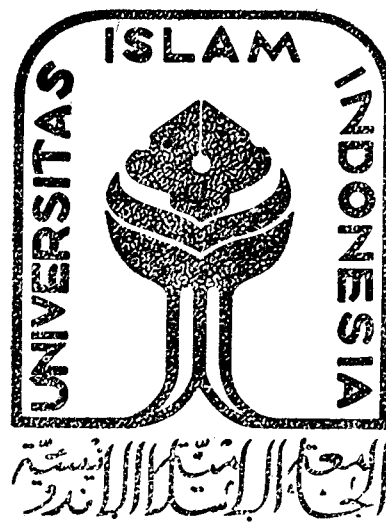


**TUGAS AKHIR
PENELITIAN
PENGARUH VARIASI JENIS DAN KADAR FILLER
TERHADAP
PERILAKU CAMPURAN "HOT ROLLED SHEET" ("HRS")**



Disusun oleh :

RINTA FRISTIANA

No. Mhs. : 87 310 056

NIRM : 875014330052

BAMBANG BUDI HARSONO

No. Mhs. : 83 310 122

NIRM : 83501433110

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

1993

**TUGAS AKHIR
PENELITIAN
PENGARUH VARIASI JENIS DAN KADAR FILLER
TERHADAP
PERILAKU CAMPURAN "HOT ROLLED SHEET" ("HRS")**

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka
Memperoleh Derajat Sarjana Pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**

Disusun oleh :

RINTA FRISTIANA

No. Mhs. : 87 310 056

NIRM : 875014330052

BAMBANG BUDI HARSONO

No. Mhs. : 83 310 122

NIRM : 83501433110

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

1993



Walaupun
pernah terasa begitu berat
namun
hati tetap bersekukuh,
apa yang telah kumulai,
harus kuselesaikan.
Dan ketika
telah dapat bernafas lega,
syukur
kulambungkan
kepadaNya,
terima kasih
kusenyumkan tulus
untuk semuanya.

Karya ini
kupersembahkan untuk
Ayah bundaku,
kekasihku,
adik-adikku,
kakakku,
pembimbing-pembimbingku,
orang tua-orang tuaku,
saudara-saudaraku,
sahabat-sahabat sehatiku,
dan semua nama dihatiku
yang kusertakan dalam
doa-doaku.

DATA PENULIS

Nama : Rinta Fristiana
Tempat/Tanggal Lahir : Yogyakarta, 23 September 1967
Nomor Mahasiswa : 87310056
Angkatan Tahun : 1987
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Variasi Jenis Dan Kadar
Filler Terhadap Perilaku Campuran
"Hot Rolled Sheet" ("HRS")
Alamat : Jl. Deresan III/16
Yogyakarta 55281

PENDIDIKAN

- a. Lulus SD Negeri Jalan Serayu II Yogyakarta Tahun 1980
- b. Lulus SMP Negeri V Yogyakarta Tahun 1983
- c. Lulus SMA Negeri I Yogyakarta Tahun 1987

ORANG TUA

- a. Nama : Drs. H. Soemardjo
- b. Pekerjaan : Dosen FPTK IKIP Yogyakarta
- c. Alamat : Jl. Deresan III/16 Yogyakarta 55281

PENGALAMAN KERJA

- a. --
- b. --



Yogyakarta, November 1993

Penulis

(Rinta Fristiana)

DATA PENULIS

Nama : Bambang Budi Harsono
Tempat/Tanggal Lahir : Banjarmasin, 22 Desember 1963
Nomor Mahasiswa : 83310122
Angkatan Tahun : 1983
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Variasi Jenis Dan Kadar
Filler Terhadap Perilaku Campuran
"Hot Rolled Sheet" ("HRS")
Alamat : Jl. MT. Haryono 43 Yogyakarta

PENDIDIKAN

- a. Lulus SD Islam Teladan Pulogadung Jakarta Timur Tahun 1976
- b. Lulus SMP Negeri 90 Jakarta Timur Tahun 1980
- c. Lulus SMA Negeri 21 Jakarta Timur Tahun 1983

ORANG TUA

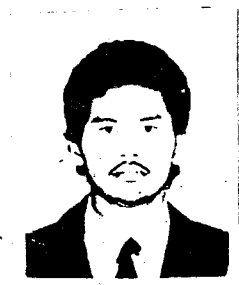
- a. Nama : H. Hadi Suyono
- b. Pekerjaan : ABRI TNI ANGKATAN DARAT
- c. Alamat : Jl. Taruna II no.9 Jatinegara Baru Jakarta Timur

PENGALAMAN KERJA

- a. --
- b. --

Yogyakarta, November 1993

Penulis



(Bambang Budi Harsono)

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
INTISARI	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Faedah Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 "Hot Rolled Sheet"	6
2.2 Bahan Pengisi (Filler)	7
2.3 Stabilitas	9
2.4 Fleksibilitas	9
2.5 Modulus Kekakuan	10
2.5.1 Kekakuan Bitumen ("Bitumen Stiffness")	10
2.5.2 Kekakuan Campuran ("Mix Stiffness")	14
2.6 Koefisien Kekuatan Relatif	18
BAB III LANDASAN TEORI	20
3.1 Perkerasan Jalan	20
3.2 Bahan Perkerasan	23
3.3 Karakteristik Perkerasan	30
3.4 Kadar Aspal Dalam Campuran	32
3.5 "Hot Rolled Sheet"	33
BAB IV HIPOTETIS	35



BAB V METODA PENELITIAN	36
5.1 Bahan	36
5.1.1 Asal Bahan	36
5.1.2 Persyaratan Dan Pengujian Bahan ..	36
5.1.3 Hasil Pengujian Bahan	42
5.2 Pengujian Benda Uji Campuran "HRS"	43
5.2.1 Peraturan Yang Digunakan	43
5.2.2 Prosedur Pengujian Laboratorium ..	44
5.3 Anggapan Dasar	49
5.4 Cara Analisis	50
5.5 Kesulitan-Kesulitan Dan Penyelesaiannya..	54
BAB VI HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	56
6.1 Hasil Penelitian	56
6.2 Pembahasan	58
6.2.1 Pengaruh Penggunaan Jenis Dan Kadar Filler Terhadap Benda Uji	59
6.2.2 Evaluasi Hasil Laboratorium Terhadap Spesifikasi	75
6.2.3 Evaluasi Modulus Kekakuan Bitumen (S bit) Yang Digunakan	76
6.2.4 Evaluasi Modulus Kekakuan Campuran (S mix)	78
6.2.5 Pengaruh Variasi Jenis Dan Kadar Filler Terhadap Koefisien Kekuatan Relatif Berdasar AASHO 1972	83
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	86
7.1 Kesimpulan	86
7.2 Saran	88
PENUTUP	89
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

		Hal.
Tabel 5.1	Spesifikasi Gradasi Mineral Filler	39
Tabel 5.2	Persyaratan Agregat Kasar Dan Hasil Pengujian Laboratorium	42
Tabel 5.3	Persyaratan Agregat Halus Dan Hasil Pengujian Laboratorium	42
Tabel 5.4	Persyaratan Aspal AC 60 - 70 Dan Hasil Pengujian Laboratorium	43
Tabel 5.5	Spesifikasi Gradasi Campuran Agregat "HRS" B	45
Tabel 5.6	Angka Koreksi Tebal Benda Uji	53
Tabel 6.1	Hasil Tes Marshall Untuk Jenis Filler Abu Batu	56
Tabel 6.2	Hasil Tes Marshall Untuk Jenis Filler Semen	57
Tabel 6.3	Spesifikasi "HRS" Kelas B	57
Tabel 6.4	Jenis Filler Abu Batu	58
Tabel 6.5	Jenis Filler Semen	58
Tabel 6.6	Benda Uji Yang Memenuhi Spesifikasi Dengan Filler Abu Batu	75
Tabel 6.7	Benda Uji Yang Memenuhi Spesifikasi Dengan Filler Semen	76
Tabel 6.8	Hasil Hubungan Kekakuan Bitumen Dengan Nomogram Dan Formula T R&B = 53,73 °C	77
Tabel 6.9	Koefisien Kekuatan Relatif Campuran ...	83

DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 2.1	Nomogram Untuk Menetapkan Kekakuan Bitumen (S bit)	11
Gambar 2.2	Nomogram Penentuan Kekakuan Campuran	18
Gambar 2.3	Grafik Penentuan Koefisien Kekuatan Relatif Berdasarkan Marshall Stability (lbs).....	19
Gambar 3.1	Susunan Lapis Keras Pada Perkerasan Lentur	21
Gambar 3.2	Grafik Spesifikasi Gradasi Agregat "HRS" B.....	25
Gambar 6.1	Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan Density.	61
Gambar 6.2	Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan VITM	64
Gambar 6.3	Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan VFWA	67
Gambar 6.4	Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan Stabilitas	70
Gambar 6.5	Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan "Flow".....	72
Gambar 6.6	Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan QM	74

Gambar 6.7	Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan S _{mix} T = 30 °C S _{bit} = 4500000 N/m ²	79
Gambar 6.8	Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan S _{mix} T = 30 °C S _{bit} = 5600000 N/m ²	80
Gambar 6.9	Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan S _{mix} T = 35 °C S _{bit} = 2000000 N/m ²	81
Gambar 6.10	Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan S _{mix} T = 35 °C S _{bit} = 3000000 N/m ²	82

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Pemeriksaan Keausan dengan Mesin Los Angeles
- Lampiran 2. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar
- Lampiran 3. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus
- Lampiran 4. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Keras dan Pemeriksaan Kehilangan Berat
- Lampiran 5. Pemeriksaan Penetrasi, dan Pemeriksaan Penetrasi Setelah Kehilangan Berat
- Lampiran 6. Pemeriksaan Titik Nyala, dan Pemeriksaan Titik Lembek
- Lampiran 7. Pemeriksaan Daktilitas, Pemeriksaan Kelekatkan Aspal
- Lampiran 8. Pemeriksaan Kelarutan Dalam CCL₄, dan Pemeriksaan "Sand Equivalent"
- Lampiran 9. Tabel Kalibrasi Alat Untuk Mencari Nilai Stabilitas
- Lampiran 10. Tabel Kalibrasi Alat Untuk Mencari Nilai Stabilitas Lanjutan
- Lampiran 11. Tabel Gradasi Agregat Untuk Mencari Kadar Aspal Optimum
- Lampiran 12. Tabel Hasil Pengujian Marshall untuk Kadar Aspal Optimum
- Lampiran 13. Gambar Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum
- Lampiran 14. Tabel Hasil Pengujian Marshall Variasi Kadar Filler - Jenis Filler Abu Batu
- Lampiran 15. Tabel Hasil Pengujian Marshall Variasi Kadar Filler - Jenis Filler Semen
- Lampiran 16. Tabel Hasil Perhitungan S mix
- Lampiran 17. Tabel Hasil Perhitungan S mix Lanjutan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini, negara Indonesia sedang giat-giatnya membangun. Pelaksanaan pembangunan meliputi segala bidang, termasuk juga pembangunan disektor transportasi, khususnya pembangunan jalan.

Jalan sebagai prasarana transportasi sangat dibutuhkan sekali guna memperlancar hubungan dan perdagangan antar daerah. Dengan lancarnya hubungan dan perdagangan suatu daerah maka akan meningkatkan perkembangan perekonomian daerah tersebut, dan akhirnya akan meningkatkan pula perkembangan pada bidang-bidang lainnya. Hal ini sangat disadari oleh pemerintah, untuk itu pemerintah pada saat ini sangat giat membangun jalan, baik dalam bentuk membuka jalan baru maupun meningkatkan jalan lama dari segi kualitas dan fungsi.

Banyak ragam lapis keras jalan yang digunakan di Indonesia. Salah satunya ialah "HRS" ("Hot Rolled Sheet"). "HRS" sudah sering digunakan di Indonesia. "Hot Rolled Sheet" merupakan pengembangan dari "HRA" ("Hot Rolled Asphalt"), yang pada mulanya dikembangkan di negara beriklim dingin (Inggris). Penggunaan "HRS" sebagai lapis atas suatu perkerasan jalan di Indonesia dimana mempunyai kondisi bahan batuan, bitumen dan iklim

yang berbeda dengan negara asal "HRA", ternyata banyak menimbulkan permasalahan.

Permasalahan tersebut muncul dapat disebabkan oleh karena proses pelaksanaan konstruksi yang tidak sempurna ataupun karena perencanaan campuran yang tidak disesuaikan dengan kondisi Indonesia . Untuk mengatasi kelemahan konstruksi "HRS" tersebut diatas, perlu kiranya kajian yang rinci terhadap kedua faktor penyebab seperti tersebut diatas.

Kualitas "HRS" sangat dipengaruhi oleh bahan penyusunnya yaitu berupa agregat dan aspal. "HRS" sebagai lapis keras permukaan jalan mempunyai kadar aspal yang cukup tinggi, sehingga karakteristik "HRS" dipengaruhi oleh kualitas aspal yang digunakan.

Selain itu untuk mendapatkan lapis keras "HRS" yang baik diperlukan pemilihan agregat yang baik pula, sehingga nilai stabilitasnya tinggi. Agregat yang baik ditinjau dari sifat fisik adalah berbentuk angular atau bersudut banyak, bertekstur kasar sehingga kekekatannya dengan aspal baik. Agregat seperti ini biasanya didapat dari pemecahan batu alam dengan alat "Stone Crusher".

Satu lagi faktor yang juga penting untuk memperbaiki stabilitas campuran "HRS" yaitu dengan menambahkan filler/bahan pengisi pada campuran tersebut. Filler adalah bahan batuan yang relatif lebih mahal dibandingkan agregat kasar. Namun demikian agar didapat lapis

keras yang sesuai dengan persyaratan, pemakaian filler perlu digunakan. Dengan diketahuinya berapa kadar dan jenis filler yang tepat untuk ditambahkan pada campuran, diharapkan akan dapat dihasilkan lapis keras "HRS" yang baik dan berkualitas tinggi.

Berdasar dari kenyataan tersebut di atas, penyusun ingin meneliti pengaruh penggunaan variasi jenis dan kadar filler terhadap kelakuan campuran "HRS" dengan bahan susun lokal (Indonesia).

Dari penelitian ini diharapkan akan didapatkan kadar dan jenis mineral filler dalam campuran "HRS" yang memberikan hasil terbaik yang dapat mengurangi kelemahan-kelemahan yang ada pada pelaksanaan pembangunan perkerasan jalan selama ini.

1.2. Faedah Penelitian

Pembangunan konstruksi jalan memerlukan biaya yang tidak sedikit, harga per meter panjang jalan adalah sangat mahal. Apabila ternyata konstruksi jalan yang dibuat tidak memiliki karakteristik seperti apa yang diinginkan menyebabkan stabilitas, kenyamanan dan keamanan bagi lalulintas kendaraan yang lewat tidak memadai. Kerusakan akan cepat terjadi dan umur konstruksi memendek, sehingga perbaikan dan pemeliharannya akan memerlukan biaya yang cukup besar. Akibat lebih lanjut harga pera-

watan konstruksi menjadi lebih mahal dari perencanaan awal.

Untuk memperoleh konstruksi jalan yang memenuhi syarat sesuai dengan kebutuhan serta kondisi alam, maka sebelum melakukan pembangunan konstruksi jalan perlu dilakukan pengkajian, pertimbangan, serta perencanaan yang matang dan cermat. Selain itu perlu juga adanya pengawasan pelaksanaan yang ketat dan terus menerus, baik pada kualitas bahan maupun pelaksanaan konstruksi. Pengawasan konstruksi merupakan kegiatan pengujian terhadap hasil kerja di laboratorium dan pengawasan langsung di lapangan. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan di laboratorium.

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan akan didapatkan jenis dan kadar mineral filler dalam campuran "HRS" yang memberikan hasil terbaik. Dengan demikian nantinya dapat diusahakan pembuatan lapis keras dengan tipe "Hot Rolled Sheet" yang mempunyai kualitas tinggi.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- a) mengetahui pengaruh dari penambahan kadar filler oleh dua jenis filler yang masih memberi/menghasilkan campuran "HRS" dengan karakteristik yang sesuai dengan syarat-syarat yang ditentukan oleh Bina Marga.

b) Mengetahui pengaruh jenis dan kadar filler terhadap nilai modulus kekakuan (E) dan koefisien kekuatan relatif (α) campuran "HRS".

Diharapkan dengan adanya penelitian ini akan dapat memberikan sumbangan pemikiran pada pekerjaan sesungguhnya di lapangan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. "Hot Rolled Sheet"

"Hot Rolled Sheet" atau lebih dikenal dengan lapis tipis beton aspal merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan secara panas ("hot mix"). Bitumen (aspal) yang sering digunakan adalah jenis aspal keras penetrasi 60 atau 80 (Bina Marga, 1983).

Campuran "HRS" dengan gradasi timpang mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar sehingga mampu menyerap aspal dalam jumlah banyak (7 - 8 %) tanpa terjadi "bleeding". Keadaan ini yang menyebabkan lapis keras "HRS" mempunyai sifat-sifat lentur dan durabilitas tinggi. Selain itu "HRS" mudah dipadatkan sehingga lapisan yang dihasilkan mempunyai kedekatan terhadap air dan udara cukup tinggi (Cox John B., 1982)

"HRS" sebagai lapis permukaan dianggap tidak mempunyai nilai struktural. Kemampuan "HRS" dalam menahan beban lalu lintas ditentukan oleh kekuatan mortar. Mortar adalah bahan pembentuk utama "HRS" yang terdiri dari: agregat halus (pasir), agregat pengisi (filler) dan bitumen (aspal). Pemakaian agregat kasar dalam campuran, jumlahnya ditentukan oleh ketebalan padat lapisan yang

direncanakan (2,5 - 3,0 cm), yaitu antara 0 - 30 % dari jumlah berat total campuran (Kemas Ahmad Zamhari, 1982).

Stabilitas "HRS" tidak ditentukan oleh agregat kasar tetapi tergantung pada kekakuan dari mortar dengan cara saling mengunci ("Interlocking") antar agregat halus. Hal ini karena kedudukan agregat kasar seolah-olah mengambang di dalam mortar, maka deformasi yang terjadi adalah deformasi dari mortar. Agregat halus adalah bagian terbanyak penyusun mortar. Karena itu, nilai stabilitas campuran sangat dipengaruhi oleh kualitas agregat halus (Briend. D, 1978).

2.2. Bahan Pengisi (Filler)

Filler adalah sekumpulan mineral agregat yang umumnya lolos saringan no 200. Filler akan mengisi rongga diantara partikel agregat kasar dalam rangka mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari massa tersebut. Rongga udara pada agregat kasar diisi dengan partikel lolos saringan nomor 200, sehingga membuat rongga udara lebih kecil dan kerapatan massanya lebih besar (David G.Tunnickliff, 1962).

Mineral filler merupakan salah satu faktor penentu terhadap stabilitas, keawetan dan sifat mudah dikerjakan dari campuran beton aspal (Heukelom, 1965).

Dalam hal ini, mineral filler didefinisikan sebagai bagian agregat halus yang lolos saringan nomor 200 minimum 65% (Spesifikasi ASTM, 1963).

Kelompok mineral filler dalam campuran beton aspal yang mempunyai partikel dengan diameter lebih besar dari ketebalan selaput bitumen pada permukaan batuan akan memberikan pengaruh pada saling kunci antar agregat. Sedangkan kelompok yang lain, yaitu partikel yang mempunyai diameter lebih kecil dari selaput bitumen akan tersuspensi dalam selaput bitumen tersebut. Bagian mineral filler yang tersuspensi ini akan mempengaruhi perilaku sistem filler - bitumen (Dukatz. e.l. ,1978).

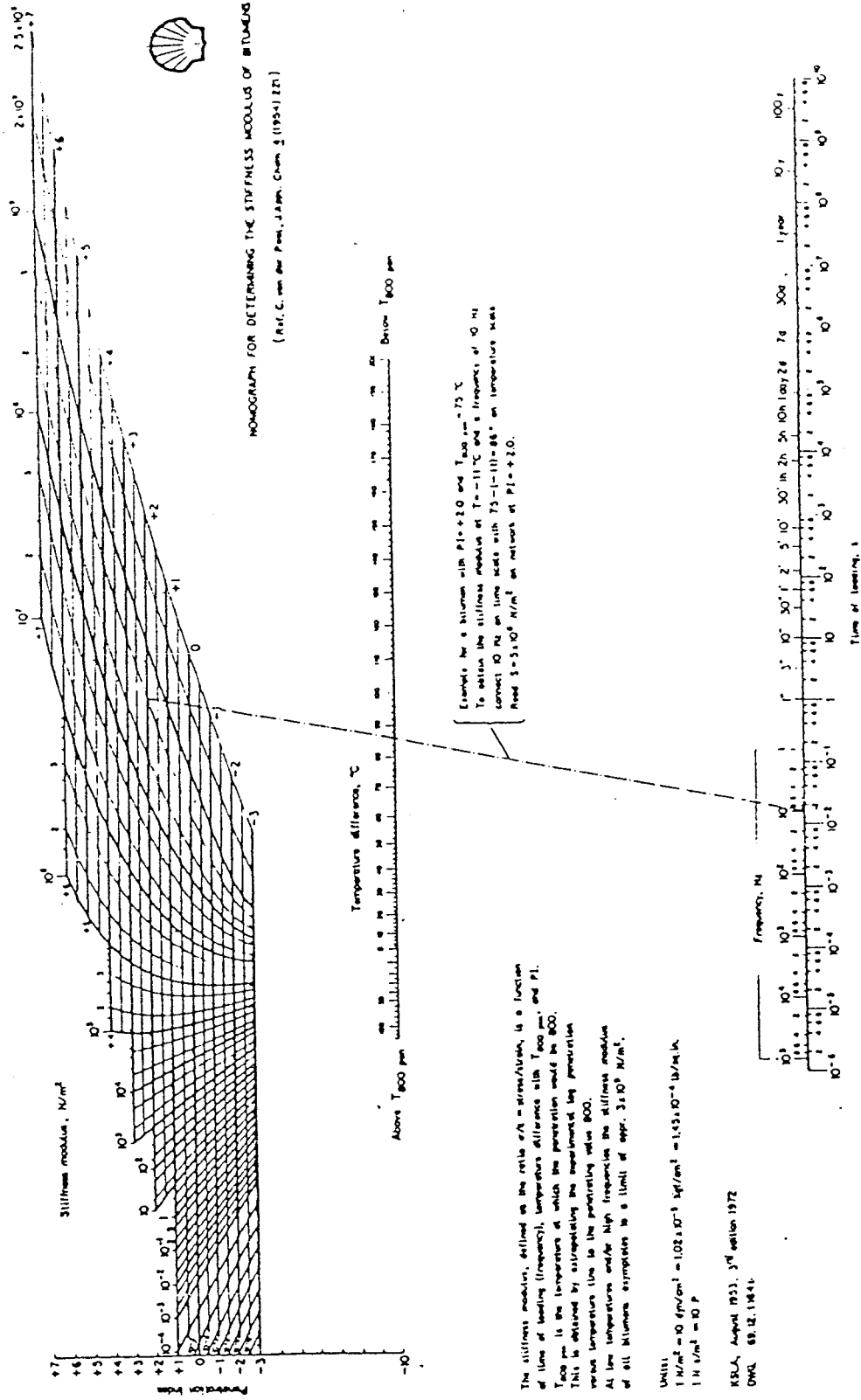
Butir pengisi yang dipakai dalam pengujian ini:

a. Semen Portland :

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

b. Abu Batu :

Abu batu merupakan hasil samping produksi pemecah batu "stone crusher". Kualitas batu sangat tergantung dari kualitas bahannya, untuk idealnya abu batu yang dipakai adalah hasil dari batuan yang kuat dan keras.



Gambar 2.1. Nomogram untuk menetapkan kekakuan bitumen (Sb).
 Sumber : An Introduction to the Analytical Design of Bituminous Pavements, SF Brown and Janet M. Brunton.



2.3. Stabilitas

Stabilitas adalah ketahanan untuk melawan deformasi karena beban lalulintas. Pada beberapa penelitian menjelaskan, bahwa elemen stabilitas yang terpenting adalah ketahanan gesekan, yang tergantung dari kualitas agregat. Ketahanan gesekan berhubungan langsung dengan luas permukaan partikel yang saling bersentuhan dan bentuk permukaannya. Bentuk permukaan agregat yang kasar mempunyai ketahanan gesek lebih besar daripada permukaan agregat yang halus. Dengan bantuan bahan ikat yang berupa aspal dapat memberikan sifat kohesi yang menambah stabilitas. Kekuatan kohesi tergantung dari luas permukaan agregat yang diselimuti aspal dan viskositas aspal itu sendiri. Kekuatan kohesi akan bertambah sesuai dengan pertambahan jumlah aspal hingga seluruh permukaan agregat terselimuti dengan baik oleh lapisan aspal, dan kekuatan kohesi juga bertambah pada permukaan partikel yang kasar. Setelah jumlah (kadar) aspal mencapai nilai optimum, penambahan jumlah aspal akan berakibat menurunnya kekuatan kohesi, yang akhirnya akan menurunkan nilai stabilitas (Krebs RD, Walker RD, 1971).

2.4. Fleksibilitas

Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan untuk menyesuaikan diri terhadap keadaan sekeliling tanpa terjadi perubahan yang mendadak.

Lapis keras dengan gradasi timpang akan mempunyai fleksibilitas yang lebih tinggi daripada lapis keras kaku maupun lapis keras dengan gradasi rapat/menerus. Oleh karena itu lapis keras "HRS" mempunyai fleksibilitas yang tinggi atau memiliki nilai "Marshall Quotient" kecil. Dengan sifat fleksibel (lentur) yang tinggi "HRS" sangat cocok untuk digunakan pada jalan yang mempunyai "subgrade" (tanah dasar) jelek, misal tanah dengan kem-
bang susut yang besar. Selain itu dengan fleksibilitas yang tinggi maka kerusakan lapis keras yang berupa "cracking" (retak-retak) dapat dihindari (Cox John B. ,1982).

2.5 Modulus Kekakuan

2.5.1. Kekakuan bitumen ("Bitumen Stiffness")

Kekakuan bitumen adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada bitumen yang besarnya tergantung temperatur dan lama pembebanan yang diterapkan. Nilai kekakuan bitumen dapat ditentukan dengan nomogram Van der Poel seperti pada gambar 2.1, dengan memerlukan data sebagai berikut :

- 1) Temperatur rencana perkerasan (T) dalam ($^{\circ}\text{C}$)
- 2) Titik lembek atau "Softening Point" (SPr) dari tes "Ring and Ball" ($^{\circ}\text{C}$)
- 3) Waktu pembebanan (t) dalam (detik) yang tergantung pada kecepatan kendaraan.
- 4) "Penetration Index" (PI)

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

$$t = \frac{S}{V} \text{ detik} \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

V = kecepatan kendaraan dalam km/jam.

S = panjang tapak roda dalam m.

Ada suatu cara lain untuk menghitung lama pembebanan suatu perkerasan yang diformulakan sebagai berikut:

$$\log (t) = 5 \times 10^{-4} x h - 0,2 - 0.94 \times \log (V) \dots (2)$$

dengan h = tebal perkerasan

V = kecepatan kendaraan dalam km/jam

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

$$PI = \frac{1951.4 - 500 \log P_r - 20 SPr}{50 \log Pr - SPr - 120.14} \dots\dots\dots (3)$$

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

$$Pr = 0.65 P_i \dots\dots\dots (4)$$

$$SPr = 98.4 - 26.35 \log Pr \dots\dots\dots (5)$$

dengan :

Pi : Penetrasi bitumen dalam kondisi asli (0.1 mm)

Pr : Penetrasi bitumen dalam kondisi dihamparkan (0.1 mm)

SPr : Temperatur titik lembek dari bitumen dalam kondisi dihamparkan (dalam °C)

Karena kebanyakan hitungan perencanaan berdasarkan pada karakteristik bitumen terhadap penetrasi awalnya, maka substitusi dari persamaan (4) dan (5) ke dalam (3) memberikan persamaan untuk "Penetration Index" dalam kondisi dihamparkan sebagai berikut :

$$PI = \frac{27 \log Pi - 21.65}{76.35 \log Pi - 232.82} \dots\dots\dots (6)$$

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

$$Sb = 1.157 \times 10^{-7} \times t^{-0.368} \times 2.718^{-PI} \times (SPr-T)^5 \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

Sb : "Stiffness bitumen" dalam MPa

t : Waktu pembebanan, detik

PI : "Penetration Index"

SPr : temperatur titik lembek, °C

T : temperatur perkerasan, °C

Persamaan tersebut di atas dapat digunakan jika memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$0.01 < t < 0.1$$

$$-1 < P_{Ir} < 1$$

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

2.5.2. Kekakuan Campuran ("Mix Stiffness")

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

1. Metode Shell

Untuk mencari modulus campuran "HRS" digunakan nomogram seperti pada gambar 2.2 dan dikonversikan nilai ini ke modulus kekakuan campuran. Pada metode ini diperlukan data-data sebagai berikut:

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

Prosentase volume bahan pengikat dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_b = \frac{(100 - V_v) (MB/G_b)}{(MB/G_b) + (MA/G_a)} \dots\dots\dots(8)$$

Kadar pori dalam campuran padat dihitung dengan persamaan :

$$V_v = \frac{(\tau_{max} - \tau_m) \times 100}{\tau_{max}} \dots\dots\dots(9)$$

dengan

$$\tau_{max} = \frac{100 \times \tau_w}{(MB/G_b) + (MA/G_a)} \dots\dots\dots(10)$$

Selanjutnya dapat dihitung nilai VITM agregat dengan persamaan :

$$VMA = V_b + V_v \dots\dots\dots(11)$$

dan

$$V_v + V_b + V_g = 100 \% \dots\dots\dots(12)$$

dengan :

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

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

Ga = Berat jenis campuran agregat

Gb = Berat jenis bahan ikat bitumen

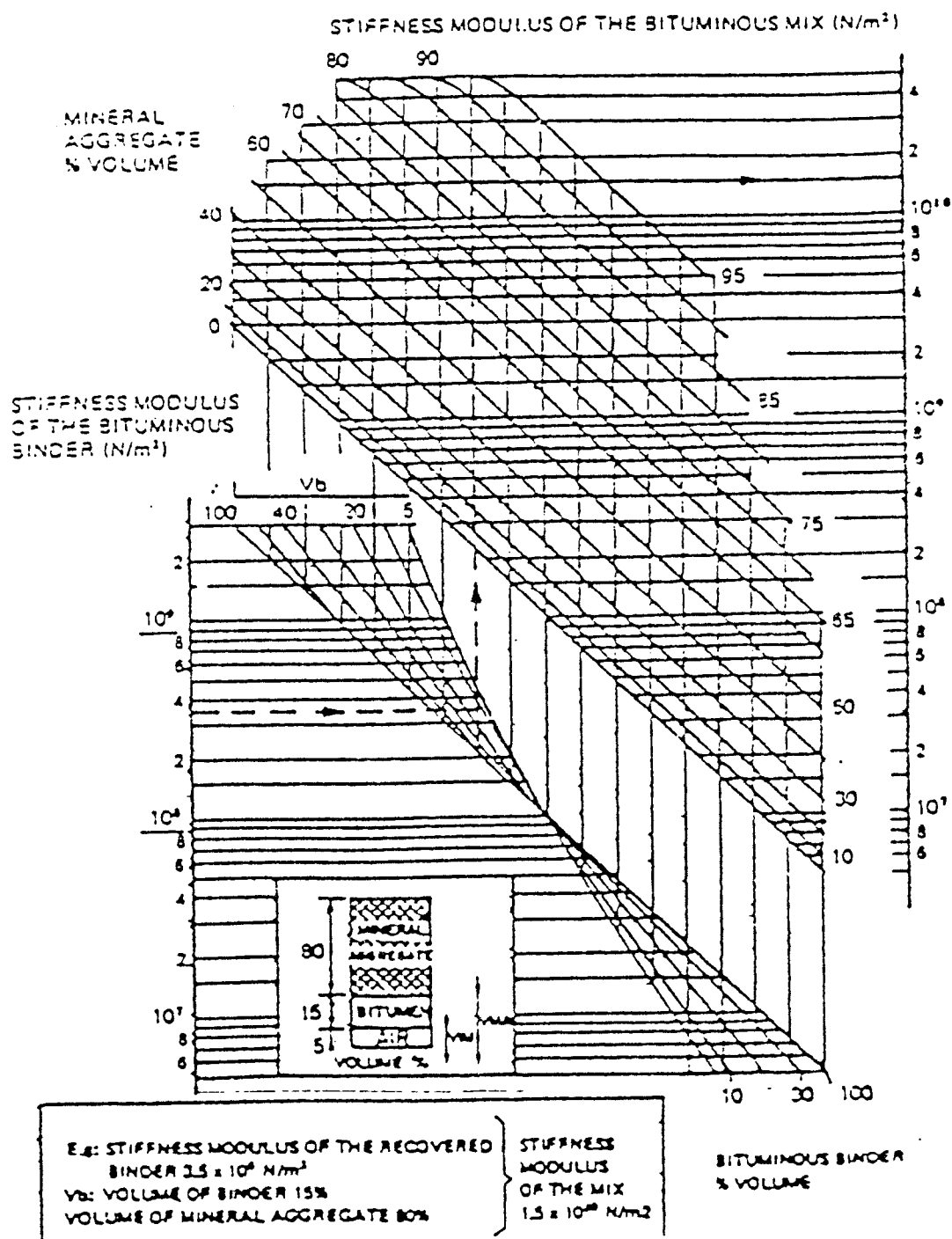
τ_m = Berat volume campuran padat (kg/m^3)

τ_w = Berat volume air (kg/m^3)

Vg = prosentase Volume agregat

Vb = Prosentase volume bitumen

Vv = Prosentase volume pori



Gambar 2.2. Nomogram penentuan kekakuan campuran
 Sumber : SHEEL Pavement Design Manual (1978)



2. Metode Heukelom and Klomp (1964)

Disini diberikan formula untuk mencari nilai kekakuan campuran.

$$S_{\text{mix}} = S_{\text{bit}} \left[1 + \frac{2.5}{n} \times \frac{C_v}{1-C_v} \right]^n \dots (13)$$

dengan $n = 0,83 \text{ Log } (4 \times 10^{10} / S_{\text{bit}})$

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

$S_{\text{bit}} = \text{bitumen modulus (N/m}^2\text{)}$

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

$$C_v = \frac{V_G}{V_G + V_B} \dots (14)$$

dengan $V_G = \text{prosentase volume agregat padat}$

$V_B = \text{prosentase volume bitumen}$

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

$$C_v' = \frac{C_v}{1 + 0.01 (V_v - 3.0)} \dots (15)$$

dengan $C_v' = \text{modifikasi volume agregat}$

$V_v = \text{volume rongga udara dalam campuran}$

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

$$C_b > 2/3 (1 - C_v') \dots\dots\dots(16)$$

$$C_b = \frac{V_B}{V_G + V_B} \dots\dots\dots (17)$$

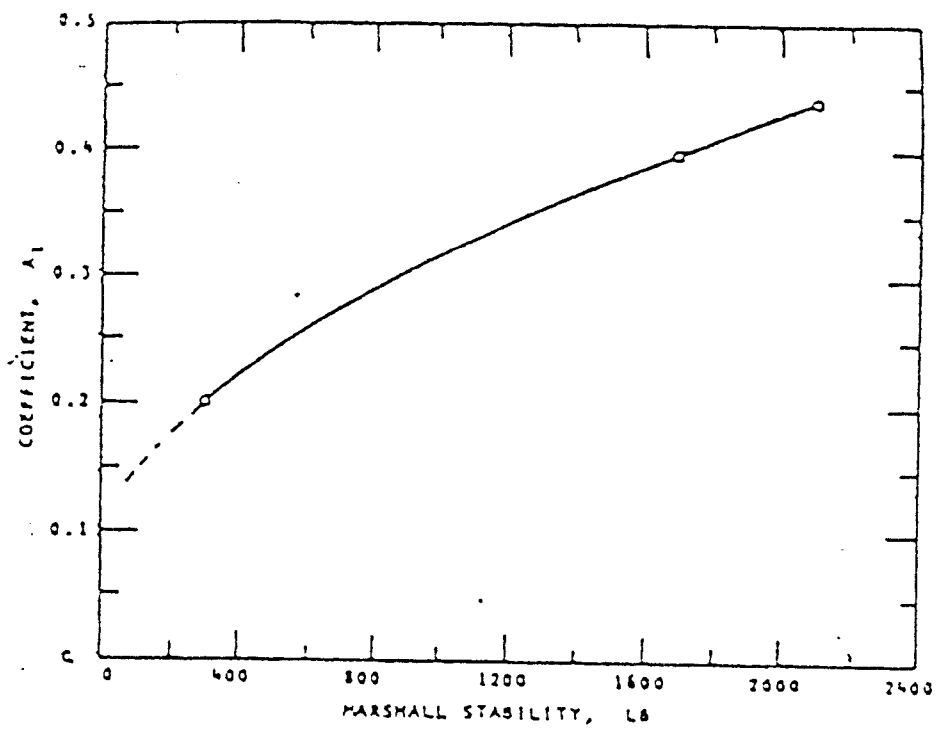
dengan V_G = prosentase volume agregat padat

V_B = prosentase volume bitumen

2.6. Koefisien Kekuatan Relatif

Koefisien kekuatan relatif adalah merupakan ukuran kemampuan bahan (lapis keras) dalam menjalankan fungsinya sebagai bagian perkerasan. Koefisien ini ditetapkan dengan cara empiris.

Salah satu cara untuk menentukan nilai koefisien kekuatan relatif dengan menggunakan metoda AASHO 1972, dengan menggunakan grafik seperti pada gambar 2.3. Untuk mendapatkan nilai a (koefisien kekuatan relatif) AASHO 1972 berdasarkan pada nilai stabilitas yang terjadi. Sedangkan untuk metode Bina Marga tidak mencantumkan untuk jenis perkerasan "HRS", maka hanya diperhitungkan dengan menggunakan metoda AASHO 1972.



Gambar 2.3. Grafik penentuan koefisien kekuatan relatif berdasar kan Marshall Stability (lbs)

Sumber : AASHO Interim Guide for Design of Pavement Structure, 1972

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah suatu konstruksi di atas tanah dasar yang berfungsi mendukung beban lalu lintas, kemudian menyebarkan ke tanah dasar sehingga tidak menimbulkan tekanan yang lebih besar dari daya dukungnya.

Konstruksi lapis keras jalan dibagi menjadi 3 macam yaitu :

- a. Lapis keras lentur ("flexible pavement"), merupakan lapis keras dengan bahan ikat aspal.
- b. Lapis keras tegar ("rigid pavement"), merupakan lapis keras dengan bahan ikat semen portland.
- c. Lapis keras gabungan ("composit pavement"), merupakan gabungan antara lapis keras lentur dan lapis keras tegar.

Hingga sekarang ini dari ketiga jenis perkerasan tersebut, perkerasan lentur masih menjadi pilihan utama untuk digunakan, karena dirasa lebih menguntungkan dibandingkan dengan jenis perkerasan lainnya.

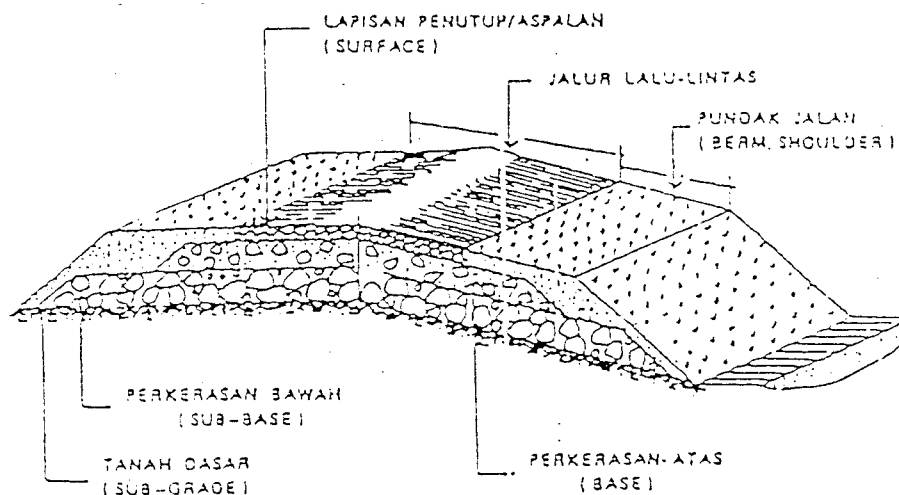
Menurut "Asphalt Technology and Construction Practice" ("The Asphalt Institute", 1983), konstruksi perkerasan lentur digelar diatas "subgrade", dengan bagiannya adalah lapis fondasi bawah ("subbase course"),

lapis fondasi atas ("base course"), dan lapis permukaan ("surface course").

Sedangkan fungsi lapis perkerasan jalan secara struktural adalah memikul beban lalu lintas kemudian menyalurkannya pada tanah dasar secara merata. Sedangkan fungsi lapis keras non struktural pada "surface course" antara lain adalah :

- a. Memberikan suatu permukaan yang rata
- b. Menahan gaya geser dan beban roda
- c. Sebagai lapis aus
- d. Sebagai lapis kedap air untuk melindungi lapisan di bawahnya.

Gambar 3.1 di bawah ini adalah contoh dari susunan lapis keras lentur yang sering digunakan di Indonesia



Gambar 3.1 Susunan lapis keras pada perkerasan lentur
 Sumber : Konstruksi Jalan Raya, Ir. D.U. Soedarsono,
 Badan Penerbit PU



Perencanaan campuran perkerasan jalan, seperti rencana pemakaian bahan teknik lainnya, pada umumnya merupakan soal dalam pemilihan dan perbandingan material untuk mendapatkan sifat-sifat yang diharapkan pada hasil akhir.

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

- a. Bitumen yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan.
- b. Fleksibilitas yang memadai sehingga memenuhi kebutuhan lalulintas.
- c. Rongga yang memadai dalam total campuran padat sehingga masih memungkinkan adanya sedikit tambahan pemadatan akibat beban lalulintas tanpa terjadi "bleeding" dan hilangnya stabilitas, namun cukup rendah untuk mencegah masuknya udara dan kelembaban yang berbahaya.
- d. Cukup mudah dikerjakan untuk dapat melaksanakan penghamparan campuran secara efisien tanpa mengalami segregasi (Central Quality Control & Monitoring Unit, Bina Marga, 1988).

3.2. Bahan Perkerasan

Bahan penyusun perkerasan jalan adalah agregat, filler dan aspal sebagai bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut harus memenuhi kriteria/syarat-syarat yang telah ditetapkan oleh Bina Marga. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya kegagalan konstruksi yang disebabkan oleh bahan.

1. Agregat

Agregat adalah batu pecah, kerikil, pasir atau komposisi mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil pengolahan (penyaringan, pemecahan) yang digunakan sebagai bahan penyusun utama perkerasan jalan.

Agregat yang digunakan pada perkerasan jalan harus memperhatikan sifat-sifat agregat mengenai ukuran dan gradasi, kebersihan, kekuatan dan kekerasan, bentuk, tekstur permukaan dan porositas.

a. Ukuran dan Gradasi

Macam-macam agregat menurut ukuran butirannya di kelompokkan menjadi 3 ("Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavement, The Asphalt Institute") :

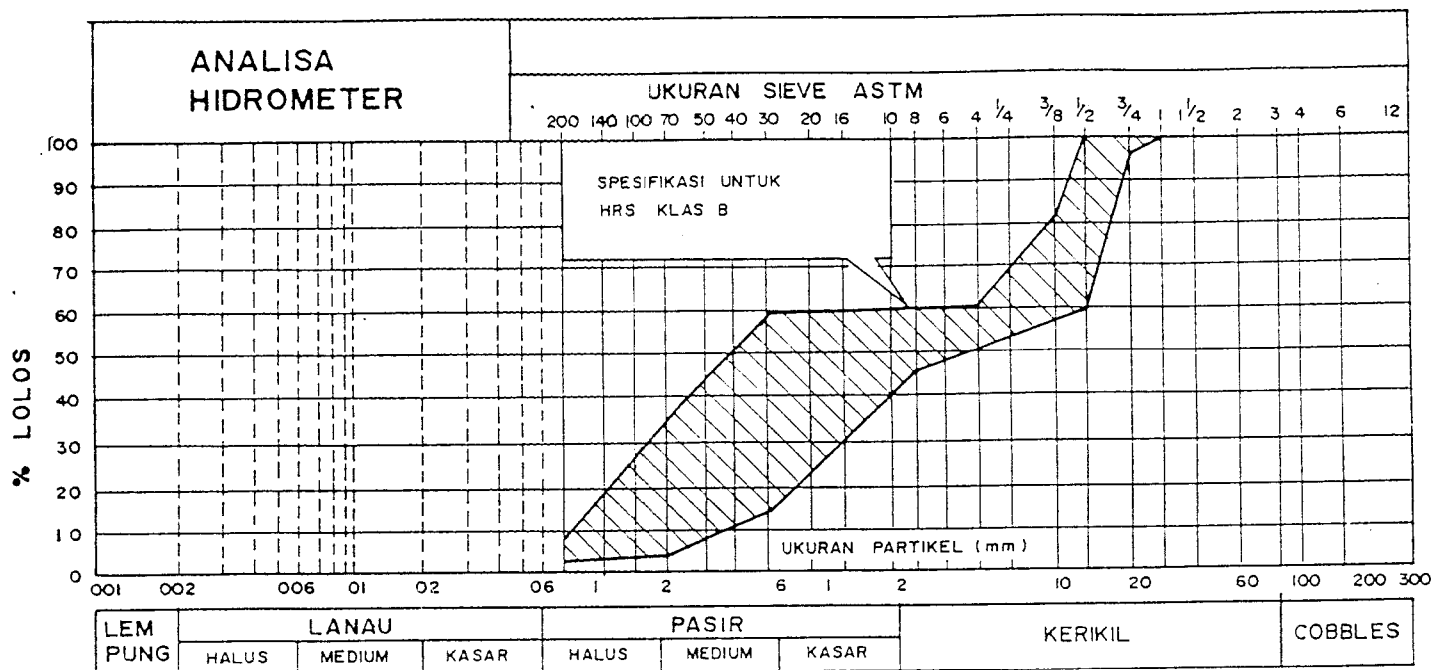
- a) Agregat kasar, yaitu batuan yang tertahan saringan no.8 (2,36 mm).
- b) Agregat halus, yaitu batuan yang lolos saringan no.8 (2,36 mm) dan tertahan saringan no.200 (0,075 mm).

c) Agregat pengisi ("filler"), yaitu batuan yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) dan tertahan pan. Filler bisa berupa semen portland, abu batu atau batu kapur.

Untuk mendapatkan bantuan seperti diatas, digunakan beberapa ukuran saringan yaitu : 2", 3/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", no 3, no 4, no 8, no 10, no 16, no 30, no 40 no 50, no 80, no 100, no 200, dan pan.

Gradasi adalah pembagian ukuran butiran dalam campuran agregat. Perkerasan "Hot Rolled Sheet" mempunyai gradasi timpang (celah), yaitu beberapa ukuran agregat sengaja dihilangkan sebagian atau seluruhnya dalam campuran, sehingga memerlukan kandungan aspal yang lebih banyak.

Dalam penelitian ini ukuran partikel dan gradasi batuan ditentukan berdasarkan spesifikasi untuk "HRS" kelas B dari Central Quality Control & Monitoring Unit, Bina Marga, 1988 seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik spesifikasi gradasi agregat "HRS" B
Sumber : Central Quality Control & Monitoring Unit,
Bina Marga, 1988

b. Kebersihan

Agregat yang mengandung substansi asing merusak harus dihilangkan sebelum digunakan dalam campuran perkerasan. Substansi asing itu misalnya tumbuh-tumbuhan, partikel halus, gumpalan lumpur Hal ini karena substansi asing itu dapat mengurangi daya lekat aspal terhadap batuan ("The Asphalt Institute", ES-1,1993)

c. Kekuatan dan kekerasan

Agregat dalam campuran "HRS" memberikan sebagian besar stabilitas mekanis, oleh sebab itu agregat harus kuat dan keras. Campuran bergradasi terbuka dengan beban yang sama, menerima lebih

banyak gaya pemecah dibandingkan dengan batuan yang bergradasi rapat. Jadi untuk batuan yang hanya mempunyai kekuatan dan kekerasan rendah, akan lebih menguntungkan bila digunakan pada campuran yang bergradasi rapat. Untuk lapis keras "HRS", karena mempunyai gradasi celah, maka kualitas bahan harus benar-benar tinggi. Tes kekuatan dan kekerasan yang biasa dilakukan adalah tes abrasi dengan menggunakan mesin "Los Angeles" atau dengan tes penumbukan ("Krebs and Walker", 1971).

d. Bentuk

Bentuk butiran merupakan faktor yang sangat penting untuk memperoleh gaya geser yang besar antar batuan pada perkerasan "HRS". Bentuk butiran yang menyerupai kubus dan bersudut tajam memberikan kemampuan saling mengunci yang rapat daripada butiran yang bulat. ("Krebs and Walker" 1971).

e. Tekstur permukaan

Tekstur permukaan yang kasar dan kasap akan memberikan gaya gesek yang lebih besar sehingga dapat menahan gaya-gaya pemisah yang bekerja pada batuan. Selain itu tekstur kasar juga memberikan gaya adhesi yang lebih baik antara aspal dan batuan. Batuan yang halus lebih mudah ter-

selimuti aspal namun tidak bisa menahan kelekatan aspal dengan baik. Tekstur permukaan semakin kasar umumnya stabilitas dan durabilitas dari campuran aspal akan semakin tinggi ("Krebs and Walker", 1971)

f. Porositas

Porositas mempengaruhi jumlah aspal yang digunakan dalam campuran perkerasan "HRS", sehingga porositas mempengaruhi nilai ekonomis suatu campuran. Makin tinggi porositas makin banyak aspal yang diperlukan dan makin mahal harga perkerasan itu. Selain itu porositas juga berpengaruh terhadap kekuatan dan kekerasan batuan itu sendiri. Semakin besar porositasnya, maka batuan akan semakin rendah kekuatan dan kekerasannya. Dengan pori yang banyak batuan akan mudah mengandung air sehingga air dalam pori sulit dihilangkan, akibatnya akan mengganggu ikatan antara aspal dengan batuan.

2. Aspal

Aspal adalah bahan padat atau semi padat yang tersusun dari "asphaltense" dan "maltense". Aspal mempunyai sifat "rheologic", maksudnya bahwa hubungan antara tegangan dan regangan sebagai fungsi waktu. Pada lapis keras jalan, aspal berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak,

sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dibandingkan kekuatan masing-masing agregat. Pada "HRS" aspal yang biasa digunakan adalah aspal yang berasal dari hasil penyulingan minyak mentah. Untuk menghasilkan lapis keras yang berkualitas baik, maka bahan penyusunnya harus baik. Sifat-sifat aspal yang dominan pengaruhnya terhadap perilaku lapis keras jalan adalah sifat termoplastik dan sifat keawetan.

a. Sifat Termoplastik

Aspal merupakan bahan termoplastik maka konsistensinya (viskositasnya) akan berubah dengan berubahnya temperatur. Dengan sifat termoplastik dari aspal akan sangat menguntungkan dari sudut pelaksanaan konstruksi. Pada viskositas rendah aspal akan dapat membasahi dan menyelimuti batuan yang dicampurnya sehingga permukaan batuan dapat terselimuti secara merata dan dengan ketebalan yang cukup. Untuk mendapatkan viskositas yang rendah diperlukan temperatur yang tinggi-dengan pemanasan yang terlalu tinggi akan berakibat merusak sifat-sifat aspal sehingga aspal akan cepat mengeras. Sebaliknya pemanasan yang kurang akan berakibat aspal tidak dapat menyelimuti batuan secara merata, sehingga ikatan antar batuan kurang kuat dan akan mengurangi kekuatan lapis keras jalan dalam mendukung beban.

b. Sifat Keawetan

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

- 1) Oksidasi. Adalah terjadinya reaksi antara oksigen dengan aspal. Proses ini tergantung dari sifat aspal dan temperatur. Pada temperatur biasa efek oksidasi akan memberikan suatu lapisan film yang keras pada aspal. Lapisan film ini tipis, tetapi jika terjadi retak-retak maka oksidasi akan terjadi lagi. Pada pelaksanaan perkerasan "HRS", setelah campuran dihampar harus segera dipadatkan sebelum terjadi pengerasan aspal karena turunnya temperatur.
- 2) Penguapan ("volatilization"). Adalah menguapnya bagian-bagian yang mempunyai berat molekul ringan dari aspal karena pengaruh penambahan temperatur dan pengadukan pada saat pelaksanaan konstruksi. Dengan penambahan temperatur akan mengakibatkan mempercepat proses penguapan bagian-bagian aspal, sehingga aspal akan cepat mengeras. Dengan tempe-

ratur pemanasan yang terlalu tinggi sifat keawetan aspal terhadap proses pengerasan akan lebih pendek waktunya (cepat mengeras).

- 3) Polymerisasi. Adalah penggabungan dari molekul-molekul sejenis untuk membentuk molekul yang lebih besar. Pada aspal, penggabungan molekul-molekul hidrokarbon dengan berat molekul besar. Diketahui "resin" merupakan suatu bagian yang sangat mudah berubah-ubah. Proses polymerisasi ini termasuk perubahan dari "resin" menjadi "asphaltense" dan hanya merupakan bagian yang kecil dari "resin" menjadi "oils". Sifat polymerisasi ini merugikan karena menyebabkan aspal lebih getas sehingga perkerasan jalan mudah retak-retak (pecah-pecah)

3.3. Karakteristik Perkerasan

Selain harus mudah dikerjakan di lapangan, lapis perkerasan juga harus memenuhi karakteristik tertentu sehingga didapatkan lapis perkerasan yang kuat, awet, aman dan nyaman dilalui. Beberapa karakteristik dari perkerasan adalah sebagai berikut :

"Stabilitas", pengertian stabilitas adalah kemampuan suatu lapis keras untuk melawan deformasi atau perubahan bentuk yang disebabkan beban lalu lintas yang harus dipikul. Stabilitas banyak bergantung pada kohesi dan gaya gesek. Sedangkan gaya gesek bergantung pada

tekstur permukaan, gradasi dari agregat, bentuk batuan, kerapatan campuran dan kuantitas dari aspal.

"Flexibilitas", adalah kemampuan lapis keras untuk menyesuaikan terhadap perubahan bentuk yang terjadi di bawahnya tanpa mengalami retak-retak ("crack"), sifat ini bertolak belakang dengan stabilitas, maka dalam perencanaan kedua sifat ini dipakai optimumnya, karena usaha memaksimalkan sifat yang satu berarti meminimalkan sifat yang lainnya.

Biasanya penurunan tidak terjadi secara merata. Dengan demikian perkerasan harus mempunyai kemampuan menyesuaikan diri dengan perbedaan-perbedaan penurunan tanpa terjadi retak-retak ("cracking"). Umumnya fleksibilitas campuran "HRS" akan tinggi dengan menambah kadar aspal yang tinggi dan gradasi agregat relatif terbuka.

"Durability", adalah kemampuan suatu lapis perkerasan untuk melawan akibat dari perubahan yang terjadi pada aspal (polymerisasi dan oksidasi), desintegrasi dari agregat dan "stripping" lapisan aspal dari agregat.

Dengan kadar aspal yang tinggi dalam campuran memungkinkan "HRS" mempunyai sifat durabilitas yang tinggi, karena meskipun aspal telah mengalami oksidasi tetapi jumlah sisa aspal dalam campuran masih banyak, sehingga aspal masih mampu untuk memberikan ikatan yang kuat terhadap agregatnya. Selain itu dengan kadar aspal yang tinggi, rongga udara yang ada dalam campuran dapat

tertutup dan terisi oleh aspal, sehingga kerapatan campuran lapis keras dapat mencapai optimum. Dengan kerapatan tersebut kemungkinan terjadinya desintegrasi dari campuran kecil sehingga durabilitasnya menjadi tinggi.

"Impermeability", adalah sifat kedap air dan udara yang dimiliki perkerasan (campuran), yaitu kemampuan untuk mencegah masuknya air dan udara ke dalam campuran. Hal ini erat kaitannya dengan jumlah rongga dalam campuran.

"Fatigue resistance", adalah ketahanan perkerasan terhadap kelelahan akibat beban yang berulang-ulang. Sifat ini dipengaruhi oleh rongga udara dan viskositas aspalnya.

"Skid resistance", adalah sifat menjamin keamanan yang baik terhadap lalulintas agar tidak terjadi selip walaupun dalam keadaan basah sekalipun. Hal ini erat kaitannya dengan kekasaran permukaan dari perkerasan ("The Asphalt Institute", MS-22).

3.4. Kadar Aspal Dalam Campuran

Aspal dalam campuran berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat. Aspal sebagai hasil alam maupun hasil dari penyaringan minyak kasar, mempunyai sifat-sifat yang tersendiri, khususnya sifat peka terhadap perubahan temperatur.

Penggunaan aspal dalam campuran sangat menentukan tingkat kekedapan campuran terhadap air dan udara. Semakin banyak kadar aspal dalam campuran akan semakin rapat campuran tersebut karena rongga dalam campuran dapat terisi oleh aspal. Sebaliknya bila kadar aspal terlalu sedikit maka campuran akan kurang rapat karena banyak rongga yang masih kosong. Disamping itu pemakaian aspal banyak, juga akan memberikan ikatan yang baik dalam campuran. Tetapi dengan kadar aspal yang berlebihan akan mengakibatkan naiknya aspal ke permukaan perkerasan bersamaan dengan naiknya temperatur sekitarnya, hal ini akan menimbulkan kondisi yang kurang menguntungkan. Untuk itu perlu dicari berapa kadar aspal yang diperlukan secara tepat pada campuran antara agregat dengan aspal untuk lapis keras "HRS".

3.5. "Hot Rolled Sheet"

Konstruksi perkerasan jalan yang banyak dibangun pada saat ini adalah konstruksi yang dikerjakan secara panas ("hot-mix") pada proses pencampuran, penghamparan, pemadatan. Jenis lapis permukaan yang banyak digunakan saat ini diantaranya adalah Konstruksi lapis tipis aspal beton (Lataston) atau di lapangan lebih dikenal dengan nama "HRS".

1. Fungsi "HRS"

"HRS" (Lataston) mempunyai fungsi sebagai lapis penutup untuk mencegah masuknya air dari permukaan kedalam konstruksi perkerasan sehingga dapat mempertahankan kekuatan konstruksi sampai tingkat tertentu.

2. Sifat "HRS"

"HRS" (Lataston) mempunyai sifat dan karakteristik sebagai berikut:

- a. Campuran "HRS" bersifat lebih lentur dibandingkan dengan campuran beton aspal karena pemakaian gradasi batuan timpang.
- b. Tingkat keawetan cukup tinggi karena menggunakan gradasi timpang, sehingga memungkinkan pemakaian kadar aspal yang cukup banyak. Penggunaan aspal yang cukup banyak ini menjamin jumlah sisa aspal bebas setelah oksidasi masih cukup banyak.
- c. Dianggap tidak mempunyai nilai struktural dalam mendukung beban lalulintas.

3. Penggunaan "HRS"

"HRS" (Lataston) umumnya dilaksanakan pada jalan yang telah beraspal dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. Jalan yang stabil dan rata/dibuat rata
- b. Jalan yang mulai retak-retak atau mengalami degradasi permukaan.

BAB IV

HIPOTESIS

Lapis keras "Hot Rolled Sheet" sebagai lapis permukaan jalan dengan gradasi celah dan berkadar aspal tinggi, karakteristiknya sangat dipengaruhi oleh aspal yang terutama berhubungan dengan suhu. Penambahan bahan filler dengan kadar dan jenis tertentu akan mempengaruhi perilaku/sifat-sifat Marshall dari "HRS".

BAB V

METODA PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan serangkaian pengujian yang meliputi :

- a. Pengujian bahan yang terdiri dari:
 - 1) pengujian agregat
 - 2) pengujian filler
 - 3) pengujian bitumen
- b. Pengujian benda uji campuran "HRS" yang dilakukan dengan cara Marshall test.

5.1. Bahan

5.1.1. Asal bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah agregat dan aspal. Agregat berasal dari daerah Clereng, Kulon Progo, diperoleh dari hasil alat pemecah batu ("Stone Crusher") milik PT Perwira Karya Yogyakarta yang terletak di desa Piyungan Yogyakarta. Sedangkan aspal yang dipakai adalah jenis AC 60-70 produksi Pertamina yang juga diperoleh dari PT Perwita Karya Yogyakarta. Untuk bahan semen diperoleh dari pasaran bebas.

5.1.2. Persyaratan dan pengujian bahan

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian, sebelumnya diuji di laboratorium untuk mendapatkan bahan

penelitian yang berkualitas tinggi. Adapun pengujian yang dilakukan sebelumnya adalah meliputi :

a. Pemeriksaan agregat

Agregat atau batuan merupakan komponen utama dari lapis perkerasan jalan yang mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Adapun untuk mengetahui kualitas agregat dilakukan pemeriksaan sebagai berikut :

- 1) Tingkat keausan, ketahanan agregat terhadap penghancuran diperiksa dengan mesin Los Angeles berdasarkan PB-0206-76 atau AASHTO T96-77. Nilai abrasi menunjukkan banyaknya benda uji yang hancur akibat tumbukkan dan gesekan antar partikel dengan bola-bola baja pada saat terjadinya putaran. Nilai abrasi $> 40\%$ menunjukkan agregat tidak mempunyai kekerasan cukup untuk digunakan sebagai bahan lapis perkerasan.
- 2) Daya lekat terhadap aspal, dilakukan sesuai dengan prosedur PB-0205-76 atau AASTHO T182-82. Kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap seluruh luas permukaan dan besarnya minimal 95%.



- 3) Peresapan agregat terhadap air, dilakukan untuk mengetahui besarnya air yang terserap oleh agregat. Besarnya peresapan agregat yang diijinkan sebesar maksimum 3%. Air yang telah diserap oleh agregat sukar dihilangkan seluruhnya walaupun melalui proses pengeringan sehingga mempengaruhi daya lekat aspal dengan agregat.
- 4) Berat jenis ("specific gravity"), adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Adapun pemeriksaan berat jenis mengikuti prosedur PB-0202-76 atau AASHTO T85-81 dengan persyaratan minimum 2,5. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal karena umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori.
- 5) "Sand equivalent test", dilakukan untuk mengetahui kadar debu/bahan yang menyerupai lempung pada agregat halus / pasir. "Sand equivalent test" dilakukan untuk partikel agregat lolos saringan no.4 sesuai prosedur AASHTO T176-73. Nilai yang disyaratkan sebesar minimal 50%. Lempung dapat mempengaruhi mutu campuran agregat dengan aspal karena lempung membungkus partikel-partikel agregat sehingga ikatan antara agregat dengan aspal berkurang. Juga adanya lempung mengakibatkan luas daerah yang harus diselimuti aspal bertambah.

b. Pengujian filler berdasarkan ASTM

Filler adalah bagian dari agregat yang mempunyai fraksi sangat halus. Filler dapat berupa abu batu, abu kapur, semen, dll. Khusus dalam penelitian ini filler yang digunakan adalah abu batu dan semen saja.

Fungsi mineral filler di dalam campuran "HRS" adalah untuk mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari campuran tersebut.

Menurut ASTM, D242 gradasi dari mineral filler berada dalam batas-batas seperti terlihat dalam tabel 5.1.

Tabel 5.1 Spesifikasi gradasi mineral filler

Ukuran saringan (inchi)	Persentase lolos saringan (%)	Hasil (%)
# 30	100	100
# 50	95 - 100	100
# 200	70 - 100	100

Sumber : ASTM Standard, 1987

c. Pengujian bahan ikat aspal

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa di laboratorium dan aspal yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan dapat digunakan

sebagai bahan pengikat perkerasan. Pemeriksaan yang dilakukan untuk aspal keras adalah sebagai berikut :

- 1) Pemeriksaan penetrasi, pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0301-76 atau AASHTO T49-80. Besarnya angka penetrasi untuk aspal AC 60-70 adalah antara 60 sampai dengan 79
- 2) Titik lembek ("softening point test"), adalah suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin yang diletakkan horizontal di dalam larutan air atau gliserin yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek karena beban bola baja dengan diameter 9.53 mm seberat 3.5 gram yang diletakkan di atasnya sehingga lapisan aspal tersebut jatuh melalui jarak 1 inchi.

Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0302-76 atau AASHTO T53-81 dengan nilai yang disyaratkan sebesar 48°C sampai dengan 58°C .

- 3) Titik nyala, pemeriksaan ini mengikuti prosedur PA-0303-76 atau AASHTO T48-81 yang berguna untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat dipermukaan aspal (titik nyala), dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik. Besarnya titik nyala yang disyaratkan sebesar minimal 200°C .

- 4) Kehilangan berat, pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. Pemeriksaan mengikuti prosedur PA-0304-76 atau AASHTO T47-82 dengan nilai kehilangan berat maksimum sebesar 0,4%.
- 5) Kelarutan dalam CCl₄ ("solubility test"), pemeriksaan dilakukan untuk menentukan jumlah bitumen yang larut dalam "carbon tetra chloroid". Jika semua bitumen yang diuji larut dalam CCl₄ maka bitumen tersebut adalah murni. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0305-76 atau AASHTO T44-81 dengan persyaratan sebesar minimal 99%.
- 6) Daktalitas aspal, tujuan dari pemeriksaan ini untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara 2 cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pemeriksaan mengikuti prosedur PA-0306-76 atau AASHTO T51-81. Besarnya daktalitas aspal yang disyaratkan adalah minimal 100 cm.
- 7) Berat jenis, adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0307-76 atau AASHTO T228-79 dengan nilai yang

disyaratkan sebesar 1 gr/cc. Berat jenis aspal diperlukan untuk perhitungan dalam analisis campuran.

5.1.3. Hasil pengujian bahan.

Hasil dari penelitian agregat dan aspal yang dilakukan di laboratorium di atas dibandingkan dengan persyaratan yang harus dipenuhi untuk masing-masing nilai menurut ketentuan dari Bina Marga, seperti terlihat pada tabel 5.2, 5.3 dan 5.4 berikut ini.

Tabel 5.2 Persyaratan agregat kasar dan hasil pengujian laboratorium.

Jenis pemeriksaan	Syarat	Hasil
1. Keausan dengan mesin Los Angeles	max 40%	33,14%
2. Kelekatan terhadap aspal	> 95%	> 95%
3. Peresapan terhadap air	max 3%	1,2955%
4. Berat jenis semu	min 2,5	2,7727

Sumber : Laston No. 13/PT/PB/1983 dan hasil penelitian di lab. Jalan Raya JTS-FTSP UII

Tabel 5.3 Persyaratan agregat halus dan hasil pengujian laboratorium

Jenis pemeriksaan	Syarat	Hasil
1. Nilai "Sand Equivalent"	min 50%	68,52 %
2. Peresapan terhadap air	max 3%	1,626 %
3. Berat jenis semu	min 2,5	2,6885

Sumber : Laston No. 13/PT/PB/1983 dan hasil penelitian di lab. Jalan Raya JTS-FTSP UII

Tabel 5.4 Persyaratan aspal AC 60-70 dan hasil pengujian laboratorium

Jenis pemeriksaan	Syarat		Hasil	Satuan
	min	max		
1. Penetrasi	60	79	65,7	0,1 mm
2. Titik lembek	48	58	53,75	° C
3. Titik nyala	200	-	347	° C
4. Kehilangan berat	-	0,4	0,037	% berat
5. Kelarutan dalam CCL ₄	99	-	99,1573	% berat
6. Daktilitas	100	-	> 100	cm
7. Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	78,60	% semula
8. Berat jenis	1	-	1,02	gr/cc

Sumber : Laston No. 13/PT/PB/1983 dan hasil penelitian di lab. Jalan Raya JTS-FTSP UII

Dari hasil pengujian bahan seperti tersebut di atas bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan sebagai bahan penelitian. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 1 sampai dengan 8.

5.2. Pengujian Benda Uji Campuran "HRS"

5.2.1. Peralatan yang dipergunakan

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dengan menggunakan alat-alat sebagai berikut:

1. Alat tekan Marshall yang terdiri dari :
 - a) kepala penekan yang berbentuk lengkung
 - b) cincin penguji berkapasitas 2500 kg (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji tekan dengan ketelitian 0,0025

- c) arloji penunjuk kelelahan.
- 2. Cetakan benda uji berbentuk silinder diameter 10 cm, tinggi 7,5 cm, lengkap dengan plat alas dan leher sambung.
- 3. "Ejector" untuk melepas benda uji setelah dipadatkan
- 4. Oven untuk memanaskan bahan secara konstan.
- 5. Penumbuk berbentuk silinder, berat 4,536 kg (10 lbs) dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm
- 6. Bak perendam ("water bath") dilengkapi pengatur suhu
- 7. Perlengkapan-perlengkapan lain seperti :
 - a) panci untuk memanaskan bahan dan campuran
 - b) kompor pemanas dengan kapasitas 1000 watt
 - c) pengangas untuk menstabilkan suhu campuran
 - d) Termometer
 - e) sendok pengaduk
 - f) spatula
 - g) timbangan berkapasitas 2 dan 5 kg dengan ketelitian 0,1 gram

5.2.2. Prosedur pengujian laboratorium

a. Persiapan

Pada penelitian ini kadar filler yang dipakai bervariasi, juga jenis filler yang dipergunakan ada dua macam yaitu abu batu dan semen. Adapun kadar filler yang dipakai mulai dari 3%, 4,5%, 6%, 7,5%, dan 9%.

Untuk memperoleh gradasi yang diinginkan digunakan beberapa saringan. Saringan yang digunakan adalah 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", no 4, no 8, no.30, no.50, no.100, no.200 dan pan. Hasil penyaringan tersebut dipisah-pisahkan sesuai dengan nomor saringan dan dihitung kebutuhannya sesuai persen berat tertahan. Berat total campuran agregat dan aspal untuk satu benda uji sebesar 1200 gram, yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan filler serta aspal.

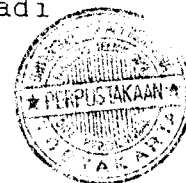
Adapun spesifikasi gradasi agregat yang digunakan pada penelitian ini seperti pada tabel 5.5 dibawah ini :

Tabel 5.5 Spesifikasi Gradasi Campuran Agregat "HRS" B

Ukuran Saringan (inchi)	Spesifikasi % lolos	Jumlah	
		%lolos	%tertahan
3/4	100	100	0
1/2	60 - 100	80	20
3/8	58 - 82	70	30
1/4	52 - 69	61	39
# 4	50 - 60	55	45
# 8	46 - 60	53	47
# 30	14 - 60	37	63
# 50	8 - 44	26	74
# 100	4 - 28	16	84
# 200	2 - 8	5	95
pan	0	0	100

Sumber : Central Quality Control & Monitoring Unit, Bina Marga, 1988

Benda uji dibuat berdasarkan variasi kadar filler dan jenis filler yang telah direncanakan. Benda uji dibuat masing-masing 2 buah (duplo). Jadi



untuk 5 macam kadar filler dan 2 jenis bahan filler akan dibuat benda uji sebanyak $2 \times 5 \times 2 = 20$ benda uji.

Besarnya kadar aspal ditentukan dengan cara penentuan kadar aspal optimum untuk satu jenis filler dengan kadar filler 6%. Dalam menentukan kadar aspal optimum pada penelitian ini, digunakan cara Marshall yang biasa digunakan di Laboratorium Jalan Raya jurusan Teknik Sipil UII. Mula-mula dibuat beberapa campuran dengan kadar aspal yang bervariasi. Kemudian campuran tersebut dicetak dan ditumbuk sebanyak 2 x 50 kali dan diuji dengan test Marshall. Hasil pengujian ini dibandingkan dengan persyaratan untuk "HRS" kelas B. Persyaratan itu adalah sebagai berikut :

- a) stabilitas : 550 - 1250 kg
- b) % rongga dalam campuran (VITM) : 3 - 6%
- c) Hasil bagi Marshall (QM) : 1.5 - 5 kN/mm

Kadar aspal yang memenuhi koridor persyaratan diambil nilai tengahnya yang merupakan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum tersebut yang digunakan untuk membuat campuran untuk benda uji. Cara menentukan kadar aspal optimum selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 11, 12 dan 13. Dari hasil penelitian diperoleh nilai kadar aspal optimum untuk pembuatan benda uji selanjutnya.

b. Pembuatan benda uji

Cara pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

- a) Agregat sebanyak 1104 gram dipanaskan di atas pemanas sampai mencapai suhu $\pm 170^{\circ}\text{C}$, demikian juga dengan aspalnya hingga mencapai suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$.
- b) Kemudian keduanya dipindahkan ke dalam oven dengan suhu yang sama agar panasnya merata.
- c) Setelah itu aspal dan agregat dicampur di dalam pengangas dengan suhu pencampuran $\pm 160^{\circ}\text{C}$. Pada saat pencampuran diusahakan campuran menjadi homogen.
- d) Cetakan benda uji disiapkan, dibersihkan, diberi vaselin dan dipanaskan.
- e) Campuran dituang ke dalam cetakan setelah bagian bawahnya diberi selebar kertas, sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali pada bagian tepi dan 10 kali pada bagian tengah agar benda uji tidak terlalu berongga.
- f) Kemudian benda uji didiamkan hingga mencapai suhu pematangan $\pm 140^{\circ}\text{C}$ dan bagian atasnya diberi kertas juga.

- g) Selanjutnya dilakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 50 kali, kemudian posisi benda uji dibalik dan ditumbuk pula sebanyak 50 kali, sehingga satu benda uji dilakukan penumbukan sebanyak 2 x 50 kali. ✓ 2x75.
U/ HRS-B.
- h) Setelah selesai penumbukan benda uji didinginkan, untuk selanjutnya dikeluarkan dari cetakan dengan bantuan ejector.

c. Cara pengujian benda uji.

Benda uji yang telah dibuat, diuji dengan test Marshall. Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut :

- a) benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel
- b) benda uji diberi tanda pengenal
- c) setiap benda uji diukur tingginya 3 kali pada tempat yang berbeda kemudian dirata-rata dengan ketelitian 0,1 mm
- d) benda uji ditimbang dalam keadaan kering
- e) benda uji direndam ± 16 - 24 jam agar menjadi jenuh
- f) setelah jenuh, ditimbang dalam air guna mendapatkan volume / isi benda uji
- g) benda uji dikeluarkan dari bak perendam, dikeringkan dengan kain hingga menjadi kering permukaan (SSD), lalu ditimbang

- h) benda uji direndam dalam "water bath" selama 30 menit, dengan suhu perendaman 60°C
- i) kepala penekan alat Marshall dibersihkan dan permukaannya dilumasi dengan vaselin/oli agar benda uji mudah dilepas
- j) setelah benda uji dikeluarkan dari "water bath", segera diletakkan pada alat uji Marshall yang dilengkapi dengan arloji kelelahan ("flow meter") dan arloji pembebanan/stabilitas
- k) pembebanan dimulai dengan kecepatan 50 mm/menit hingga mencapai maksimum, yaitu saat arloji pembebanan berhenti dan berbalik arah, saat itu pula dibaca "flow meter"
- l) setelah pembebanan selesai, benda uji dikeluarkan dari alat uji Marshall
- m) benda uji berikutnya siap diuji seperti diatas

5.3. Anggapan Dasar

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh variasi kadar dan jenis filler pada campuran "HRS" terhadap perilakunya. Yang dimaksud terhadap perilaku "HRS" disini adalah pengaruh terhadap nilai-nilai "den-

sity", VFWA, VITM, stabilitas, "flow", "Marshall Quotient", modulus kekakuan (E) dan koefisien kekuatan relatif (a).

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

5.4. Cara Analisis

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

1. Persen aspal terhadap batuan (a)
2. Persen aspal terhadap campuran (b)
3. Berat benda uji sebelum direndam air (gram)
4. Berat benda uji di dalam air (gram)
5. Berat benda uji kering permukaan/SSD (gram)
6. Tebal benda uji (mm)
7. Pembacaan arloji stabilitas (kg)
8. Pembacaan arloji "flow" (mm)

Dari data di atas dapat dihitung nilai-nilai dari "density", VITM, VFWA, "flow", stabilitas dan "marshall quotient". Cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Berat jenis maksimum teoritis (h)

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

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

$$\text{BJ agregat} = \frac{(X \times F1) + (Y \times F2)}{100}$$

dengan, X : % agregat kasar

Y : % agregat halus

F1 : BJ agregat kasar

F2 : BJ agregat halus

2. "Density"

Nilai "density" (BD) dihitung dengan rumus:

$$BD = g = c/f$$

$$f = d - e$$

dengan, c : berat benda uji sebelum direndam (gr)

d : berat benda uji jenuh air (gr)

e : berat benda uji dalam air (gr)

f : isi benda uji (ml)

g : berat isi benda uji (gr/ml)

3. VFWA ("Void Filled With Asphalt")

Untuk memperoleh VFWA (% rongga terisi aspal), dihitung dahulu nilai-nilai dari:

$$i = \frac{b \times g}{BJ \text{ aspal}}$$

$$j = \frac{(100 - b) \times g}{BJ \text{ agregat}}$$

$$l = 100 - j$$

dengan, b : persentase aspal terhadap campuran (%)

g : berat isi benda uji (gr/ml)

i & j : rumus substitusi

l : persen rongga terhadap agregat (%)

Dari data diatas maka dapat dihitung nilai VFWA sebagai berikut :

$$VFWA = 100 \times i/l$$

4. VITM ("Void in The Mix")

Untuk mendapatkan nilai VITM (% rongga dalam campuran) digunakan rumus :

$$VITM = 100 - i - j$$

dengan, i & j : rumus substitusi

5. Stabilitas

Angka stabilitas benda uji didapat dari pembacaan arloji stabilitas alat tekan "Marshall". Angka stabilitas ini masih harus dirubah ke dalam satuan kg. dan kemudian dikalikan dengan angka koreksi ketebalan benda uji (tabel 5.6)

Untuk merubah dari angka yang terbaca dalam arloji stabilitas ke dalam satuan kg dapat dilihat dalam lampiran 9 dan 10.

Tabel 5.6 Angka koreksi tebal benda uji

Isi benda uji (Cm ³)	Benda uji	
	Tebal (mm)	Angka koreksi
200 - 213	25.4	5.56
214 - 225	27.0	5.00
226 - 237	28.6	4.55
238 - 250	30.2	4.17
251 - 264	31.8	3.85
265 - 276	33.3	3.57
277 - 289	34.9	3.33
290 - 316	36.5	3.03
302 - 316	38.1	2.78
317 - 328	39.7	2.50
329 - 340	41.3	2.27
341 - 353	42.9	2.08
354 - 367	44.4	1.92
368 - 379	46.0	1.79
380 - 392	47.6	1.67
393 - 405	49.2	1.56
406 - 420	50.8	1.47
421 - 431	52.4	1.39
432 - 443	54.0	1.32
444 - 456	55.6	1.25
456 - 470	57.2	1.19
471 - 482	58.7	1.14
483 - 495	60.3	1.09
496 - 508	61.9	1.04
509 - 522	63.5	1.00
523 - 535	64.0	0.96
536 - 546	65.1	0.93
547 - 559	66.7	0.89
560 - 573	68.3	0.86
574 - 585	71.4	0.83
586 - 598	73.0	0.81
599 - 610	74.6	0.78
611 - 625	76.2	0.76

Sumber : Petunjuk Praktikum Jalan Raya FTSP
UII

6. Kelelehan ("Flow" = r)

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

7. "Marshall Quotient" (QM)

Nilai "Marshall Qoutient" diperoleh dengan rumus:

$$QM = S/r$$

dengan, S : nilai stabilitas terpakai (kg)

r : nilai kelelahan (mm)

QM : nilai "Marshall Quotient" (kN/mm)

5.5. Kesulitan-Kesulitan Dan Penyelesaiannya

Pada penelitian di laboratorium, banyak terjadi kesulitan-kesulitan yang menghambat jalannya penelitian. Kesulitan-kesulitan tersebut terutama disebabkan karena keterbatasan alat. Sebagai contoh, timbangan yang terdapat di laboratorium kebanyakan sudah tidak tepat, sehingga peneliti mendapat kesulitan untuk mendapatkan hasil timbangan yang betul-betul baik. Hal tersebut bisa teratasi dengan mengadakan pengecekan setiap kali melakukan penimbangan, meskipun akan menyita waktu yang cukup banyak. Setelah dilakukan pengecekan dianggap timbangan telah dalam kondisi baik.

Kesulitan lain adalah alat pemadat ("compactor") yang masih manual, belum elektris. Hal ini cukup menyulitkan peneliti untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih akurat. Karena penumbukan semua dilakukan dengan tenaga manusia, maka faktor kelelahan akan berpengaruh disini, sehingga menyebabkan tinggi jatuh bet

dari alat penumbuk akan berlainan. Akibat dari tinggi jatuh bebas yang berbeda-beda, menyebabkan kekuatan tumbukan akan berbeda-beda pula. Namun hal ini dapat diatasi dengan cara menumbuk bergantian, sehingga kelelahan dapat dihindarkan.

Selain itu peneliti juga masih harus menghitung jumlah tumbukan agar tidak melebihi dari jumlah yang telah ditentukan. Oleh karena itu dituntut sikap extra hati-hati dalam setiap melaksanakan penelitian.

Walaupun begitu kesulitan-kesulitan di atas dapat diatasi meskipun waktu pelaksanaan penelitian menjadi semakin lama dan kurang efisien.



BAB VI

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

6.1. Hasil Penelitian

Pelaksanaan penelitian benda uji di laboratorium dilakukan dengan suhu pencampuran 160°C dan kadar aspal optimum sebesar 8%. Pengujian benda uji dilakukan pada suhu pemadatan 140°C .

Dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium, diperoleh nilai-nilai VITM ("Void in The Mix" = % rongga dalam campuran), VFWA ("Void Filled With Asphalt" = % rongga terisi aspal), stabilitas, "flow" dan "Marshall Quotient", seperti yang terdapat pada tabel 6.1 dan 6.2 berikut ini :

Tabel 6.1. Hasil Tes Marshall untuk jenis Filler Abu Batu

Karakteristik	Kadar Filler (%)				
	3	4,5	6	7,5	9
Density (gr/ml)	2,213	2,223	2,209	2,2015	2,188
VITM (%)	5,032	4,5515	5,2025	5,523	6,1025
VFWA (%)	77,5253	79,3455	76,906	75,766	73,7675
Stabilitas (kg)	929,410	1031,6025	953,323	923,007	877,732
Flow (mm)	4,953	4,953	5,334	5,715	5,715
QM (kN/mm)	1,840	2,042	1,7515	1,583	1,5065

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil FTSP UII

Tabel 6.2. Hasil Tes Marshall untuk jenis Filler Semen

Karakteristik	Kadar Filler (%)				
	3	4,5	6	7,5	9
Density (gr/ml)	2,220	2,232	2,242	2,235	2,222
VITM (%)	4,942	4,526	4,5065	5,056	5,7705
VFWA (%)	77,8965	79,4575	79,601	77,6145	75,126
Stabilitas (kg)	1045,1205	1060,6985	1131,076	947,61	877,953
Flow (mm)	4,445	4,445	4,699	5,08	5,461
QM (kN/mm)	2,306	2,340	2,360	1,828	1,5945

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil FTSP UII

Hasil dari penelitian di laboratorium di atas dibandingkan dengan persyaratan yang harus dipenuhi untuk nilai VITM, Stabilitas, QM menurut Bina Marga 1988, seperti terlihat pada tabel 6.3.

Tabel 6.3. Spesifikasi "HRS" Kelas B

No.	Sifat Campuran	Syarat	Satuan
1.	Kadar bitumen efektif	> 6,2	%
2.	Kadar pori(VITM)	3 - 6	%
3.	QM	1,5 - 5	kN/mm
4.	Stabilitas Marshall	550-1250	kg.
5.	Fraksi CA (% terhadap campuran)	0 - 50	%
6.	Absorpsi bitumen	0 - 1,8	%
7.	Kadar bitumen total	> 6,7	%

Sumber : Rancangan Campuran, Bina Marga, 1988

Dari hasil penelitian, maka yang memenuhi persyaratan adalah seperti terdapat pada tabel 6.4 dan 6.5 berikut :

Tabel 6.4. Jenis Filler Abu Batu

Persyaratan Bina Marga	Kadar Filler (%)				
	3	4,5	6	7,5	9
VITM 3 - 6 %	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	
Stabilitas 550-1250 kg	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
QM 1,5-5 kN/mm	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■

Keterangan : ■ ■ ■ ■ ■ = memenuhi spesifikasi

Tabel 6.5. Jenis Filler Semen

Persyaratan Bina Marga	Kadar Filler (%)				
	3	4,5	6	7,5	9
VITM 3 - 6 %	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
Stabilitas 550-1250 kg	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
QM 1,5-5 kN/mm	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■

Keterangan : ■ ■ ■ ■ ■ = memenuhi spesifikasi

6.2. Pembahasan

Pada penelitian ini perilaku campuran "HRS" diukur dengan nilai-nilai VITM ("Void in The Mix" = % rongga dalam campuran), VFWA ("Void Filled With As-

phalt" = % rongga terisi aspal), stabilitas, kelelehan ("flow") dan hasil bagi Marshall ("Marshall Quotient").

Pada penelitian ini masing-masing nilai dari hasil tes Marshall di laboratorium (Tabel 6.1 dan Tabel 6.2) dibandingkan dengan spesifikasi Bina Marga, 1988 untuk campuran "HRS" kelas B.

Untuk dapat mengetahui nilai kekakuan dan koefisien kekuatan relatif dari suatu lapis keras jalan dapat dilakukan dengan berbagai metoda. Beberapa metoda yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai kekakuan suatu lapis perkerasan jalan adalah metoda analitis dan nomogram Shell. Metoda analitis salah satunya dikembangkan oleh "Heukelomp and Klomp". Keduanya memerlukan data S bit yang didapat dari nomogram dan formula. Sedangkan metoda yang digunakan untuk memperkirakan nilai koefisien kekuatan relatif adalah dengan menggunakan metoda AASHO 1972.

Pada pembahasan ini akan dicari pengaruh variasi jenis dan kadar filler terhadap nilai kekakuan campuran dan koefisien relatif pada campuran "HRS" dengan menggunakan metoda seperti tersebut diatas.

6.2.1. Pengaruh penggunaan jenis dan kadar filler terhadap benda uji.

a) Terhadap "Density"

Nilai "density" menunjukkan besarnya derajat



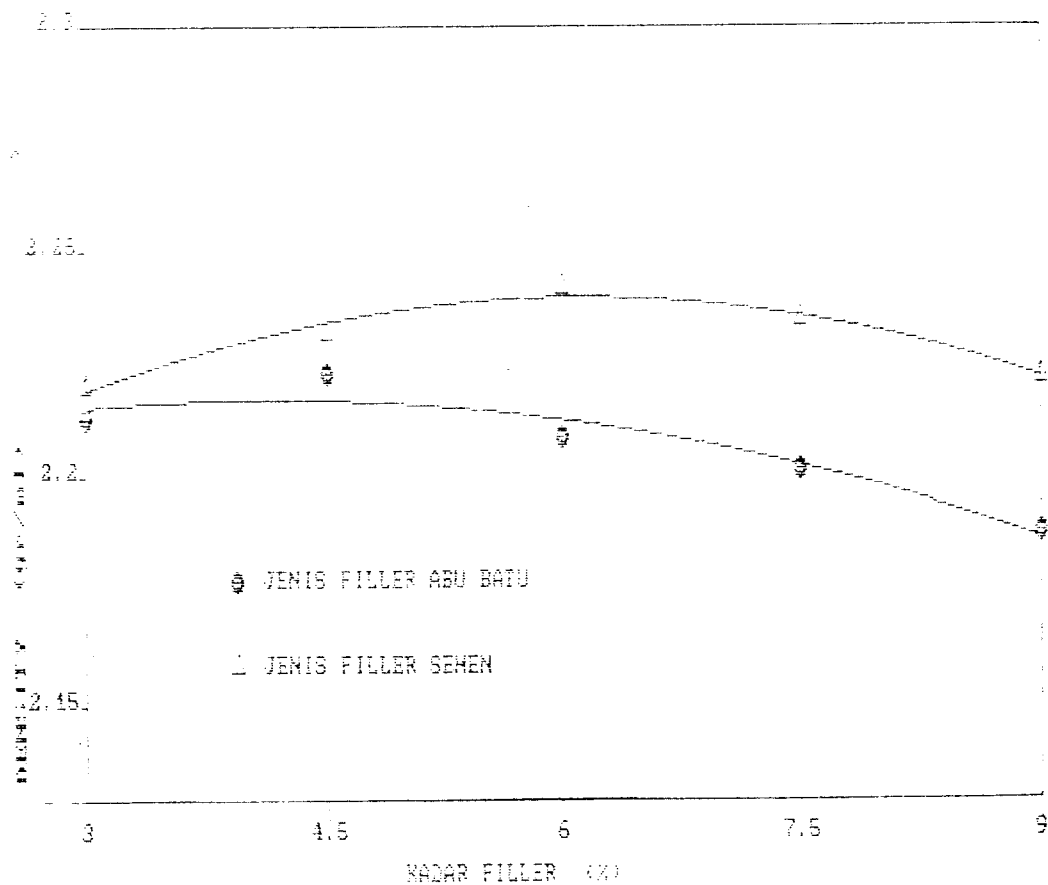
kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Campuran dengan kepadatan tinggi akan mampu menahan beban yang besar dibandingkan dengan campuran yang mempunyai kepadatan rendah. Nilai "density" (kepadatan) campuran "HRS" sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan dan cara pemadatan.

Nilai "density" (kepadatan) yang dihasilkan penelitian ini cukup bervariasi sesuai dengan jenis dan kadar filler yang digunakan. Dari gambar 6.1 terlihat bahwa nilai kepadatan akan bertambah besar seiring dengan naiknya kadar filler sampai batas tertentu, dalam hal ini adalah 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Setelah itu penambahan filler selanjutnya pada campuran menyebabkan turunnya nilai "density" (kepadatan).

Dengan semakin meningkatnya kadar filler berarti butiran pengisi menjadi semakin banyak, sehingga bila campuran dipadatkan butiran pengisi tersebut dapat mengisi rongga yang terjadi. Semakin banyak butiran pengisi semakin banyak pula rongga-rongga yang terisi, sehingga campuran menjadi semakin rapat. Hal ini bisa terjadi jika kandungan bitumen bebas dalam campuran masih tersedia dengan cukup untuk menyelimuti butiran-butiran filler yang ditambahkan.

Pada penambahan filler yang mengakibatkan makin berkurangnya bitumen bebas bahkan habisnya bitumen

bebas dalam campuran akan mengakibatkan turunnya nilai kepadatan. Karena semakin banyak filler yang ditambahkan akan semakin besar pula luas permukaan yang harus diselimuti oleh bitumen. Hal ini akan menyebabkan semakin berkurangnya gaya adhesi bitumen-agregat, sehingga ikatan antar bitumen dengan agregat akan semakin lemah. Dengan tidak adanya pengikat agregat, maka kemampuan menahan bebanpun akan semakin berkurang atau mengecil.



Gambar 6.1. Grafik Hubungan Kadar Filler Dengan "Density"

Dengan tingkat kehalusan yang lebih tinggi pada bahan pengisi semen menunjukkan kerapatan campuran yang lebih tinggi dibanding dengan abu batu. Dari penelitian didapatkan hasil yang terbaik untuk jenis filler abu batu pada kadar 4,5% dan untuk jenis filler semen pada kadar 6%

b) Terhadap VITM

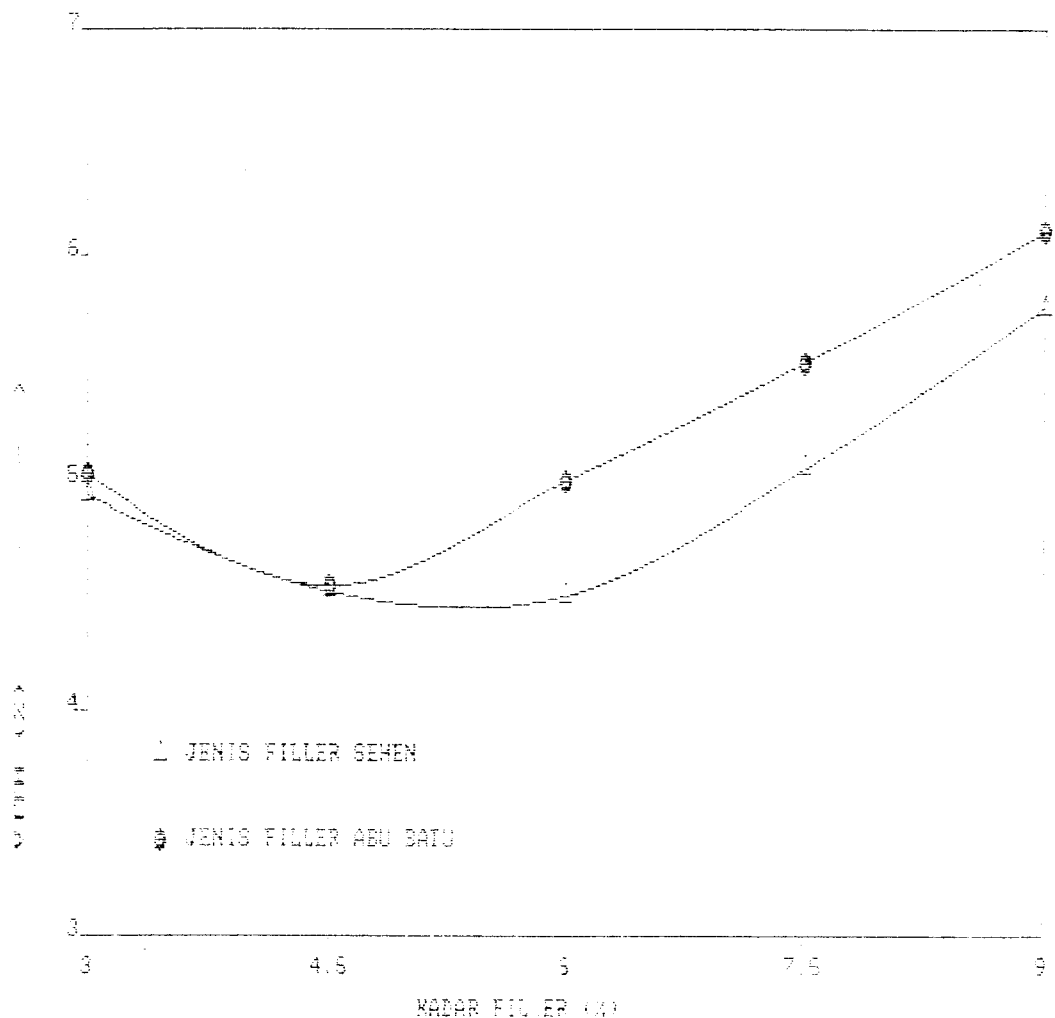
Nilai VITM ("Void in The Mix" = % rongga dalam campuran) menunjukkan banyaknya rongga yang terdapat dalam campuran. VITM berpengaruh terhadap kekedapan campuran. Apabila nilai VITM besar berarti banyak rongga yang terjadi dalam campuran tersebut, sehingga campuran akan kurang kedap terhadap udara dan air. Adanya pori-pori ataupun celah pada perkerasan "HRS" memungkinkan air masuk ke dalam perkerasan. Hal ini akan mengakibatkan berkurangnya atau bahkan hilangnya gaya adhesi antara batuan dengan bitumen. Disamping itu semakin besar pori-pori atau celah akan memudahkan masuknya oksigen ke dalam perkerasan, sehingga akan terjadi proses oksidasi terhadap bitumen yang akhirnya akan menimbulkan kerusakan. Selain itu nilai VITM juga menunjukkan nilai kekakuan campuran. Campuran yang mempunyai nilai VITM kecil menunjukkan campuran dengan kekakuan yang tinggi (campuran kaku).

Dengan adanya variasi jenis dan kadar filler menghasilkan nilai VITM yang berlawanan dengan nilai

"density", seperti terlihat pada gambar 6.2 . Naiknya kadar filler menyebabkan penurunan kadar pori dalam campuran sampai batas tertentu, yaitu mencapai nilai terendah pada kandungan filler 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Turunnya nilai VITM ini disebabkan karena dalam campuran masih tersedia cukup bitumen bebas untuk mengisi rongga-rongga yang terbentuk akibat dari penambahan filler dalam campuran tersebut.

Penambahan filler pada campuran selanjutnya, yaitu pada kadar 6%, 7,5%, 9% untuk jenis filler abu batu dan 7,5%, 9% untuk jenis filler semen menyebabkan naiknya kadar pori dalam campuran. Hal ini disebabkan karena sudah habisnya kandungan bitumen bebas, sehingga penambahan butiran filler akan memperbanyak terbentuknya pori-pori baru dalam campuran.

Jenis filler yang berbeda tentunya mempunyai karakter yang berbeda pula, sehingga pengaruhnya terhadap suatu campuran ("HRS") juga berlainan. Butir pengisi semen dengan tingkat kehalusan yang tinggi menyebabkan campuran dengan bahan pengisi semen mempunyai nilai VITM yang lebih kecil dibandingkan dengan abu batu. Ini menunjukkan butir pengisi semen mempunyai daya atau kemampuan mengisi rongga-rongga dalam campuran yang lebih baik.



Gambar 6.2. Grafik hubungan kadar filler dengan VITM

Persen rongga dalam campuran pada penelitian ini yang memenuhi persyaratan adalah yang mempunyai nilai 3% - 6%. Lapis keras yang mempunyai nilai VITM < 3% akan mudah mengalami "bleeding". Hal ini terjadi pada temperatur perkerasan tinggi. Aspal akan mencair dan pada saat menerima beban aspal akan mengalir mencari tempat yang kosong dan mudah ditembus. Dengan keadaan

rongga terlalu kecil, maka aspal sulit masuk kedalam rongga sehingga akan naik ke permukaan.

Untuk lapis keras dengan nilai VITM > 6% akan mengurangi keawetannya, karena dengan rongga yang besar lapis keras menjadi kurang rapat atau kedap terhadap air maupun udara. Hal ini mengakibatkan aspal mudah teroksidasi sehingga pengurangan jumlah aspal akan lebih cepat.

Dari hasil penelitian ini, yang memenuhi persyaratan adalah campuran dengan kadar filler 3%, 4,5%, 6% dan 7,5% untuk jenis filler abu batu. Sedangkan untuk jenis filler semen yang memenuhi persyaratan adalah campuran dengan kadar 3%, 4,5%, 6%, 7,5% dan 9%.

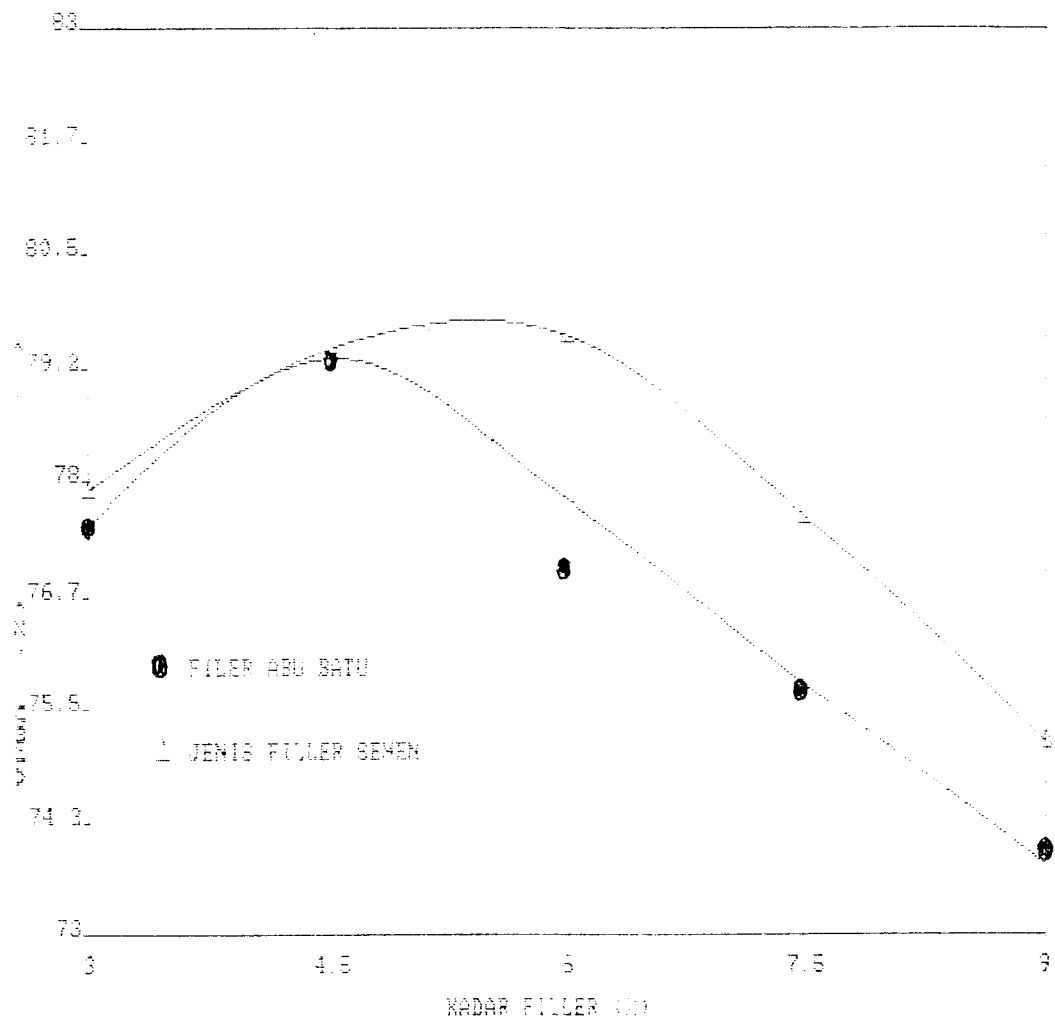
c) Terhadap VFWA

Nilai VFWA ("Void Filled With Asphalt" = % rongga terisi aspal) menunjukkan prosentase besarnya rongga dalam campuran yang dapat terisi aspal. Besarnya nilai VFWA berpengaruh terhadap kedekatan dan keawetan suatu campuran. Campuran dengan nilai VFWA yang tinggi akan memiliki kedekatan dan keawetan yang tinggi pula. Akan tetapi bila terlalu tinggi justru akan menyebabkan terjadinya "bleeding". Hal ini disebabkan karena rongga yang kosong terlalu kecil. Pada temperatur tinggi aspal akan mencair dan pada saat menerima beban, aspal akan mengalir ke tempat yang kosong dan mudah ditembus yaitu ke permukaan. Sebaliknya bila nilai VFWA terlalu rendah

akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara. Ini mengakibatkan air dan udara mudah masuk ke-dalamnya dan akan mengoksidasi aspal dalam campuran, sehingga keawetan campuran berkurang.

Dari gambar 6.3 terlihat bahwa penambahan kadar filler akan menyebabkan naiknya nilai VFWA sampai pada batas tertentu, dalam hal ini adalah 4,5 % untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Naiknya nilai VFWA disebabkan karena penambahan filler akan berakibat semakin luas pula permukaan agregat yang harus diselimuti oleh aspal. Ini berarti akan semakin banyak pula rongga-rongga di dalam campuran yang akan terisi aspal. Semua ini terjadi bila kandungan bitumen bebas dalam campuran masih tersedia dengan cukup.

Penambahan filler selanjutnya pada campuran akan mengakibatkan turunnya nilai VFWA. Turunnya nilai VFWA tersebut disebabkan karena penambahan filler sudah mengakibatkan kandungan bitumen bebas dalam campuran berkurang atau bahkan habis. Hal ini mengingat penambahan filler akan semakin memperluas permukaan agregat yang harus diselimuti bitumen. Dengan berkurangnya kandungan bitumen bebas menyebabkan rongga-rongga di dalam campuran yang terisi oleh aspalpun berkurang. Keadaan ini berlaku baik untuk jenis filler abu batu maupun semen.



Gambar 6.3 Grafik Hubungan Kadar Filler dengan VFWA

Butir pengisi semen dengan tingkat kehalusannya yang tinggi akan memungkinkan aspal dalam melakukan penetrasi ke dalam campuran batuan tidak begitu mengalami hambatan yang berarti. Sehingga aspal dapat menempati sebagian besar rongga dalam campuran. Sebaliknya untuk butir pengisi abu batu yang mempunyai tingkat kehalusan yang relatif lebih rendah dari pada semen dan keseragaman butirnyapun tidak sama menjadikan butir

pengisi tersebut mengganggu masuknya aspal ke dalam campuran. Akibatnya VFWA campuran "HRS" dengan butir pengisi abu batu lebih rendah.

Dari penelitian ini, didapatkan bahwa hasil terbaik untuk jenis filler abu batu terjadi pada kadar 4,5% sedang untuk jenis filler semen terjadi pada kadar 6%.

d) Terhadap Stabilitas

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

Stabilitas yang tinggi dicerminkan oleh adanya kerapatan campuran yang tinggi. Hubungannya dengan kenaikan kadar filler dapat dilihat dari gambar 6.4. Disitu terlihat bahwa nilai stabilitas campuran bertambah besar dengan naiknya kadar filler sampai batas tertentu, dalam hal ini adalah 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Selanjutnya penambahan filler pada campuran menyebabkan turunnya nilai stabilitas. Turunnya nilai stabilitas pada campuran tersebut dapat disebabkan oleh dua hal :

1. Penambahan filler menyebabkan kandungan bitumen bebas berkurang.

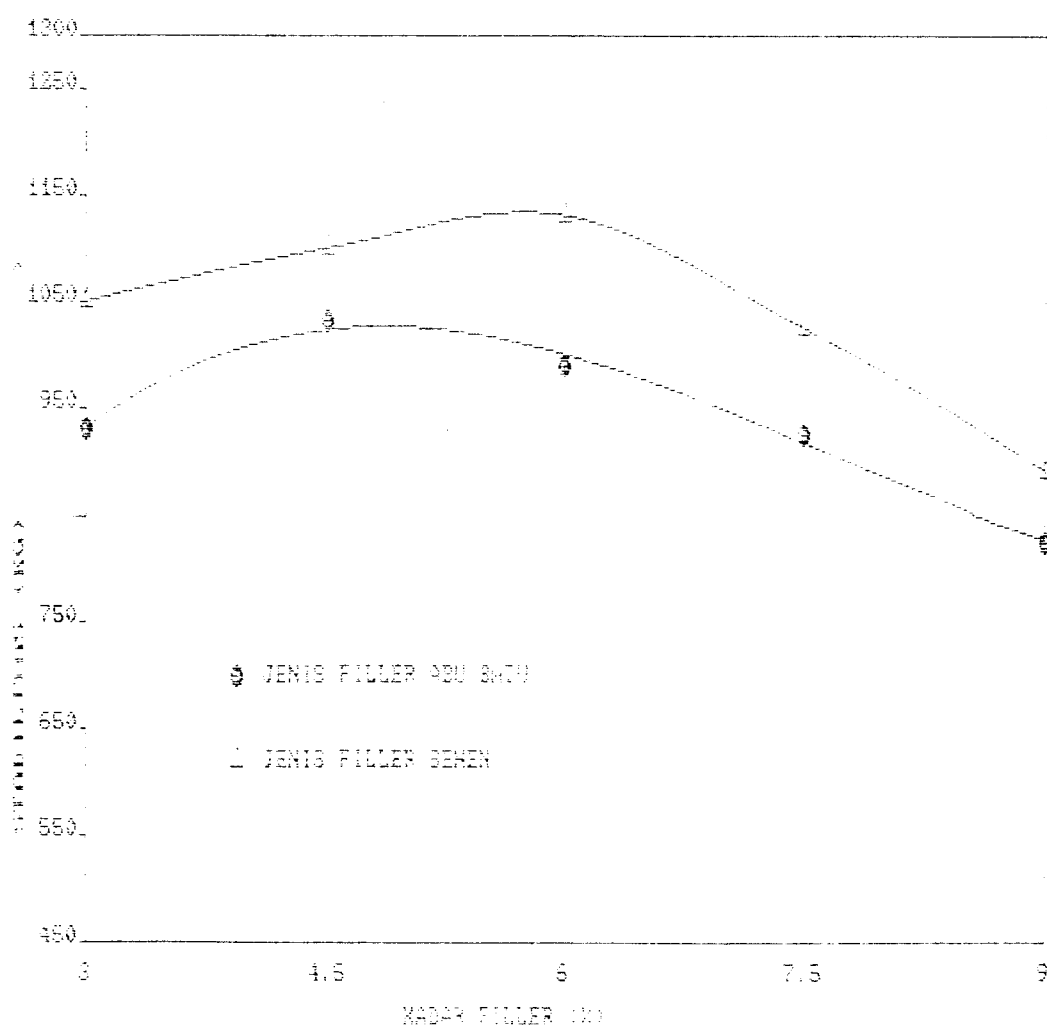
2. Adanya perubahan kondisi saling kunci antar batuan.

Pada kandungan filler 3%, 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 3%, 4,5%, 6% untuk jenis filler semen masih tersedia cukup rongga antar batuan halus dan kasar serta masih tersedia cukup bitumen bebas, sehingga dengan dinaikkannya kadar filler dalam campuran, tambahan mineral filler tersebut akan memberikan sumbangan gesekan dan atau saling kunci antar butiran batuan dengan masih tersedianya kohesi bitumen yang menyebabkan naiknya nilai stabilitas campuran. Penambahan kandungan filler selanjutnya mengakibatkan makin berkurangnya bitumen bebas bahkan habisnya bitumen bebas. Hal ini mengingat semakin banyaknya butiran-butiran filler dalam campuran yang berarti makin besar pula luas permukaan yang harus diselimuti oleh bitumen.

Pada campuran dengan bahan pengisi semen mempunyai tingkat kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan abu batu. Hal ini menjadikan stabilitas campuran yang menggunakan bahan pengisi semen lebih besar dibandingkan dengan yang menggunakan bahan pengisi abu batu.

Stabilitas yang disyaratkan oleh Bina Marga untuk "HRS" klas B adalah sebesar 550 - 1250 kg. Lapis keras dengan nilai stabilitas < 550 kg akan mudah terjadi "rutting", karena perkerasan bersifat lembek sehingga

tidak mampu mendukung beban yang berat. Sedangkan lapis keras dengan nilai stabilitas > 1250 kg akan mudah retak-retak karena perkerasan bersifat kaku, maka pada saat menerima beban dan terjadi deformasi, akan mengakibatkan deformasi yang terjadi melebihi batas elastisitas perkerasan, sehingga menjadi retak.



Gambar 6.4 Grafik Hubungan Kadar Filler dengan Stabilitas.

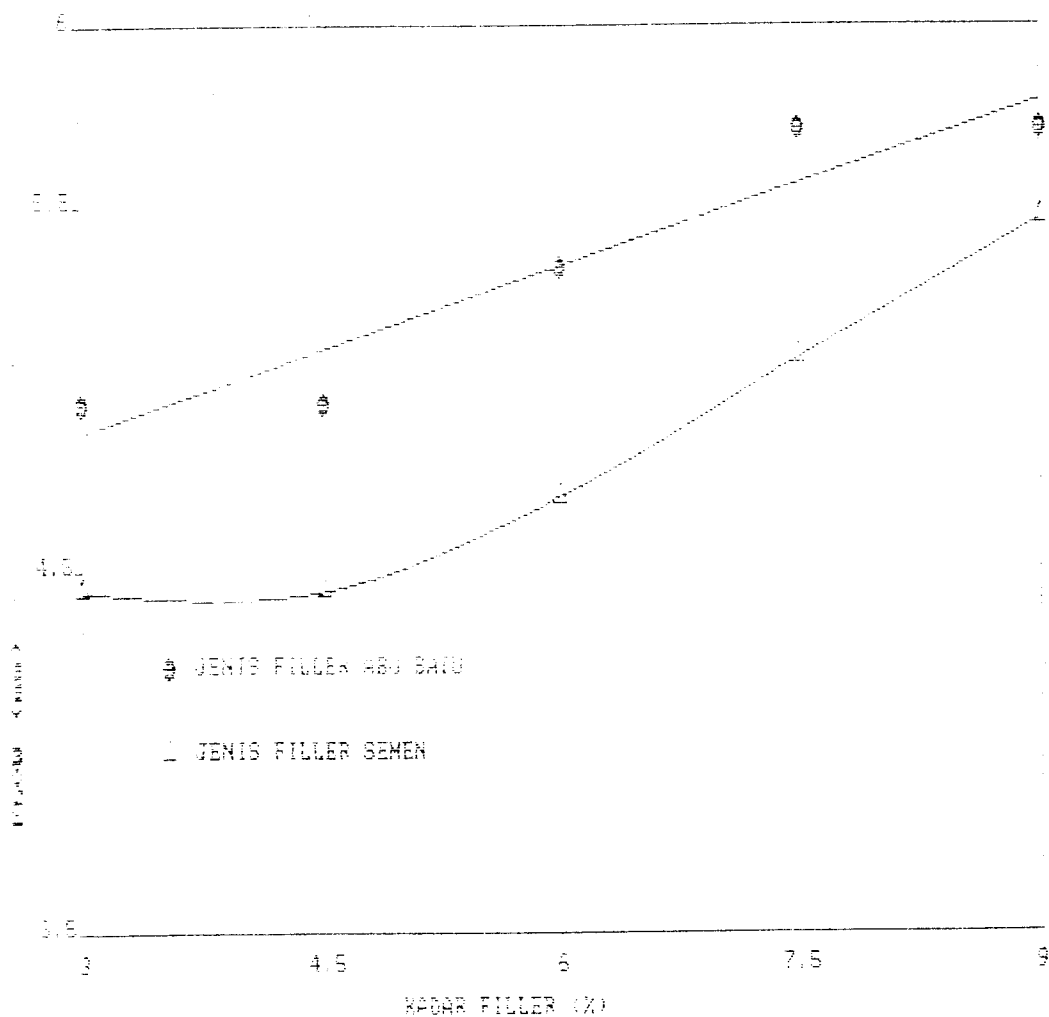
Nilai stabilitas dari hasil penelitian ini yang memenuhi persyaratan adalah campuran dengan kadar filler 3%, 4,5%, 65% dan 9%. Hal ini berlaku baik untuk jenis filler abu batu maupun semen.

e) Terhadap "Flow"

"Flow" atau kelelehan menunjukkan besarnya deformasi dari campuran akibat beban yang bekerja padanya. Peningkatan kadar filler cenderung menyebabkan semakin naiknya nilai "flow", seperti terlihat pada gambar 6.5. Telah dijelaskan dimuka, dengan semakin tingginya kadar filler yang ditambahkan dalam campuran akan mengakibatkan berkurangnya bitumen bebas bahkan habisnya bitumen bebas. Dengan semakin bertambahnya filler yang ada dalam campuran akan semakin luas pula permukaan agregat yang harus diselimuti oleh bitumen, sehingga gaya adhesi bitumen-agregat makin lama makin berkurang/lemah. Hal ini menyebabkan semakin mudahnya perkerasan mengalami deformasi akibat beban yang bekerja padanya, sehingga nilai kelelehannya cenderung membesar.

Kelelehan campuran dengan butir pengisi semen mempunyai nilai kelelehan yang lebih kecil dibandingkan dengan yang menggunakan bahan pengisi abu batu. Ini disebabkan karena karakteristik semen dengan sifat hidrolisnya yang ada, akan berpengaruh pula terhadap karakteristik aspalnya yang sedikit berubah. Perubahan itu ditunjukkan oleh kelelehan yang relatif kecil.

Untuk bahan pengisi abu batu karena bahannya tidak mempunyai sifat seperti semen, maka karakteristiknya tidak begitu berpengaruh terhadap karakteristik aspalnya. Sehingga untuk abu batu kelelehannya relatif lebih besar dibanding dengan yang menggunakan filler semen.



Gambar 6.5 Grafik Hubungan Kadar Filler dengan "Flow"

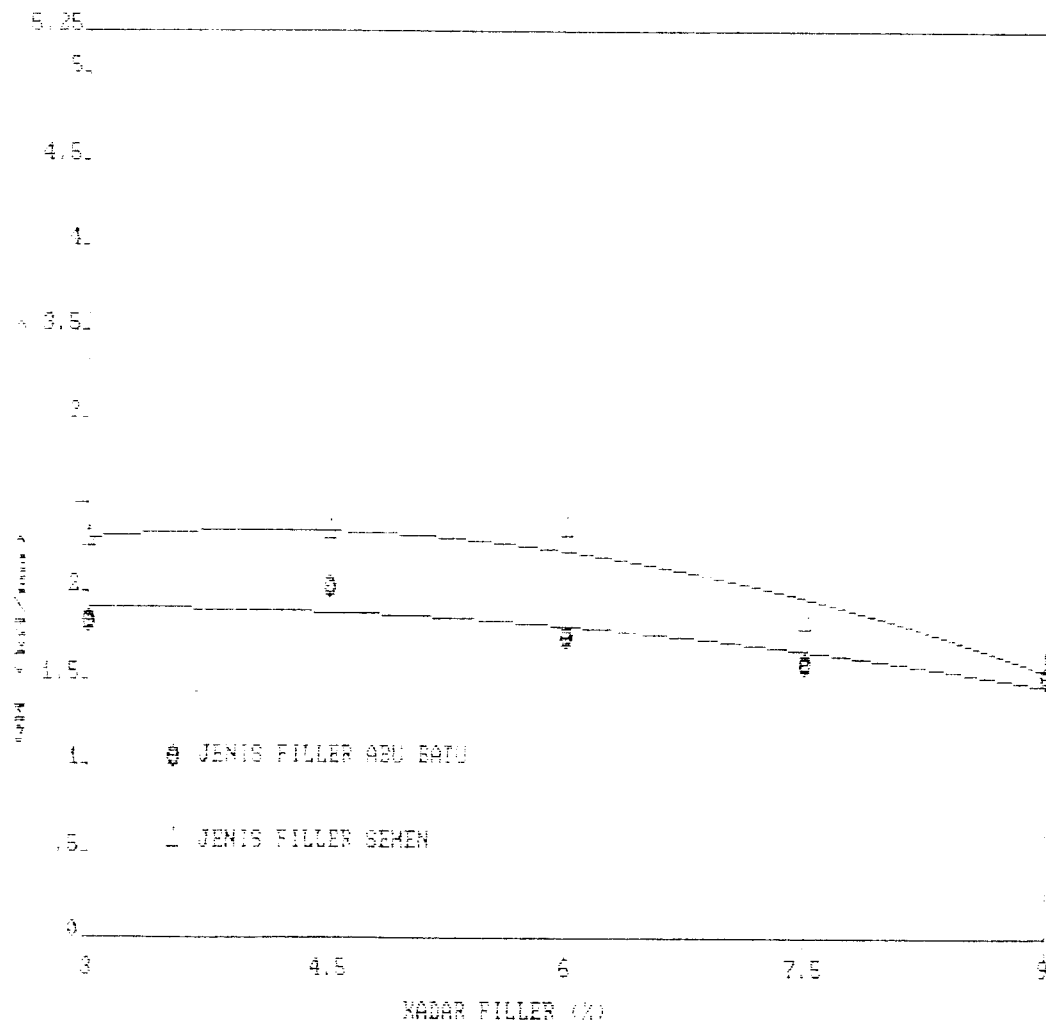
Dari hasil penelitian seperti terdapat pada gambar 6.5 diperoleh hasil yang terbaik untuk jenis filler abu batu pada kadar 3% dan untuk jenis filler semen pada kadar 3% dan 4,5%.

f) Terhadap "Marshall Quotient" (QM)

Hasil bagi Marshall ("Marshall Quotient") adalah hasil bagi dari stabilitas dengan kelelehan yang digunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Nilai QM yang tinggi menunjukkan kekakuan lapis keras tinggi dan berakibat mudah timbul retak-retak. Sebaliknya nilai QM yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel (plastis) yang akan berakibat perkerasan mudah mengalami deformasi pada waktu menerima beban lalulintas. Nilai QM ini mencerminkan tingkat plastisitas dari lapis keras "HRS"

Besarnya nilai QM sehubungan dengan perubahan kadar filler seperti terlihat pada gambar 6.6. Kecenderungan nilai QM dari penelitian ini adalah dengan semakin meningkatnya kadar filler akan meningkat pula nilai QM-nya sampai pada batas tertentu, dalam hal ini 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Selanjutnya penambahan filler pada campuran dengan kadar 6%, 7,5%, 9% untuk jenis filler abu batu dan 7,5%, 9% untuk jenis filler semen menyebabkan turunnya nilai QM. Hal ini disebabkan karena nilai stabilitas pada campuran dengan kadar filler tersebut

mengalami penurunan, sedang nilai kelelehannya cenderung naik, sehingga campuran bersifat plastis. Dengan keadaan ini lapis keras mudah mengalami deformasi apabila menerima beban lalulintas.



Gambar 6.6 Grafik Hubungan Kadar Filler dengan QM

Persyaratan nilai "Marshall Quotient" untuk campuran "HRS" kelas B sebesar 1,5 - 5 kN/mm. Perkerasan dengan nilai QM < 1,5 kN/mm akan berakibat mudah

terjadi "shoving" karena perkerasan terlalu plastis, sehingga pada waktu menerima beban akan mudah bergeser.

Apabila nilai $QM > 5$ kN/mm, perkerasan akan berkurang nilai fleksibilitasnya dan berakibat mudah terjadi "cracking" pada saat menerima beban lalulintas.

Dari hasil penelitian ini, kadar filler yang memenuhi spesifikasi adalah 3%, 4,5%, 6%, 7,5%, dan 9% baik untuk jenis filler abu batu maupun untuk jenis filler semen.

6.2.2. Evaluasi hasil laboratorium terhadap spesifikasi.

Dari hasil pengujian di laboratorium didapatkan hasil yang memenuhi persyaratan seperti terdapat pada tabel 6.6 dan 6.7 berikut

Tabel 6.6 Benda uji yang memenuhi spesifikasi dengan filler abu batu

Persyaratan Bina Marga	Kadar Filler (%)				
	3	4,5	6	7,5	9
VITM : 3-6 % Stab : 550 - 1250kg QM : 1,5-5 kN/mm	■	■	■	■	

Keterangan : ■ = memenuhi spesifikasi

Tabel 6.7 Benda uji yang memenuhi spesifikasi dengan filler semen

Persyaratan Bina Marga	Kadar Filler (%)				
	3	4,5	6	7,5	9
VITM : 3-6 % Stab : 550 - 1250kg QM : 1,5-5 kN/mm	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■

Keterangan : ■ ■ ■ ■ ■ = memenuhi spesifikasi

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa penggunaan filler abu batu yang memenuhi persyaratan adalah pada kadar 3%, 4,5%, 6% dan 7,5%. Bila menggunakan filler semen, yang memenuhi spesifikasi dengan kadar 3%, 4,5%, 6%, 7,5% dan 9%.

6.2.3. Evaluasi modulus kekakuan bitumen (S bit) yang digunakan.

Berikut ini disajikan tabel hasil perhitungan "bitumen stiffness" (modulus kekakuan bitumen) dengan menggunakan nomogram yang dikembangkan oleh "Van der Poel" dan formula yang diturunkan oleh "Ullidz"

Pada penentuan nilai kekakuan bitumen ini temperatur perkerasan yang digunakan adalah temperatur perkerasan rata-rata di Indonesia yaitu berkisar antara 30°C dan 35°C. Panjang tapak roda kendaraan diambil 27,5 cm, sedang kecepatan kendaraan yang digunakan adalah 40 km/jam ($t = 0,025$ detik) dan 70 km/jam ($t = 0,014$ detik) dengan asumsi untuk lalulintas dengan



kendaraan berat karena kendaraan berat tidak dapat melaju dengan kecepatan yang terlalu tinggi.

Tabel 6.8 Hasil Hubungan Kekakuan Bitumen dengan Nomogram dan Formula.
T R&B = 53,73°C

$$t = 0,025$$

T perkerasan (°C)	S bit formula (MPa)	S bit nomogram (N/m ²)
30	4,549988988	4500000
35	*	2000000

Keterangan : * = tidak memenuhi syarat hitungan

$$t = 0,014$$

T perkerasan (°C)	S bit formula (MPa)	S bit nomogram (N/m ²)
30	5,632188112	5600000
35	*	3000000

Keterangan : * = tidak memenuhi syarat hitungan

Dari tabel 6.8 terlihat bahwa hasil yang diperoleh untuk modulus kekakuan diantara dua metoda tersebut, yaitu dengan menggunakan formula dan nomogram menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda. Juga terlihat bahwa pada temperatur rencana perkerasan yang semakin tinggi maka nilai modulus kekakuan bitumen akan semakin mengecil. Ini sesuai dengan bitumen yang bersifat "thermoplastic". Semakin tinggi temperatur maka viskositasnya semakin menurun, sehingga modulus kekakuan bitumen akan menurun.

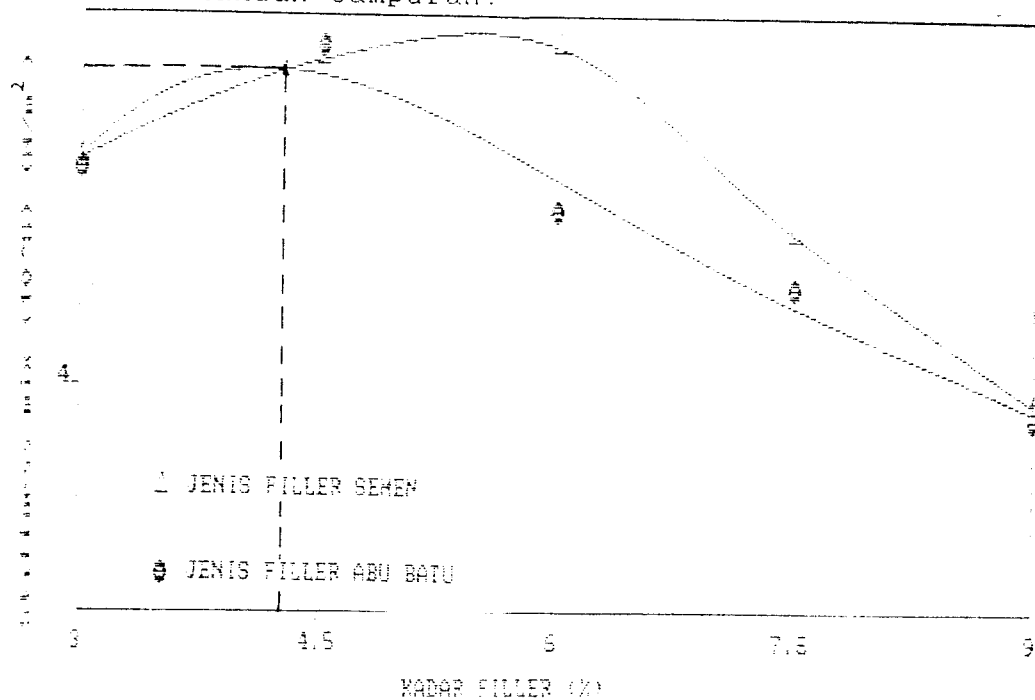
Pada temperatur yang sama tetapi pada kecepatan kendaraan yang berbeda akan menghasilkan nilai yang berbeda pula. Semakin besar kecepatan kendaraan akan semakin besar pula modulus kekakuan yang terjadi. Hal ini berhubungan dengan sifat bitumen "rheologic" yaitu hubungan antara tegangan dan regangan yang dipengaruhi oleh waktu.

6.2.4. Evaluasi modulus kekakuan campuran (S mix)

Pada penelitian ini dicari nilai modulus kekakuan campuran dengan menggunakan formula Heukelomp dan Klomp dan nomogram dari Shell. Hasil selengkapnya dari nilai modulus kekakuan campuran ini terdapat pada lampiran 16 dan 17. Selanjutnya dari hasil yang diperoleh tersebut dapat digambarkan grafik hubungan kadar filler dengan nilai modulus kekakuan campuran. Dari gambar 6.7 sampai dengan 6.10 terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya kadar filler maka nilai modulus kekakuan campuran akan semakin meningkat pula sampai pada batas tertentu, dalam hal ini 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Penambahan filler selanjutnya akan mengakibatkan turunnya nilai modulus kekakuan campuran. Ini berlaku untuk bahan pengisi baik abu batu maupun semen.

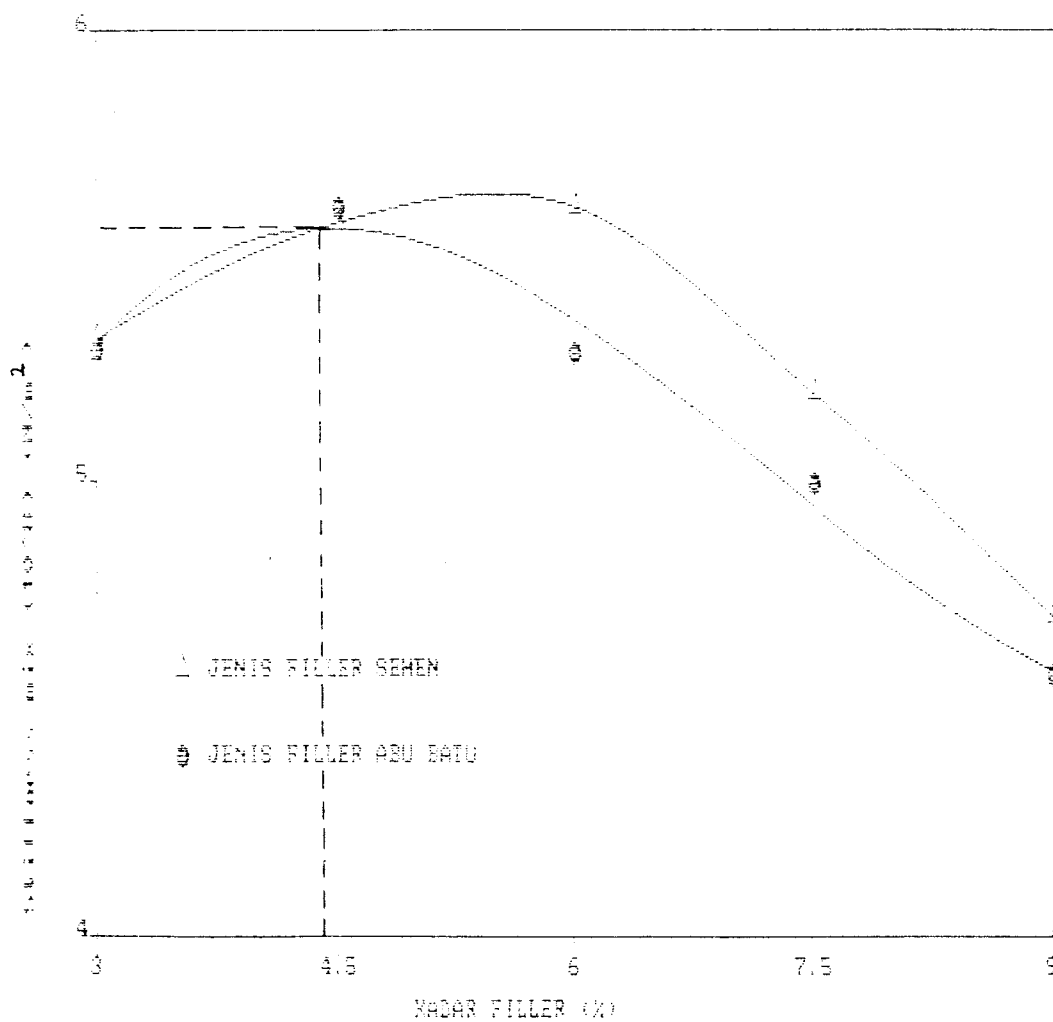
Kenaikan nilai modulus kekakuan campuran ini erat kaitannya dengan kerapatan campuran yang terjadi.

Penggunaan filler yang semakin banyak mengakibatkan kerapatan campurannya semakin besar dan volume porinya semakin kecil. Hal ini dapat terjadi bila kandungan bitumen bebas dalam campuran masih tersedia dengan cukup untuk mengisi pori-pori yang terbentuk akibat penambahan filler. Apabila penambahan filler pada campuran sudah mengakibatkan habisnya kandungan bitumen bebas, maka akan menyebabkan turunnya nilai modulus kekakuan campuran. Hal ini disebabkan karena kerapatan campuran akan semakin berkurang dengan tidak adanya bitumen yang dapat mengisi rongga-rongga yang terbentuk akibat penambahan filler pada campuran. Berarti besarnya kadar filler yang digunakan akan mempengaruhi nilai modulus kekakuan campuran.



Gambar 6.7 Grafik hubungan kadar filler dengan S mix
 $T = 30^{\circ}\text{C}$
 $S \text{ bit} = 4500000 \text{ N/m}^2$

Dari gambar 6.7 dapat dilihat bahwa pada kadar filler 4,25% untuk $T = 30^{\circ}\text{C}$ dan $S_{bit} = 4500000 \text{ N/m}^2$ akan didapat nilai S_{mix} yang sama antara campuran "HRS" yang menggunakan tambahan filler abu batu ataupun filler semen.

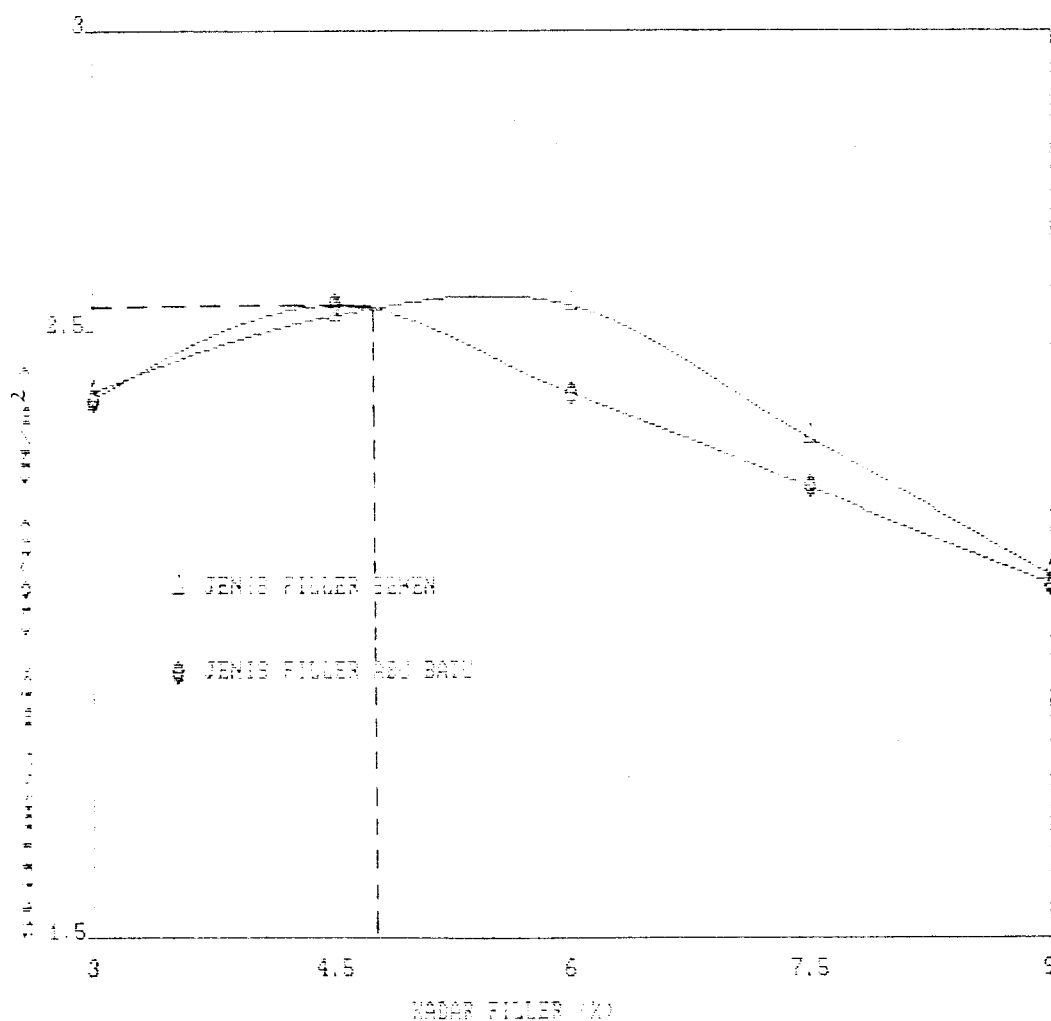


Gambar 6.8 Grafik hubungan kadar filler dengan S_{mix}

$$T = 30^{\circ}\text{C}$$

$$S_{bit} = 5600000 \text{ N/m}^2$$

Dari gambar 6.8 dapat dilihat bahwa pada kadar filler 4,4% untuk $T = 30^{\circ}\text{C}$ dan $S_{bit} = 5600000 \text{ N/m}^2$ akan didapat nilai S_{mix} yang sama antara campuran "HRS" yang menggunakan tambahan filler abu batu ataupun filler semen.

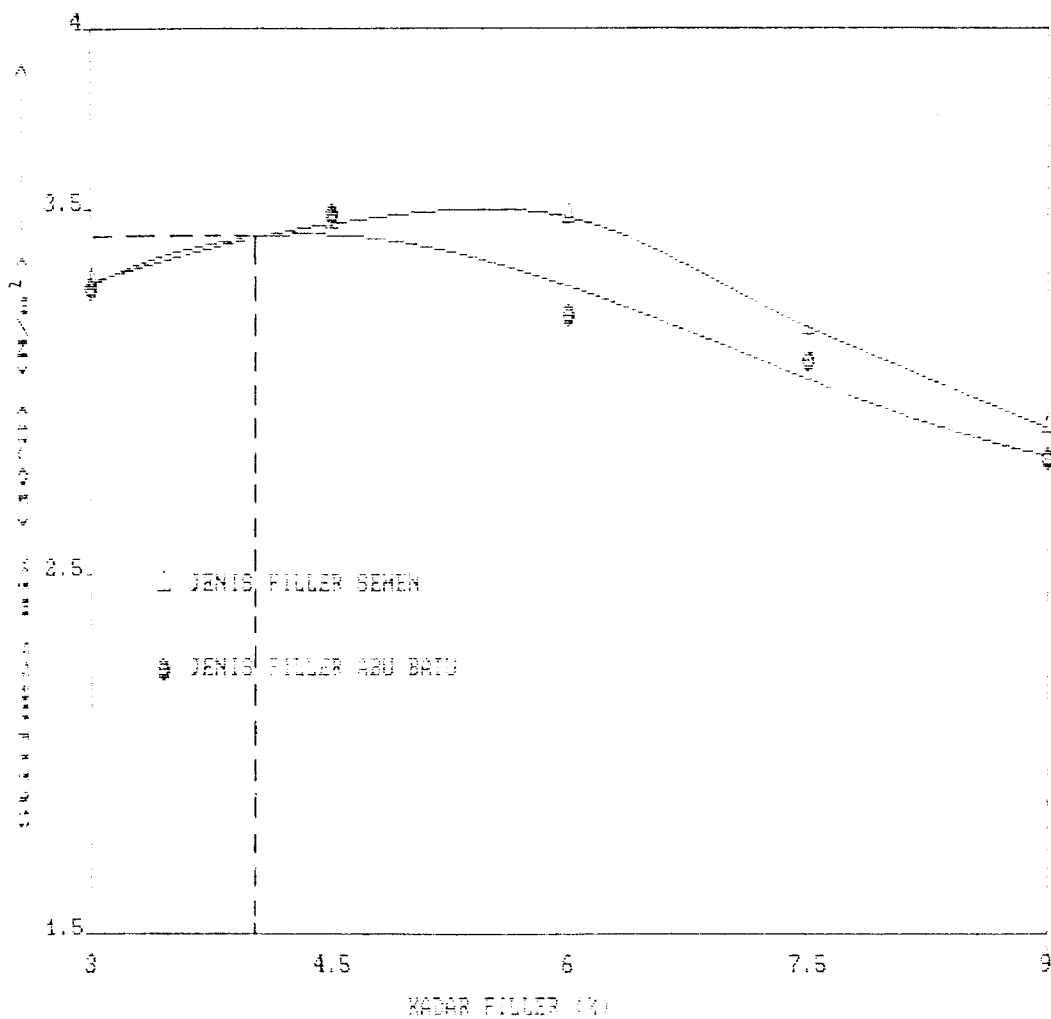


Gambar 6.9 Grafik hubungan kadar filler dengan S_{mix}

$$T = 35^{\circ}\text{C}$$

$$S_{bit} = 2000000 \text{ N/m}^2$$

Dari gambar 6.9 dapat dilihat bahwa pada kadar filler 4,75% untuk $T = 35^{\circ}\text{C}$ dan $S_{bit} = 2000000 \text{ N/m}^2$ akan didapat nilai S_{mix} yang sama antara campuran "HRS" yang menggunakan tambahan filler abu batu ataupun filler semen.



Gambar 6.10 Grafik hubungan kadar filler dengan S_{mix}

$$T = 35^{\circ}\text{C}$$

$$S_{bit} = 3000000 \text{ N/m}^2$$

Dari gambar 6.10 dapat dilihat bahwa pada kadar filler 4% untuk $T = 35^{\circ}\text{C}$ dan $S_{bit} = 3000000 \text{ N/m}^2$ akan didapat nilai S_{mix} yang sama antara campuran "HRS" yang menggunakan tambahan filler abu batu ataupun filler semen.

6.2.5. Pengaruh variasi jenis dan kadar filler terhadap koefisien kekuatan relatif berdasar AASHO 1972

Pada metoda ini koefisien kekuatan relatif merupakan fungsi dari nilai stabilitas Marshall dengan satuan lbs. Harga koefisien kekuatan relatif (a_1) dari masing-masing benda uji adalah sebagai berikut :

Tabel 6.9 Koefisien Kekuatan Relatif Campuran

Kadar filler	Stabilitas (lbs) abu batu	a_1	Stabilitas (lbs) semen	a_1
3 %	2048,9638	0,430	2304,0575	0,459
4,5 %	2274,2560	0,450	2338,4005	0,460
6 %	2101,6820	0,440	2493,5537	0,500
7,5 %	2034,8478	0,428	2089,0872	0,435
9 %	1935,0352	0,420	1957,5672	0,421

Dari tabel 6.9 terlihat bahwa kenaikan kadar filler akan mempengaruhi kenaikan nilai stabilitas campuran "HRS" sampai pada batas tertentu, dalam hal ini 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Dengan naiknya nilai stabilitas, nilai koefisien kekuatan relatif (a_1) campuran akan semakin besar, sehingga tebal lapis permukaan lapis keras

menjadi semakin kecil.

Penambahan filler selanjutnya pada campuran akan menyebabkan turunnya nilai stabilitas. Turunnya nilai stabilitas akan menyebabkan nilai koefisien kekuatan relatif (a_1) campuran mengecil, sehingga tebal lapis permukaan lapis keras menjadi semakin besar.

Dari tabel 6.9 dapat dilihat bahwa nilai koefisien kekuatan relatif (a_1) terbesar dihasilkan oleh campuran dengan kadar filler 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Dari filler abu batu diperoleh nilai a_1 maksimum sebesar 0,450 sedang dari filler semen a_1 maksimum sebesar 0,500.

Didalam perancangan tebal lapis keras yang menggunakan "HRS" sebagai lapis permukaan, koefisien kekuatan relatif "HRS" dianggap nol atau tidak mempunyai nilai struktural. karena campuran "HRS" hanya mempunyai bahan agregat kasar sedikit. Sedangkan bahan pembentuk utama "HRS" berupa mortar yang terdiri dari agregat halus sebagai bagian terbanyak, filler dan aspal. Kedudukan agregat kasar pada campuran "HRS" berbeda dengan kedudukan agregat kasar pada campuran beton aspal. Pada campuran beton aspal akan terjadi saling mengunci ("Interlocking") antar agregat kasar. Hal ini dimungkinkan karena fraksi agregat kasar pada campuran beton aspal lebih banyak dibanding fraksi agregat halusnya dan gradasinya menerus, sehingga nilai



koefisien kekuatan relatif beton aspal lebih besar. Sedang pada campuran "HRS" yang hanya mempunyai sedikit agregat kasar, kedudukan agregat kasarnya seolah-olah mengambang ("floating") di dalam mortar, maka deformasi yang terjadi adalah deformasi dari mortar. Sehingga kemampuan "HRS" dalam menahan beban lalulintas ditentukan oleh kekuatan mortarnya bukan ditentukan oleh agregat kasarnya seperti pada campuran beton aspal. Hal ini mengakibatkan nilai koefisien kekuatan relatif campuran "HRS" sangat kecil atau dianggap nol. Oleh sebab itu "HRS" sebagai lapis permukaan dianggap tidak mempunyai nilai struktural.

Tetapi dengan adanya modifikasi dari bahan penyusun "HRS", memungkinkan "HRS" mempunyai lebih banyak bahan agregat kasar pada campurannya. Sebagai akibat dari modifikasi ini menyebabkan nilai koefisien kekuatan relatif "HRS" bertambah besar. Dengan bertambah besarnya nilai koefisien kekuatan relatif pada campuran "HRS" menunjukkan bahwa campuran "HRS" hasil modifikasi akan dapat juga dijadikan sebagai lapis permukaan yang mempunyai nilai struktural. Dari hasil penelitian nilai kekuatan relatif (a_1) dengan campuran "HRS" yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada tabel 6.9 di atas.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan seperti yang telah dijelaskan di muka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi jenis dan kadar filler akan menghasilkan nilai-nilai "density", VFWA, stabilitas dan "Marshall Quotient" yang bervariasi. Dengan naiknya kadar filler akan diikuti pula oleh kenaikan nilai-nilai "density", VFWA, stabilitas dan "Marshall Quotient" sampai pada batas tertentu, dalam hal ini 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Penambahan filler selanjutnya pada campuran justru akan menurunkan nilai-nilai tersebut diatas.
2. Dengan naiknya kadar filler dalam campuran akan mengakibatkan turunnya nilai VITM sampai pada batas tertentu, dalam hal ini 4.5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Penambahan filler selanjutnya dalam campuran akan mengakibatkan naiknya nilai VITM.
3. Dengan bertambahnya kadar filler dalam campuran menyebabkan nilai "flow" cenderung naik. Hal ini berlaku baik pada jenis filler abu batu maupun jenis filler semen.

4. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, 1988 untuk lapis keras "HRS" B, variasi kadar filler yang memenuhi persyaratan ada 4 variasi yaitu pada kadar 3%, 4,5%, 6% dan 7,5% untuk jenis filler abu batu. Sedang untuk jenis filler semen yang memenuhi persyaratan ada 5 variasi, yaitu pada kadar 3%, 4,5%, 6%, 7,5% dan 9%.
5. Penambahan kadar filler pada campuran akan menyebabkan naiknya nilai modulus kekakuan campuran (S_{mix}) dan nilai koefisien kekuatan relatif (a_1) sampai pada batas tertentu, dalam hal ini 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen. Sedang penambahan filler selanjutnya akan mengakibatkan turunnya nilai modulus kekakuan campuran (S_{mix}) dan nilai koefisien kekuatan relatif (a_1) campuran.
6. Campuran "HRS" B dengan kualitas terbaik pada penelitian ini akan dihasilkan oleh penambahan filler dengan kadar 4,5% untuk jenis filler abu batu dan 6% untuk jenis filler semen.
7. Secara umum dapat dikatakan bahwa pemakaian jenis filler semen akan menghasilkan kualitas campuran yang lebih baik dibanding dengan jenis filler abu batu.

7.2 Saran

1. Kesimpulan tersebut di atas didasarkan dari hasil pengujian laboratorium untuk gradasi batuan dan kadar aspal tertentu serta dua macam filler (abu batu dan semen) saja. Oleh karena itu untuk mengetahui pengaruh filler pada campuran "Hot Rolled Sheet" secara lebih luas perlu kiranya penelitian lanjut untuk berbagai tipe gradasi batuan, kadar aspal dan jenis filler lain.
2. Agar suatu penelitian berjalan lancar dan berhasil dengan baik, maka sebelum melakukan penelitian selain mengetahui prosedur pelaksanaannya juga harus menguasai teorinya terlebih dahulu. Sehingga apabila terjadi penyimpangan hasil dapat diketahui sejak awal. Selain itu untuk memperoleh akurasi hasil yang lebih baik, jumlah benda uji untuk setiap sampel sebaiknya lebih dari 2 buah.

PENUTUP

Jerih payah yang dilakukan akhirnya membuahkan hasil juga. Hasil dari penelitian di laboratorium selama melakukan Tugas Akhir, akhirnya dapat disampaikan sebagaimana laporan yang dibuat ini.

Dalam menyusun Tugas Akhir ini telah diusahakan menyajikan hal-hal yang terbaik, namun demikian disadari sepenuhnya kekurangan dan keterbatasan yang ada, sehingga Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Sebagai manusia biasa, dengan hati terbuka penyusun menerima saran dan kritik membangun dari pembaca demi perbaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penyusun berharap semoga dengan selesainya Tugas Akhir ini dapat banyak memberikan manfaat bagi penyusun pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Amien.

DAFTAR PUSTAKA

- Cox B.J., 1982, *Hot-mix Asphalt Pavements for Tropical Countries*, Bina Marga, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, 1983, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston)*, No 12/PT/B/1983, Jakarta
- Heukelom W., Wijga P.W.O., 1973, *Bitumen Testing*, Shell Laboratory, Amsterdam.
- Krebs, D.R. , and Walker D.R. , 1971, *"Highway Material"*, Mc. Graw-Hill Book Company, Virginia Polytechnic Institut and state University, USA.
- Koninklijke/Shell, Laboratorium, *"Bitumen Testing"* Amesterdam.
- Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil FT-UII, *"Petunjuk Praktikum Jalan Raya"*, Yogyakarta
- Shell, 1973, *Shell Pavement Design Manual*, Shell International Petroleum Company Limited, London.
- Silvia Sukirman, 1982, *"Perkerasan Lentur Jalan Raya"*, Nova, Bandung.
- The Asphalt Institute, 1983, *Asphalt Technology and Construction Practices*, Educational Series No.1 (ES-1), Second Edition
- The Asphalt Institute, 1983, *Principles of Construction of Hot Mix Asphalt Pavements*, Manual Series No.22 (MS-22)
- Tunicliff, 1962. *A Review of Mineral Filler*, Proceeding AAPT. Volume 36
- Zamhari, K.A. , 1982, *Beberapa Sifat "HRS" di Laboratorium*, Konperensi Tahunan Teknik Jalan Ke-1, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Jalan, Departemen P.U , Bandung.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK JUR. TEKNIK SIPIL
JL. DEMANGAN BARU 24, YOGYAKARTA

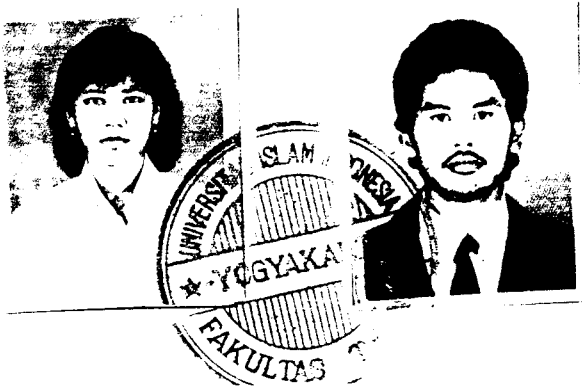
KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	RINTA FRISTIANA	87310056		TRANSPORTASI
2.	BAMBANG BUDI HARSONO	83310122		TRANSPORTASI

Dosen Pembimbing : IR. H. WARDANI SARTONO, MSC.
Asisten Dosen Pembimbing : IR. H. BACHNAS, MSC.
1 2

Yogyakarta, 26 Juni 1993

an Dekan
KETUA JURUSAN TEKNIK SIPIL,



(IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE.)



CATATAN-KONSULTASI

No.	Tanggal	Konsultasi ke :	KETERANGAN	Paraf
	25/10-'93		Bab VI dan VII. diperbaiki	BSS
	27/10-'93		Bab VI dan VII. Ace untuk dikonsultasikan dg Dosen Pemb.	BSS
	29/10-'93		<p>Dalihan pustaka spy di tulis</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Babadai Jorran petungale 2. Bab I spy Uaall. spy di gabung luyhug dg caption in. 	JH
	29/10-'93.		<p>- simpakan bahan transkripsi yg parah 2 saja / yg dapat menyalahi laporan. peneliti lain.</p> <ul style="list-style-type: none"> - intisari tidak boleh disingkat lagi - kesimpulan dan saran tidak boleh disingkat. - judul penelitian harus di urutkan. 	BSS

LABORATORIUM JALAN RAYA
Jurusan Teknik Sipil FTSP UII
Yogyakarta
=====

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT

J E N I S G R A D A S I		BENDA UJI
S A R I N G A N		
L O L O S	TERTAHAN	I
76,2 mm (3")	63,5 mm (2,5")	
63,5 mm (2,5")	50,8 mm (2")	
50,8 mm (2")	37,5 mm (1,5")	
37,5 mm (1,5")	25,4 mm (1")	
25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1500
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1500
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)	
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 6)	
JUMLAH BENDA UJI (A)		5000
JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12 (B)		1648
KEAUSAN = $\frac{(A - B)}{A} \times 100 \%$		36,14 %

LABORATORIUM JALAN RAYA
 Jurusan Teknik Sipil FTSP UII
 Yogyakarta
 =====

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

K E T E R A N G A N	BENDA UJI
	I
Berat benda uji dalam keadaan jenuh (SSD) (B J)	1501,2
Berat benda uji dalam air (B A)	847,5
Berat benda uji kering oven (B K)	1482,0
Berat jenis (Bulk) $\frac{(B K)}{(B J - B A)}$	2,3765
Berat jenis (SSD) $\frac{(B J)}{(B J - B A)}$	2,7112
Berat jenis semu (Apparent) $\frac{(B K)}{(B K - B A)}$	2,7727
Penyerapan (Absorption) $\frac{(B J - B K)}{(B K)} \times 100 \%$	1,2955 %

LABORATORIUM JALAN RAYA
Jurusan Teknik Sipil FTSP UII
Yogyakarta

=====

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

K E T E R A N G A N	BENDA UJI
	I
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500
Berat Vicnometer + Air (B)	589
Berat Vicnometer + Air + Benda uji (B T)	698
Berat benda uji kering oven (B K)	482
Berat jenis (Bulk) $\frac{(B K)}{(B + 500 - B T)}$	2,5759
Berat jenis (SSD) $\frac{(500)}{(B + 500 - B T)}$	2,6173
Berat jenis semu (Apparent) $\frac{(B K)}{(B + B K - B T)}$	2,9895
Penyerapan (Absorption) $\frac{(B J - B K)}{(B K)} \times 100 \%$	1,326 %

LABORATORIUM JALAN RAYA
Jurusan Teknik Sipil FTSP UII
Yogyakarta
=====

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Nc	Urutan Pemeriksaan	Berat
1	Berat vionometer kosong	28,58 gram
2	Berat vionometer + Aquades	78,12 gram
3	Berat air (2 - 1)	49,54 gram
4	Berat vionometer + contoh Aspal	30,56 gram
5	Berat contoh Aspal (4 - 1)	1,98 gram
6	Berat vionometer + contoh + Aquades	78,15 gram
7	Berat airnya saja (6 - 4)	47,59 gram
8	Isi contoh / air yang dipindahkan (8-7)	1,95 gram
9	Berat Jenis Aspal (5 / 7)	1,001 gram

PEMERIKSAAN KEHILANGAN BERAT (LOSS ON HEATING)

C O N T O H	Berat (Gram)	
	I	II
Cawan + Aspal Keras	83,680	79,020
Cawan Kosong	13,940	14,410
Berat Aspal Keras	69,740	64,610
Berat sebelum dipanaskan	83,680	79,020
Berat sesudah dipanaskan	83,650	79,000
Kehilangan Berat	0,030	0,020
LOSS ON HEATING (%)	0,0430 %	0,0310 %
Rata-rata	0,037 %	

LABORATORIUM JALAN PAVY
 Jurusan Teknik Sipil FTSP UII
 Yogyakarta
 =====

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Sket Hasil Penetrasi	No	Cawan (I)	Cawan (II)
	1	58,5	60
	2	60	70
	3	70	67,5
	4	77	65
	5	66,5	72
Rata-rata		64,5	66,9

$$\text{Rata-rata Penetrasi} = \frac{I + II}{2} = \frac{64,5 + 66,9}{2} = 65,7$$

PEMERIKSAAN PENETRASI SETELAH KEHILANGAN BERAT

Penetrasi pada 25 ^o C 100 gr, 5 detik		Cawan (I)	Cawan (II)
Penganalar	1	50	50
	2	51	52
	3	53	53
	4	48	50
	5	50	50
Rata-rata I & II		50,6	51,6
Rata-rata (I + II)		51,1	
% of original :		$\frac{51,1}{65} \times 100 \% = 78,6 \%$	

LABORATORIUM JALAN RAYA
 Jurusan Teknik Sipil FTSP UII
 Yogyakarta
 =====

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN TITIK BAKAR ASPAL

Dawan	Titik Nyala	Titik Bakar
I	350 ^o C	370 ^o C
II	344 ^o C	373 ^o C
Rata-rata	347 ^o C	371,5 ^o C

PEMERIKSAAN TITIK LEMBЕК ASPAL

No	Suhu yang diawasi (^o C)	Waktu (detik)	
		I	II
	5	0	0
	10	1'	1'
	15	2'5"	1'55"
	20	3'5"	1'55"
	25	3'30"	3'55"
	30	4'05"	4'55"
	35	5'35"	6'01"
	40	6'18"	7'21"
	45	7'10"	8'18"
	50	8'05"	9'9"
	55		
Suhu Titik Lembek		53,5 ^o C	54 ^o C
Suhu Rata-rata		53,75 ^o C	



LABORATORIUM JALAN RAYA
 Jurusan Teknik Sipil FTSP UII
 Yogyakarta

=====

PEMERIKSAAN DAKTILITAS

Daktilitas pada suhu 25 ^o C Kecepatan 5 cm/menit	Pembacaan pengukur pada alat
Pengamatan	> 100 cm

PEMERIKSAAN KELEKATAN ASPAL

Kelekatan 500 gram batuan Suhu 40 ^o C Waktu 3 jam	Contoh % dari permukaan yang diselimuti aspal
Pengamatan	> 95 %

LABORATORIUM JALAN RAYA
Jurusan Teknik Sipil FTSP UII
Yogyakarta
=====

PEMERIKSAAN KELARUTAN DALAM CCL 4

1. Berat botol Erlenmeyer kosong	107,180 gr
2. Berat Erlenmeyer + aspal	110,740 gr
3. Berat aspal (2 - 1)	3,560 gr
4. Berat kertas saring bersih	35,820 gr
5. Berat kertas saring + endapan	35,850 gr
6. Berat endapan saja. (5 - 4)	0,030 gr
7. Persentase endapan ($\frac{6}{3} -$ X 100 %)	0,8427 %
8. Bitumen yang larut (100 % - 7)	99,1573 %

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

Clay Reading	5,4
Sand Reading	3,7
SE = $\frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100$	68,52 %

SOILTEST INC., EVANSTON, ILLINOIS

PROVING RING PR-60
 SERIAL NO. 21929
 CAPACITY 2721.09 KILOGRAMS
 CALIBRATION DATE 24 JUN 1986

$$X \text{ (KILOGRAMS)} = 3.5069642507 * Y \text{ (DIVISIONS)} + 23.051875285$$

$$\text{CORRELATION COEFFICIENT} = .9999043667$$

VALUE IN KILOGRAMS

VISIONS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
70 *	269	273	276	280	283	287	290	294	297	301
80 *	304	308	311	315	318	322	325	329	332	336
90 *	339	343	346	350	353	357	360	364	367	371
100 *	374	378	381	385	388	392	395	399	402	406
110 *	409	413	416	420	423	427	430	434	437	441
120 *	444	448	451	455	458	462	465	469	472	476
130 *	479	483	486	490	493	497	500	504	509	511
140 *	515	518	522	525	529	532	536	539	543	546
150 *	550	553	557	560	564	567	571	574	578	581
160 *	585	588	592	595	599	602	606	609	613	616
170 *	620	623	627	630	634	637	641	644	648	651
180 *	655	658	662	665	669	672	676	679	683	686
190 *	690	693	697	700	704	707	711	714	718	721
200 *	725	728	732	735	739	742	746	749	753	757
210 *	760	764	767	771	774	778	781	785	788	792
220 *	795	799	802	806	809	813	816	820	823	827
230 *	830	834	837	841	844	848	851	855	858	862
240 *	865	869	872	876	879	883	886	890	893	897
250 *	900	904	907	911	914	918	921	925	928	932
260 *	935	939	942	946	949	953	956	960	963	967
270 *	970	974	977	981	984	988	991	995	998	1002
280 *	1006	1009	1013	1016	1020	1023	1027	1030	1034	1037
290 *	1041	1044	1048	1051	1055	1058	1062	1065	1069	1072
300 *	1076	1079	1083	1086	1090	1093	1097	1100	1104	1107
310 *	1111	1114	1118	1121	1125	1128	1132	1135	1139	1142
320 *	1146	1149	1153	1156	1160	1163	1167	1170	1174	1177
330 *	1181	1184	1188	1191	1195	1198	1202	1205	1209	1212
340 *	1216	1219	1223	1226	1230	1233	1237	1240	1244	1247
350 *	1251	1254	1258	1262	1265	1269	1272	1276	1279	1283
360 *	1286	1290	1293	1297	1300	1304	1307	1311	1314	1318
370 *	1321	1325	1328	1332	1335	1339	1342	1346	1349	1353
380 *	1356	1360	1363	1367	1370	1374	1377	1381	1384	1388
390 *	1391	1395	1398	1402	1405	1409	1412	1416	1419	1423
400 *	1426	1430	1433	1437	1440	1444	1447	1451	1454	1458
410 *	1461	1465	1468	1472	1475	1479	1482	1486	1489	1493
420 *	1496	1500	1503	1507	1511	1514	1518	1521	1525	1528
430 *	1532	1535	1539	1542	1546	1549	1553	1556	1560	1563
440 *	1567	1570	1574	1577	1581	1584	1588	1591	1595	1598
450 *	1602	1605	1609	1612	1616	1619	1623	1626	1630	1633
460 *	1637	1640	1644	1647	1651	1654	1658	1661	1665	1668
470 *	1672	1675	1679	1682	1686	1689	1693	1696	1700	1703
480 *	1707	1710	1714	1717	1721	1724	1728	1731	1735	1738
490 *	1742	1745	1749	1752	1755	1759	1763	1767	1770	1774
500 *	1777	1781	1784	1788	1791	1795	1798	1802	1805	1809

VALUE IN KILOGRAMS

SIONS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 *	1812	1816	1819	1823	1826	1830	1833	1837	1840	1844
0 *	1847	1851	1854	1858	1861	1865	1868	1872	1875	1879
0 *	1882	1886	1889	1893	1896	1900	1903	1907	1910	1914
0 *	1917	1921	1924	1928	1931	1935	1938	1942	1945	1949
0 *	1952	1956	1959	1963	1966	1970	1973	1977	1980	1984
0 *	1987	1991	1994	1998	2001	2005	2008	2012	2016	2019
0 *	2023	2026	2030	2033	2037	2040	2044	2047	2051	2054
0 *	2058	2061	2065	2068	2072	2075	2079	2082	2086	2089
0 *	2093	2096	2100	2103	2107	2110	2114	2117	2121	2124
0 *	2128	2131	2135	2138	2142	2145	2149	2152	2156	2159
0 *	2163	2166	2170	2173	2177	2180	2184	2187	2191	2194
0 *	2198	2201	2205	2208	2212	2215	2219	2222	2226	2229
0 *	2233	2236	2240	2243	2247	2250	2254	2257	2261	2265
0 *	2268	2272	2275	2279	2282	2286	2289	2293	2296	2300
0 *	2303	2307	2310	2314	2317	2321	2324	2328	2331	2335
0 *	2338	2342	2345	2349	2352	2356	2359	2363	2366	2370
0 *	2373	2377	2380	2384	2387	2391	2394	2398	2401	2405
0 *	2408	2412	2415	2419	2422	2426	2429	2433	2436	2440
0 *	2443	2447	2450	2454	2457	2461	2464	2468	2471	2475
0 *	2478	2482	2485	2489	2492	2496	2499	2503	2506	2510
0 *	2513	2517	2521	2524	2528	2531	2535	2538	2542	2545
0 *	2549	2552	2556	2559	2563	2566	2570	2573	2577	2580
0 *	2584	2587	2591	2594	2598	2601	2605	2608	2612	2615
0 *	2619	2622	2626	2629	2633	2636	2640	2643	2647	2650
0 *	2654	2657	2661	2664	2668	2671	2675	2678	2682	2685
0 *	2689	2692	2696	2699	2703	2706	2710	2713	2717	2720
0 *	2724	2727	2731	2734	2738	2741	2745	2748	2752	2755
0 *	2759	2762	2766	2770	2773	2777	2780	2784	2787	2791

**TABEL GRADASI AGREGAT
UNTUK Mencari KADAR ASPAL OPTIMUM**

Berat total benda uji 1200 gram
Kadar filler yang digunakan 6%

Kadar aspal 7%

Ukuran saringan (inci)	Prosentase		Berat tertahan (gram)	Jumlah berat (gram)
	Lolos	Tertahan		
3/4	100	0	0	0
1/2	90	10	223,2	223,2
3/8	70	30	111,6	334,8
1/4	61	39	100,44	435,24
#4	55	45	68,76	502,20
#8	53	47	22,32	524,52
#30	37	63	173,88	705,98
#50	26	74	122,76	828,84
#100	16	84	111,60	940,44
#200	6	94	111,60	1049,04
pan	0	100	68,76	1116,0

Kadar aspal 5%

Ukuran saringan (inci)	Prosentase		Berat tertahan (gram)	Jumlah berat (gram)
	Lolos	Tertahan		
3/4	100	0	0	0
1/2	96	4	220,8	220,8
3/8	70	30	110,4	331,2
1/4	61	39	99,36	430,56
#4	55	45	68,76	499,32
#8	53	47	22,32	521,64
#30	37	63	173,88	695,52
#50	26	74	122,76	818,28
#100	16	84	110,40	928,68
#200	6	94	110,40	1037,08
pan	0	100	68,76	1104,0

Kadar aspal 7,5%

Ukuran saringan (inci)	Prosentase		Berat tertahan (gram)	Jumlah berat (gram)
	Lolos	Tertahan		
3/4	100	0	0	0
1/2	90	10	222	222
3/8	70	30	111	333
1/4	61	39	99,6	432,6
#4	55	45	68,6	499,6
#8	53	47	22,2	521,8
#30	37	63	177,6	702,6
#50	26	74	122,1	824,7
#100	16	84	111	935,7
#200	6	94	111	1046,7
pan	0	100	68,6	1110,0

Kadar aspal 5,5%

Ukuran saringan (inci)	Prosentase		Berat tertahan (gram)	Jumlah berat (gram)
	Lolos	Tertahan		
3/4	100	0	0	0
1/2	96	4	219,6	219,6
3/8	70	30	109,8	329,4
1/4	61	39	98,82	428,22
#4	55	45	68,68	494,10
#8	53	47	21,96	516,06
#30	37	63	173,88	690,74
#50	26	74	120,78	811,52
#100	16	84	109,80	921,32
#200	6	94	109,80	1031,12
pan	0	100	68,68	1095,00

**TABEL HASIL PENGUJIAN MARSHALL
(UNTUK KADAR ASPAL OPTIMUM)**

No	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	GM
1a	7,53	7	1185	1195	667	532	2,229	2,363	18,250	78,999	5,721	21,011	72,772	5,713	431	1532	1440,08	3,558	3,987
1b	7,53	7	1187	1192	668	534	2,223	2,363	18,259	78,812	5,929	21,188	72,017	5,923	433	1549	1455,65	3,048	4,564
rerata							2,2259				5,825		72,395				1448,36	3,302	4,525
2a	8,11	7,5	1190	1194	663	531	2,241	2,347	18,478	79,023	4,499	20,977	78,553	4,517	435	1560	1462,00	3,310	3,811
2b	8,11	7,5	1190	1199	667	532	2,237	2,347	18,449	78,882	4,889	21,118	77,891	4,587	440	1557	1458,02	3,302	4,416
rerata							2,239				4,684		78,222				1455,01	3,558	4,114
3a	8,70	8	1183	1197	659	528	2,241	2,331	17,577	78,598	3,827	21,404	82,120	3,381	330	1151	1208,18	4,313	3,742
3b	8,79	8	1180	1190	663,5	524,5	2,150	2,331	17,647	78,911	3,442	21,089	82,579	3,475	338	1209	1236,81	3,558	3,407
rerata							2,2455				3,6345		82,399				1222,49	3,937	3,075
4a	9,29	8,5	1158	1197	670	527	2,354	2,314	18,788	78,823	2,994	21,377	87,368	2,953	333	1157	1178,87	4,825	2,394
4b	9,29	8,5	1191	1194	664,5	529,5	2,249	2,314	18,742	78,448	2,810	21,552	88,758	2,807	331	1158	1199,29	4,064	2,392
rerata							2,2515				2,702		87,417				1168,98	4,445	2,342

Petenerangan :

- a = % aspal terhadap batuan
- b = % aspal terhadap campuran
- c = berat sebelum direndam (gram)
- d = berat dalam keadaan jenuh (gram)
- e = berat dalam air (gram)
- f = ISI (ISI) = d - e
- g = berat isi benda uji = c/f
- h = berat jenis maksimum (teoritis)

$$\frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{B_0 \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{B_0 \text{ aspal}}}$$

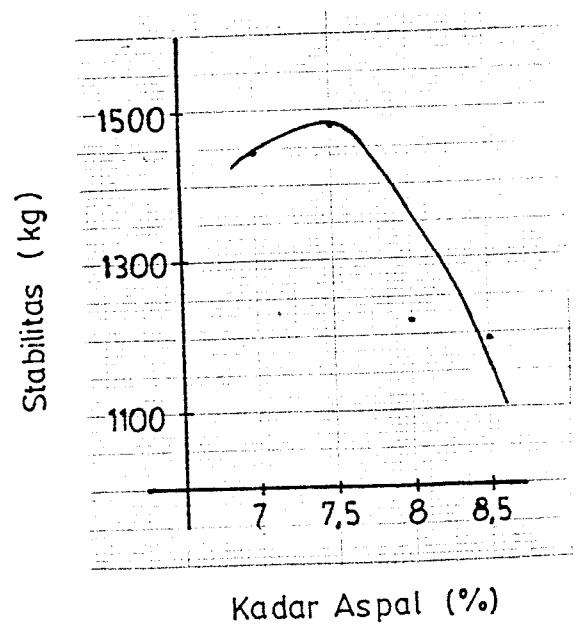
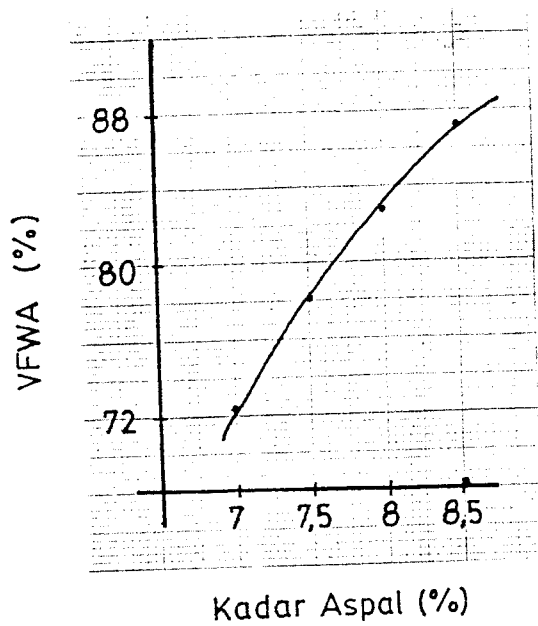
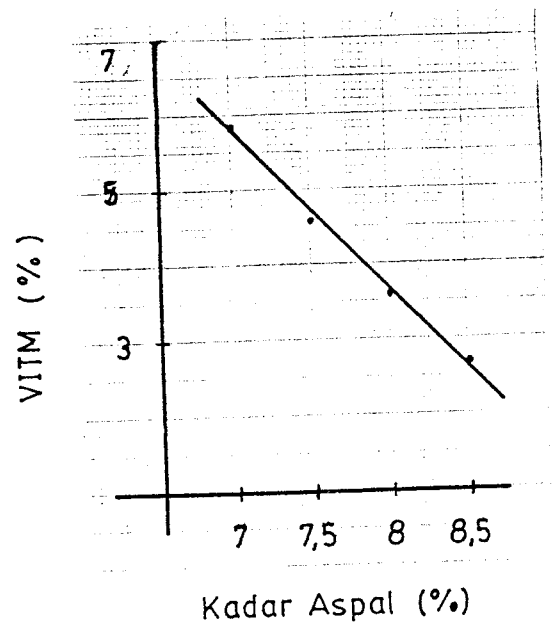
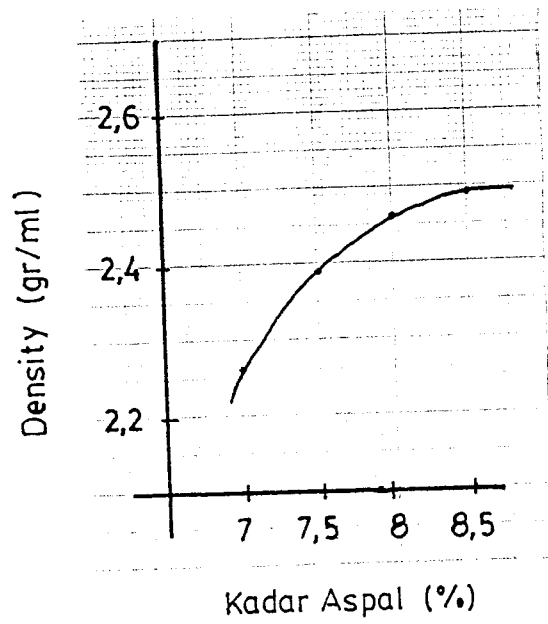
$$i = \frac{b \times g}{B_0 \text{ aspal} (100 - b) g}$$

$$j = \frac{b \times g}{B_0 \text{ agregat}}$$

- 1. suhu pencampuran = 160°C
- 2. suhu pemadatan = 140°C
- 3. suhu percoosan = 60°C
- 4. B₀ aspal = 1,02 gr/ml
- 5. B₀ agregat = 2,532 gr

- k = jumlah kandungan rongga (%) = 100 - i - j
- l = % rongga terhadap agregat = 100 - j
- m = % rongga terisi aspal = 100 x i/l
- n = % rongga terhadap campuran = 100 - 100 g/h
- o = pembacaan arloji stabilitas
- p = stabilitas (kalibrasi alat)
- q = stabilitas (p x koreksi benda uji) (kg)
- r = keleleran (cm)
- GM = "Marshall Quotient" (kN/mm) ✓

GRAFIK PENENTUAN KADAR ASPAL OPTIMUM



**TABEL HASIL PENGUJIAN MARSHALL
(VARIASI KADAR FILLER - JENIS FILLER ABU BATU)**

Kadar	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	QM
3%	62,600	8,696	8	1190	1193	655	538	2,212	2,330	17,348	77,576	5,076	22,424	77,364	5,064	253	911	931,4980	5,080	1,7970
	62,917	8,696	8	1191	1193	655	538	2,214	2,330	17,363	77,649	4,988	22,351	77,683	4,979	254	914	927,3220	4,826	1,8830
rerata								2,213				5,032		77,6253				929,4100	4,953	1,8400
4,5%	62,670	8,696	8	1189	1191	656	535	2,222	2,330	17,463	77,929	4,608	22,071	79,122	4,635	284	1020	1041,1615	5,080	2,009
	62,700	8,696	8	1191	1193	657,5	535,5	2,224	2,330	17,506	77,999	4,495	22,001	79,569	4,549	279	1002	1422,040	4,826	2,075
rerata								2,223				4,5515		79,3455				1031,6025	4,953	2,042
6%	62,517	8,696	8	1190	1193	654	539	2,208	2,330	17,316	77,438	5,246	22,562	76,749	5,236	258	928	950,8060	5,334	1,7470
	62,300	8,696	8	1191	1193	654	539	2,210	2,330	17,333	77,508	5,159	22,492	77,063	5,150	258	928	955,8400	5,334	1,7560
rerata								2,209				5,2025		76,906				953,3230	5,334	1,7515
7,5%	62,230	8,696	8	1192	1194	653	541	2,203	2,330	17,279	77,263	5,459	22,737	75,991	5,451	246	886	914,1310	5,588	1,603
	62,083	8,696	8	1189	1194	653,5	540,5	2,200	2,330	17,255	77,158	5,587	22,842	75,541	5,579	250	900	931,8830	5,842	1,563
rerata								2,2015				5,5230						923,007	5,715	1,583
9%	62,217	8,696	8	1193	1196	651	545	2,189	2,330	17,168	76,772	6,060	23,228	73,911	6,032	240	865	892,7450	5,588	1,566
	62,083	8,696	8	1191	1194	649,5	544,5	2,187	2,330	17,153	76,702	6,145	23,298	73,624	6,137	235	841	862,7190	5,842	1,447
rerata								2,188				6,1025		73,7675				877,7320	5,715	1,5065

Keterangan :

a = % aspal terhadap batuan
 b = % aspal terhadap campuran
 c = berat sebelum direndam (gram)
 d = berat dalam keadaan jenuh (gram)
 e = berat dalam air (gram)
 f = isi (ml) = d - e
 g = berat isi benda uji = c/f
 h = berat jenis maksimum (teoritis)

$$i = \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{\text{BJ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{\text{BJ aspal}}}$$

$$j = \frac{b \times g}{\text{BJ aspal} - (100 - b) g}$$

$$j = \frac{b \times g}{\text{BJ agregat}}$$

k = jumlah kandungan rongga (%) = 100 - i - j
 l = % rongga terhadap agregat = 100 - j
 m = % rongga terisi aspal = 100 x i/l
 n = % rongga terhadap campuran = 100 - 100 g/h
 o = pembacaan arloji stabilitas
 p = stabilitas (kalibrasi alat)
 q = stabilitas (p x koreksi benda uji) (kg)
 r = kelelahan (mm)
 t = tinggi rata-rata benda uji (mm)
 QM = "Marshall Quotient" (kN/mm) = q/r

1. suhu pencampuran = 160°C
2. suhu pemadatan = 140°C
3. suhu percobaan = 60°C
4. BJ aspal = 1,02 gr/ml
5. BJ agregat = 2,632 gr/ml

**TABEL HASIL PENGUJIAN MARSHALL
(VARIASI KADAR FILLER - JENIS FILLER SEMEN)**

Kadar	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	GM
3%	62,600	8,696	8	1190	1192	657	535	2,224	2,335	17,443	77,786	4,771	22,214	78,523	4,754	287	1030	1053,1750	4,572	2,2560
	62,950	8,696	8	1191	1194	656,5	537,5	2,216	2,335	17,381	77,506	5,113	22,494	77,270	5,096	285	1023	1037,0660	4,318	2,3540
rerata								2,220				4,942		77,397				1045,1205	4,445	2,3060

Berat Jenis aspal = 1,02 Berat Jenis agregat = 2,6304

Kadar	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	GM
4,5%	63,267	8,696	8	1191	1193	660	533	2,233	2,338	17,514	78,003	4,483	21,997	79,620	4,491	290	1041	1047,064	4,318	2,3770
	62,767	8,696	8	1189	1191	658	533	2,231	2,338	17,498	77,933	4,569	22,067	79,295	4,377	294	1055	1074,333	4,572	2,3030
rerata								2,232				4,526		79,456				1060,6985	4,445	2,3400

Berat Jenis aspal = 1,02 Berat Jenis agregat = 2,6337

Kadar	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	GM
6%	62,817	8,696	8	1190	1193	662	531	2,241	2,348	17,577	77,874	4,549	22,126	79,441	4,657	309	1107	1125,902	4,572	2,4130
	63,100	8,696	8	1192	1195	663,5	531,5	2,243	2,348	17,592	77,944	4,464	22,056	79,751	4,472	314	1125	1136,250	4,626	2,3070
rerata								2,242				4,5065		79,601				1131,076	4,699	2,3600

Berat Jenis aspal = 1,02 Berat Jenis agregat = 2,6475

Kadar	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	GM
7,5%	62,450	8,696	8	1190	1193	660	533	2,233	2,354	17,514	77,345	5,141	22,355	77,307	5,140	256	921	945,1760	5,080	1,8300
	62,417	8,596	8	1190	1191	559	532	2,237	2,354	17,545	77,484	4,971	22,316	77,822	4,970	257	925	950,0440	5,090	1,8300
rerata								2,235				5,056		77,615				947,3100	5,080	1,8260

Berat Jenis aspal = 1,02 Berat Jenis agregat = 2,6561

Kadar	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	GM
9%	62,950	8,696	8	1192	1195	658	537	2,220	2,358	17,412	75,733	5,855	23,267	74,836	5,852	243	875	888,0450	5,334	1,6300
	62,300	8,696	8	1190	1193	658	535	2,224	2,358	17,443	75,571	5,686	23,129	75,416	5,583	239	862	887,8600	5,588	1,6370
rerata								2,222				5,7705		75,126				877,9530	5,461	1,5945

Berat Jenis aspal = 1,02 Berat Jenis agregat = 2,6617

Keterangan :

- a = % aspal terhadap batuan
- b = % aspal terhadap campuran
- c = berat sebelum direndam (gram)
- d = berat dalam keadaan jenuh (gram)
- e = berat dalam air (gram)
- f = isi (ml) = d - e
- g = berat isi benda uji = c/f
- h = berat jenis maksimum (teoritis)

$$i = \frac{b \times g}{BJ \text{ aspal}}$$

$$j = \frac{(100 - b) \times g}{BJ \text{ agregat}}$$

- k = jumlah kandungan rongga (%) = 100 - i - j
- l = % rongga terhadap agregat = 100 - j
- m = % rongga terisi aspal = 100 x i/l
- n = % rongga terhadap campuran = 100 - 100 g/h
- o = pembacaan arloji stabilitas
- p = stabilitas (kalibrasi alat)
- q = stabilitas (p x koreksi benda uji) (kg)
- r = kelelahan (mm)
- t = tinggi rata-rata benda uji (mm)
- GM = "Marshall Quotient" (kN/mm) = q/r

- 1. suhu pencampuran = 160°C
- 2. suhu padatatan = 140°C
- 3. suhu pembacaan = 50°C

$$\frac{100}{\% \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{BJ \text{ agregat} + BJ \text{ aspal}}$$

TABEL HASIL PERHITUNGAN S mix

t = 0,025
S bit = 4500000 N/m²

n = 3,277544
T = 30°C

Jenis	Kadar	Vb	Vg	Vv	VMA	Dv	Dv'	Cb	X	S mix (1)	S mix (2)
Abu-batu	3%	17,3564	77,6116	5,0320	22,3684	0,8172400	0,800965	0,182761	0,132690	447745982,6	450000000
	4,5%	17,4442	78,0043	4,5515	21,9957	0,8172397	0,804754	0,182760	0,130154	476125000,8	520000000
	6%	17,5253	77,4722	5,2025	22,5278	0,8172389	0,799627	0,182761	0,133582	426861802,2	450000000
	7,5%	17,2567	77,2103	5,5230	22,7897	0,8172391	0,797128	0,182761	0,135248	422132533,6	450000000
	9%	17,1508	76,7367	5,1025	23,2633	0,8172390	0,792647	0,182761	0,138235	394635273,2	450000000
Semen	3%	17,4118	77,6462	4,9420	22,3538	0,8158297	0,801269	0,183170	0,132487	449861464,2	450000000
	4,5%	17,5059	77,9861	4,5260	22,0419	0,8158300	0,804349	0,183377	0,130454	472052777,3	510000000
	6%	17,5844	77,9091	4,5065	22,0909	0,8158376	0,804749	0,184142	0,130187	475087406,8	520000000
	7,5%	17,5295	77,4145	5,0560	22,5655	0,8153701	0,798944	0,184630	0,134037	424001802,9	450000000
	9%	17,4275	76,8020	5,7705	23,1982	0,8150526	0,793081	0,184947	0,137947	397203518,4	450000000

Keterangan : S mix (1) = formula dari Heukelomp and Klop
S mix (2) = nomogram dari Shell

t = 0,025
S bit = 2000000 N/m²

n = 3,569855
T = 35°C

Jenis	Kadar	Vb	Vg	Vv	VMA	Dv	Dv'	Cb	X	S mix (1)	S mix (2)
Abu-batu	3%	17,3564	77,6116	5,0320	22,3684	0,8172400	0,800965	0,182761	0,132690	368883189,6	250000000
	4,5%	17,4442	78,0043	4,5515	21,9957	0,8172397	0,804754	0,182760	0,130154	354487215,0	250000000
	6%	17,5253	77,4722	5,2025	22,5278	0,8172389	0,799627	0,182761	0,133582	333579326,6	250000000
	7,5%	17,2567	77,2103	5,5230	22,7897	0,8172391	0,797128	0,182761	0,135248	324350075,6	240000000
	9%	17,1508	76,7367	5,1025	23,2633	0,8172390	0,792647	0,182761	0,138235	268827504,4	250000000
Semen	3%	17,4118	77,6462	4,9420	22,3538	0,8158297	0,801269	0,183170	0,132487	240067478,6	270000000
	4,5%	17,5059	77,9861	4,5260	22,0419	0,8158300	0,804349	0,183377	0,130474	282755914,8	275000000
	6%	17,5844	77,9091	4,5065	22,0909	0,8158376	0,804749	0,184142	0,130187	254465746,2	290000000
	7,5%	17,5295	77,4145	5,0560	22,5655	0,8153701	0,798944	0,184630	0,134037	221077509,3	250000000
	9%	17,4275	76,8020	5,7705	23,1982	0,8150526	0,793081	0,184947	0,137947	210264899,0	250000000

Keterangan : S mix (1) = formula dari Heukelomp and Klop
S mix (2) = nomogram dari Shell

TABEL HASIL PERHITUNGAN S mix

t = 0,014
 S bit = 5600000 N/m²

n = 3,198714
 T = 30°C

Jenis	Kadar	Vb	Vg	Vv	VMA	Dv	Dv'	Cb	k	S mix (1)	S mix (2)
Abu-batu	3%	17,3564	77,6116	5,0320	22,3884	0,8172400	0,900965	0,182761	0,132690	529103263,6	580000000
	4,5%	17,4442	78,0043	4,5515	21,9957	0,8172397	0,804754	0,182760	0,130164	560850107,8	620000000
	6%	17,3263	77,4722	5,2025	22,5278	0,8172389	0,799627	0,182761	0,133582	518471652,6	570000000
	7,5%	17,2667	77,2103	5,5230	22,7897	0,8172391	0,797128	0,182761	0,135248	499373074,8	550000000
	9%	17,1608	76,7367	6,1025	23,2533	0,8172390	0,792647	0,182761	0,138235	467434212,8	520000000
Semen	3%	17,4118	77,6462	4,9420	22,3538	0,8168297	0,801269	0,183170	0,132487	531559696,3	590000000
	4,5%	17,5059	77,9581	4,5260	22,0419	0,8162300	0,804349	0,183377	0,130434	557336260,0	610000000
	6%	17,5844	77,9091	4,5065	22,0909	0,8158578	0,804749	0,184142	0,130167	560606543,3	620000000
	7,5%	17,5295	77,4145	5,0560	22,5855	0,8153701	0,798944	0,184630	0,134037	513158432,2	570000000
	9%	17,4275	76,8020	5,7703	23,1982	0,8150528	0,793081	0,184947	0,137947	470400146,7	525000000

Keterangan : S mix (1) = formula dari Heukelomp and Klopff
 S mix (2) = nomogram dari Shell

t = 0,014
 S bit = 3000000 N/m²

n = 3,423599
 T = 35°C

Jenis	Kadar	Vb	Vg	Vv	VMA	Dv	Dv'	Cb	k	S mix (1)	S mix (2)
Abu-batu	3%	17,3564	77,6116	5,0320	22,3884	0,8172400	0,900965	0,182761	0,132690	527615735,9	730000000
	4,5%	17,4442	78,0043	4,5515	21,9957	0,8172397	0,804754	0,182760	0,130164	548537724,2	570000000
	6%	17,3263	77,4722	5,2025	22,5278	0,8172389	0,799627	0,182761	0,133582	520689365,4	750000000
	7,5%	17,2667	77,2103	5,5230	22,7897	0,8172391	0,797128	0,182761	0,135248	503271093,5	500000000
	9%	17,1608	76,7367	6,1025	23,2533	0,8172390	0,792647	0,182761	0,138235	487565218,3	710000000
Semen	3%	17,4118	77,6462	4,9420	22,3538	0,8168297	0,801269	0,183170	0,132487	529914758,5	750000000
	4,5%	17,5059	77,9581	4,5260	22,0419	0,8162300	0,804349	0,183377	0,130434	546404510,6	570000000
	6%	17,5844	77,9091	4,5065	22,0909	0,8158578	0,804749	0,184142	0,130167	547664534,5	570000000
	7,5%	17,5295	77,4145	5,0560	22,5855	0,8153701	0,798944	0,184630	0,134037	517229967,2	540000000
	9%	17,4275	76,8020	5,7703	23,1982	0,8150528	0,793081	0,184947	0,137947	489484694,5	510000000

Keterangan : S mix (1) = formula dari Heukelomp and Klopff
 S mix (2) = nomogram dari Shell