena abu grajen mempunyai berat jenis yang lebih ringan dari abu batu, maka abu grajen tersebut tidak bisa masuk dan menutup lubang pori yang ada di antara agregat dan pori yang ada pada agregat itu sendiri, sehingga menyebabkan pori-pori tersebut dapat terisi aspal dengan mudah.

Dari perhitungan-perhitungan di atas dapat diketahui bahwa perubahan *filler* dengan menggunakan *filler* abu grajen ternyata bisa meningkatkan nilai-nilai VFA secara nyata. Nilai VFA minimal yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah sebesar 65%, sehingga dapat dikatakan nilai-nilai VFA pada benda uji yang telah diuji Marshall pada kadar aspal optimum dan pada semua komposisi *filler* dapat memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga.

4.3.9. Uji Rendaman Marshall/*Marshall Immersion Test*

Tujuan dari dilakukan uji ini adalah untuk mencari stabilitas sisa atau *Index Retained Strength (IRS)*. Stabilitas sisa adalah merupakan rasio dari stabilitas benda uji yang direndam 60°C selama 24 jam terhadap stabilitas benda uji yang direndam 60°C selama ½ jam. Pada pelaksanaannya sebenarnya uji rendaman Marshall termasuk ke dalam pengujian Marshall standar, jadi setiap pengujian Marshall pasti secara otomatis juga mencakup uji rendaman Marshall.

Nilai minimal stabilitas sisa yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah sebesar 85%. Sehingga semua benda uji yang menggunakan aspal rencana dapat dinyatakan memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Dengan demikian data dari benda-benda uji tersebut dapat digunakan untuk menentukan aspal optimum. Data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C4-C6.

Nilai stabilitas sisa pada kadar aspal optimum masing-masing campuran adalah : dengan *filler* 100% abu batu mempunyai nilai stabilitas sisa sebesar 87,17%, campuran dengan *filler* 50%abu batu-50% abu grajen memiliki nilai stabilitas sisa 85,3% dan campuran dengan *filler* 100% abu grajen memiliki nilai 85,7436%. Nilai-nilai stabilitas sisa tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.16.b. Kemudian jika digunakan kadar aspal yang sama pada tiap campuran (sama dengan campuran standar = 6,65%), maka dapat diperoleh nilai-nilai stabilitas sisa sebagai berikut : campuran dengan *filler* 100% abu batu memiliki stabilitas sisa sebesar 87,17%, stabilitas sisa pada campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen = 97% dan dengan *filler* 100% abu grajen = 89,5%. Nilai-nilai tersebut bisa dilihat dalam Tabel 4.6. dan Gambar 4.2. Pada Gambar 4.16.b. Jika ditinjau dari kadar aspal optimum yang berbeda-beda maka dapat diketahui bahwa nilai stabilitas sisa untuk campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen adalah yang terkecil, dengan demikian dapat diketahui pula bahwa campuran tersebut mempunyai nilai durabilitas yang paling rendah dibanding kedua campuran yang lain. Namun berbeda jika kadar aspal optimum diasumsikan sama untuk semua campuran, maka akan didapatkan nilai stabilitas sisa yang sedemikian besar, sehingga dapat dikatakan bahwa campuran yang dibuat mempunyai sifat kedap air dan durabilitas yang tinggi, terutama untuk campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen.

Ditinjau dari persyaratan yang ada, maka nilai stabilitas sisa pada kadar aspal optimum untuk semua jenis *filler* dapat memenuhi persyaratan. Data perhitungan stabilitas sisa yang selengkapnya dapat dilihat pada tabel-tabel yang berada dalam Lampiran F1-F3.

4.3.10. Pembahasan Umum

Dengan melihat hasil-hasil pengujian Marshall pada kadar aspal optimum di atas, maka dapat dikatakan bahwa semua benda uji dapat/telah memenuhi segala persyaratan yang diajukan baik oleh *British Standard* maupun oleh Bina Marga, dengan demikian sesuai dengan hipotesis, penggunaan abu grajen secara teknis (persyaratan) dapat diterima. Namun untuk kekuatan campuran aspal yang dinyatakan oleh stabilitas, maka campuran aspal yang lebih kuat adalah campuran dengan menggunakan *filler* 100% abu batu. Hal tersebut juga berlaku jika kita menggunakan kadar aspal optimum yang sama pada setiap campuran yaitu dimana nilai-nilai struktural campuran yang menggunakan *filler* 100% abu grajen ternyata lebih jelek dibanding dengan campuran standar (100% abu batu), tetapi

nilai-nilai tersebut masih bisa memenuhi persyaratan-persyaratan yang telah ditetapkan oleh *British Standard* maupun Bina Marga.

Fenomena yang terjadi adalah bahwa dengan pencampuran abu batu dan abu grajen masing-masing sebesar 50% dapat membuat suatu campuran dengan nilai karakteristik mendekati atau hampir menyamai campuran yang menggunakan *filler* abu batu, sehingga secara ekonomis dapat mengurangi nilai dari pengadaan abu batu. Sedangkan nilai kadar aspal menjadi bertambah seiring dengan menurunnya kadar abu batu dalam *filler* yang digunakan dalam campuran HRA ini. Hal tersebut perlu juga kita cermati, sebab penggunaan abu batu dapat diminimalisasi namun kadar aspal tidak bisa diminimalisasi, padahal kadar aspal adalah komponen terpenting dari suatu perkerasan dan juga mempunyai harga yang paling mahal. Jadi dengan kata lain penggunaan abu grajen, baik dengan cara dicampur maupun dengan menggantikan abu batu jika ditinjau dari penggunaan *filler*, bisa mengurangi nilai ekonomis dari penggunaan abu batu, namun di sisi lain dapat meningkatkan penggunaan kadar aspal yang harganya juga cukup mahal.

Fenomena lain yang terjadi adalah nilai stabilitas sisa yang cukup tinggi dari masing-masing campuran. Dengan demikian bisa dikatakan juga bahwa campuran yang dibuat ternyata mempunyai nilai durabilitas yang cukup tinggi dan mempunyai nilai kekakuan yang lebih tinggi pula (nilai *Marshall Quotient* paling tinggi). Hal tersebut sesuai dengan kemampuan dasar dari campuran HRA yang lebih mementingkan nilai-nilai kelenturan dan durabilitas dibanding dengan AC yang lebih mementingkan nilai-nilai struktural. Jadi dengan demikian, campuran yang telah diuji terutama yang menggunakan abu grajen baik dicampur dengan abu batu maupun tidak ternyata bisa menghasilkan suatu campuran memiliki nilai durabilitas yang cukup tinggi sesuai dengan kemampuan campuran HRA.

Jadi, penggantian abu batu dengan abu grajen, walaupun bisa memenuhi syarat yang ditetapkan baik oleh *British Standard* maupun Bina Marga, tetapi ternyata mempunyai nilai struktur yang kurang baik dan tidak mempunyai nilai ekonomis, karena akan membuat suatu campuran perkerasan menjadi bertambah kadar aspalnya, sehingga dengan bertambahnya nilai aspal optimum, maka bertambah pula biaya yang harus dikeluarkan. Jadi dengan kata lain campuran (*mixtures*) akan mempunyai nilai ekonomis yang cukup tinggi (mahal). Demikian juga dengan pencampuran 50% abu batu dengan 50% abu grajen, walaupun pencampuran *filler* ini bisa mereduksi penggunaan abu batu tetapi meningkatkan penggunaan aspal. Mungkin dengan proporsi pencampuran *filler* abu batu dan abu grajen yang lebih tepat (lebih presisi) bisa mereduksi penggunaan abu batu sekaligus bisa juga

mereduksi penggunaan aspal, sehingga juga bisa mereduksi nilai ekonomis dari campuran perkerasan tersebut (misal : 90% abu batu-10% abu grajen; 80% abu batu-20% abu grajen; dan sebagainya).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan perhitungan-perhitungan sedemikian rupa, maka akhirnya dapat ditarik beberapa kesimpulan dan juga dapat diberikan saran-saran yang dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai penelitian tentang perkerasan lentur beraspal panas dengan metode *Hot Rolled Asphalt* ini.

5.1.KESIMPULAN

Berdasarkan hasil-hasil yang telah dihitung dan dibahas pada bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai-nilai karakteristik Marshall untuk semua campuran (100% abu batu, 50% abu batu-50% abu grajen, 100% abu grajen) pada kadar aspal optimum ternyata memenuhi syarat-syarat yang ditentukan oleh *British Standard* dan Puslitbang Kimpraswil (Bina Marga).
2. Penambahan dan/atau penggantian *filler* abu batu dengan *filler* abu grajen akan menyebabkan bertambahnya kadar aspal optimum, hal tersebut disebabkan oleh berat jenis kedua macam *filler* tersebut sangat berbeda (bj. abu batu = 2,68, sedangkan bj. abu grajen = 0,957).
3. Penambahan dan juga penggantian *filler* dengan menggunakan abu grajen dapat menyebabkan menurunnya nilai kepadatan/*density* suatu campuran perkerasan, hal tersebut dapat dibuktikan dengan nilai-nilai kepadatan sebagai berikut :
 - a. Campuran dengan *filler* 100% abu batu mempunyai nilai kepadatan sebesar 2,378 gr/cc.
 - b. Campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen mempunyai nilai kepadatan sebesar 2,333 gr/cc atau mengalami penurunan sebesar 0,045 gr/cc ($\pm 1,89\%$).
 - c. Campuran dengan *filler* 100% abu grajen mempunyai nilai kepadatan sebesar 2,141 gr/cc atau mengalami penurunan sebesar 0,237 gr/cc ($\pm 9,966\%$).

Hal tersebut juga terjadi jika semua campuran berada pada kondisi aspal optimum yang sama, yaitu sebesar 6,65% atau sama dengan kadar aspal

optimum campuran standar (*filler* 100% abu batu), nilai-nilai pada masing-masing campuran itu dapat disebutkan :

- a. Dengan *filler* 100% abu batu, nilai kepadatannya = 2,378 gr/cc.
 - b. Dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen kepadatannya = 2,36 gr/cc, atau turun sebesar 0,018 gr/cc ($\pm 0,76\%$).
 - c. Dan dengan *filler* 100% abu grajen diperoleh kepadatan sebesar 2,18 gr/cc, terjadi penurunan sebesar 0,198 gr/cc atau $\pm 8,32\%$.
4. Penggantian abu batu dengan abu grajen juga akan mengakibatkan menurunnya nilai-nilai karakteristik campuran seperti stabilitas, karena campuran yang menggunakan abu batu mempunyai stabilitas pada kondisi aspal optimum sebesar 1150 kg, sedangkan jika menggunakan 100% abu grajen, stabilitasnya menurun menjadi 1013 kg atau menurun sebesar 137 kg ($\pm 11,9\%$). Demikian halnya terjadi pada *Marshall Quotient* (campuran dengan *filler* 100% abu batu = 231,6 kg/mm; campuran dengan *filler* 100% abu grajen = 215,6 kg/mm), terjadi penurunan sebesar 16 kg/mm atau $\pm 6,5\%$ dan VIM (campuran dengan *filler* 100% abu batu = 5,838%; campuran dengan *filler* 100% abu grajen = 1,663%) terjadi penurunan sebesar 4,175% atau $\pm 71,5\%$.
5. Sedangkan penambahan/pencampuran abu grajen ke dalam abu batu, walaupun dapat menurunkan dan bahkan bisa menaikkan nilai-nilai karakteristik campuran tetapi paling tidak nilai yang dihasilkan bisa mendekati nilai karakteristik campuran dengan *filler* 100% abu batu. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai stabilitas campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen yang sebesar 1139 kg (100% abu batu = 1150 kg), terjadi penurunan hanya sebesar 11 kg atau $\pm 0,96\%$. Demikian juga dengan beberapa nilai karakteristik yang lain :
- a. *Marshall Quotient* campuran dengan *filler* 100% abu batu = 231,6; dengan menggunakan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen = 242,9. Terjadi peningkatan sebesar 11,3 kg/mm atau $\pm 4,6\%$.
 - b. VMA pada campuran dengan *filler* abu batu mencapai 18,04%, sedangkan dengan menggunakan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen bisa mencapai 19,76 %. Terjadi peningkatan sebesar 1,72% atau $\pm 8,7\%$.
 - c. Demikian pula dengan nilai VIM, pada campuran dengan *filler* 100% abu batu adalah sebesar 5,838% dan jika dengan menggunakan *filler* 50%-50%

abu grajen sebesar 5,431%. Terjadi penurunan nilai VIM sebesar 0,407% atau $\pm 6,97\%$.

6. Dengan nilai karakteristik yang mendekati campuran dengan *filler* 100% abu batu, maka bisa dikatakan bahwa campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen mempunyai kekuatan yang hampir sama dengan campuran dengan *filler* 100% abu batu, namun untuk mencapai kekuatan tersebut, campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen membutuhkan kadar aspal yang lebih banyak yaitu pada kadar aspal optimum sebesar 6,85% terhadap total campuran.
7. Sedangkan jika diasumsikan bahwa nilai kadar aspal optimum untuk semua jenis campuran pada masing-masing komposisi *filler* adalah sama dengan kadar aspal optimum campuran standar (*filler* 100% abu batu = 6,65%), ternyata dengan perubahan *filler* menggunakan abu grajen juga terjadi perubahan nilai-nilai yang cukup signifikan, baik merupakan kenaikan maupun penurunan :

- a. Stabilitas

Didapatkan nilai-nilai stabilitas untuk masing-masing campuran : dengan *filler* 100% abu batu = 1150 kg, dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen = 1200 kg, mengalami kenaikan $\pm 4,167\%$ dan dengan *filler* 100% abu grajen = 1100 kg, mengalami penurunan sebesar $\pm 4,55\%$.

- b. Kelelehan/*Flow*

Dari perhitungan didapatkan nilai kelelehan : dengan *filler* 100% abu batu = 4,97 mm, dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen = 2,8 mm, mengalami penurunan sebesar $\pm 43,66\%$, dan dengan *filler* 100% abu grajen = 2,6 mm atau mengalami penurunan sebesar $\pm 47,69\%$.

- c. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient yang didapatkan dari pembacaan Tabel 4.6 dan Gambar 4.3., yaitu untuk masing-masing campuran : dengan *filler* 100% abu batu = 231,6 kg/mm, dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen = 380, mengalami kenaikan sebesar 148,4 kg/mm atau $\pm 39,05\%$, dan dengan *filler* 100% abu grajen = 350, mengalami kenaikan sebesar 118,4 kg/mm atau $\pm 33,83\%$.

- d. VMA

Nilai-nilai VMA yang didapatkan ternyata mengalami kenaikan pada penggunaan *filler* 100% abu grajen. Nilai untuk masing-masing campuran : dengan *filler* 100% abu batu = 18,04%, dengan *filler* 50% abu batu-50% abu

grajen = 17,5% atau mengalami penurunan $\pm 2,99\%$ dan dengan *filler* 100% abu grajen = 26,5% atau mengalami kenaikan sebesar $\pm 31,92\%$.

e. VIM

Nilai VIM yang didapatkan ternyata mengalami penurunan yang cukup drastis, yang lebih ekstrim terjadi pada campuran dengan *filler* 100% abu grajen yaitu 0,85% atau terjadi penurunan sebesar 85,44% terhadap nilai VIM campuran standar (*filler* 100% abu batu = 5,838%) dan juga nilai VIM untuk campuran 50% abu batu-50% abu grajen yaitu 3,2% atau terjadi penurunan sebesar $\pm 45,19\%$.

f. VFA

Untuk nilai-nilai VMA, ternyata terjadi kenaikan yang cukup signifikan, nilai terendah dicapai oleh campuran dengan *filler* 100% abu batu yaitu sebesar 67,64%, tertinggi dicapai oleh campuran dengan *filler* 100% abu grajen yaitu sebesar 97% atau mengalami kenaikan sebesar $\pm 30,27\%$, sedangkan untuk campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen mempunyai nilai VMA sebesar 82,5%, atau mengalami kenaikan $\pm 18,01\%$.

8. Nilai-nilai VIM untuk campuran dengan *filler* 100% abu grajen baik dengan kadar aspal optimum masing-masing maupun pada kadar aspal optimum yang sama, ternyata mendekati nilai-nilai VIM untuk campuran *rigid pavement*, sehingga jika digunakan untuk perkerasan lentur dikawatirkan akan terjadi *bleeding*.
9. Stabilitas sisa dari ketiga macam campuran dengan komposisi *filler* 100% abu batu, 50% abu batu-50% abu grajen, 100% abu grajen bisa memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Puslitbang Kimpraswil (Bina Marga) yaitu sebesar 85%.
10. Dengan stabilitas sisa yang tinggi, maka dapat dikatakan bahwa campuran yang dibuat ternyata mempunyai durabilitas yang tinggi, terutama untuk campuran dengan *filler* 50% abu batu-50% abu grajen.
11. Abu grajen tidak dapat menggantikan abu batu dengan sepenuhnya atau dengan kata lain menggantikan 100% abu batu dengan 100% abu grajen, baik dengan menggunakan perhitungan kadar aspal optimum yang sama (6,65%), maupun dengan kadar aspal optimum yang berbeda-beda, juga baik dengan pertimbangan nilai ekonomis maupun pertimbangan secara teknis yang menyangkut nilai-nilai

struktur dari suatu campuran, terutama jika campuran tersebut diaplikasikan pada perkerasan yang digunakan untuk lalu lintas berat.

5.2.SARAN

Setelah mencermati kesimpulan-kesimpulan di atas, maka dapat dituliskan beberapa saran sebagai berikut :

1. Karakteristik campuran yang menggunakan *filler* 100% abu grajen ternyata tidak bisa memiliki nilai yang baik dibanding dua jenis campuran yang lain (terutama *filler* 100% abu batu sebagai pembanding), sehingga penggunaan *filler* abu grajen untuk menggantikan *filler* abu batu untuk lalu lintas berat tidak dianjurkan. Tetapi *filler* 100% abu grajen mungkin masih bisa digunakan, asalkan tidak digunakan untuk lalu lintas berat karena dengan kadar aspal yang cukup besar dan dengan nilai struktur yang rendah akan mengakibatkan campuran akan mengalami *bleeding* dan kerusakan dini. Jadi mungkin pada lalu lintas ringan (misal : jalan perumahan, jalan kampung, dan lain-lain) masih bisa diterapkan.
2. Namun begitu untuk menghemat dalam penggunaan abu batu, bisa dilakukan pencampuran abu batu dengan abu grajen, dalam penelitian ini hanya diteliti dengan kadar sama besar yaitu 50%-50%. Tetapi pencampuran tersebut ternyata tidak bisa menurunkan kadar aspal optimum.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan komposisi *filler* abu batu dan abu grajen yang berbeda-beda, misalkan dengan menggunakan kadar *filler* antara abu batu dengan abu grajen dengan komposisi masing-masing jenis *filler* : 75%-25%; 25%-75%; 80%-20% dan sebagainya, sehingga didapatkan campuran dengan nilai karakteristik dan kadar aspal yang mirip dengan campuran standar (campuran dengan *filler* abu batu).
4. Demikian pula perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan pengujian yang lainnya, misalkan : uji untuk mendapatkan stabilitas dinamis dengan menggunakan alat *Whell Tracking*, Uji Durabilitas untuk mengukur ketahanan perkerasan terhadap air, Uji *Indirect Tensile* untuk mendapatkan *Indirect Tensile Strength*, regangan tarik dan regangan tekan, Uji Permeabilitas untuk melihat kemampuan benda uji dalam menyerap air serta uji-uji yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. AASHTO, (1990), *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*, Part I Specifications, 15th Edition, AASHTO Publication, Washington.
2. AASHTO, (1990), *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*, Part II Testing, 15th Edition, AASHTO Publication, Washington.
3. Anonim, (1975), *British Standard (BS). 812: Method for Sampling and Testing of Mineral Agregates, Sands and Fillers*, 1st Edition, British Standard Institution, London.
4. Anonim, (1980), *Annual Book of ASTM Standards*, part 15 Road Paving, American Society for Testing and Materials, US.
5. Anonim, (1992), *British Standard (BS). 594: Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas*, Part 1: Spesifications for Constituent Material and Asphalt Mixtures, 2nd Edition, British Standard Institution, London.
6. Anonim, (1992), *British Standard (BS). 594: Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas*, Part 2: Spesifications for The Transport, Laying and Compaction Rolled Asphalt, 2nd Edition, British Standard Institution, London.
7. Anonim, (1999), *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*, No. 023/T/BM/1999, Puslitbang Jalan, Bandung.
8. Anonim, (2001), *Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas*, Edisi Agustus, Puslitbang Jalan, Bandung.
9. Hunter, R. N., (1994), *Bituminous Mixtures in Road Construction*, 1st Edition, Thomas Telford Services Ltd., London.

10. Hendarsin, S. L., (2000), *Perencanaan Teknik Jalan Raya*, Cetakan Pertama, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri, Bandung.
11. Krebs, R. D. & Walker, R. D., (1971), *Highway Materials*, McGraw-Hill Book Company Inc, United States.
12. Mulyono, A.T., (1996), *Pengaruh Variasi Jenis dan Kadar Filler Terhadap Stabilitas, Fleksibilitas dan Tingkat Durabilitas HRS (HOT Rolled Sheet) Kelas B*, Media Teknik, No.3, Edisi November, UGM, Yogyakarta.
13. Priyatno, B., (2001), *Perkembangan Teknologi Perkerasan Jalan*, Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil, Pusat Pengembangan Perguruan Tinggi Swasta, Kopertis Wilayah VI, Jawa Tengah.
14. Sentosa, L., (2001), *Kinerja Laboratorium Campuran Hot Rolled Asphalt Dengan Abu Sawit Sebagai Filler*, Tesis Magister, STJR-ITB, Bandung.
15. Shell, (1990), *Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen, UK.
16. Siswosoebrotho, B.I. & Wibowo, S.S., (2001), *Kajian Laboratorium Penggunaan Material Vulkanik (Kasus Pasir Galunggung) Dalam Campuran Beraspal*, Simposium FSTPT ke-4, Udayana, Bali.
17. Sukirman, S. (1999), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung
18. Wenan, A. H., (1994), *Pengaruh Jenis Filler pada Sifat Campuran Hot Rolled Asphalt*, Tesis Magister, STJR-ITB, Bandung.
19. Yasruddin, (2000), *Kinerja Laboratorium pada Hot Rolled Asphalt dengan Kandungan Batu Bata yang Dihaluskan Sebagai Filler*, Tesis Magister, STJR-ITB, Bandung.