TUGAS AKHIR
PERBANDINGAN PENGARUH PENGGUNAAN SEMEN PORTLAND DAN LIMBAH PADAT INDUSTRI TEKSTIL *(SLUDGE)* SEBAGAI *FILLER* PADA CAMPURAN HRS B

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil



MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

Disusun oleh :

N U R K H A L I S
No. Mhs. 97511012

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2001

TUGAS AKHIR
PERBANDINGAN PENGARUH PENGGUNAAN SEMEN PORTLAND DAN LIMBAH PADAT INDUSTRI TEKSTIL *(SLUDGE)* SEBAGAI *FILLER* PADA CAMPURAN HRS B

Disusun oleh :

N U R K H A L I S

No. Mhs. 97511012

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Subarkah, MT
Dosen Pembimbing I

Tanggal : 11-01-02

Ir. Bachnas, MSc
Dosen Pembimbing II

Tanggal : 10-01-02

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Lembar Pengesahan ii
Daftar Isi iii
Daftar Tabel vi
Daftar Gambar viii
Daftar Lampiran ix
Kata Pengantar xi
Intisari xiv

BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Tujuan Penelitian 3
1.3 Manfaat Penelitian 3
1.4 Batasan Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Umum 5
2.2 Pembahasan 9

BAB III LANDASAN TEORI
3.1 Perkerasan Jalan 11
3.2 Karakteristik Perkerasan 13
3.2.1 Stabilitas *(Stability)* 13
3.2.2 Durabilitas *(Durability)* 14
3.2.3 Kelenturan *(Fleksibilitas)* 15
3.2.4 Kekesatan *(Skid Resistence)* 15
3.2.5 Ketahanan Kelelahan *(Fatique Resistence)* 16
3.2.6 Kemudahan Untuk di Kerjakan *(Workability)* 16
3.3 Pengertian *Hot Rolled Sheet* (HRS) 17

3.4 Bahan penyusun *Hot Rolled Sheet* (HRS) 18
3.4.1 Agregat 18
3.4.2 *Filler* 24
3.4.3 Aspal Keras 26
3.5 Limbah Padat Industri Tekstil *(Sludge)* 28
3.6 Parameter *Marshall Test* 30
3.6.1 Stabilitas 30
3.6.2 *Flow* 31
3.6.3 *Density* 32
3.6.4 *Void Filled With Asphalt* (VFWA) 33
3.6.5 *Void in Total Mix* (VITM) 34
3.6.6 *Marshall Quotient* (MQ) 35
3.7 *Imersion Test* 36
3.8 Modulus Kekakuan 36
3.8.1 Kekakuan Bitumen *(Bitument Stiffness)* 36
3.8.2 Kekakuan Campuran *(Mix Stiffness)* 40
BAB IV HIPOTESIS
BAB V METODE PENELITIAN
5.1 Metodologi Penelitian 45
5.2 Cara Memperoleh Data 47
5.2.1 Lokasi, Bahan dan Alat Penelitian 47
5.2.2 Pengujian Bahan 50
5.2.3 Pengujian Campuran 53
5.3 Analisis 55
BAB VI HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN
6.1 Hasil Penelitian Laboratorium 59
6.1.1 Hasil Pemeriksaan Bahan 59
6.1.2 Hasil Pengujian Benda Uji 60
6.1.3 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Campuran Aspal – *Sludge* 65

6.2 Pembahasan 65
6.2.1 Stabilitas 65
6.2.2 *Flow* 68
6.2.3 *Void in Total Mix* (VITM) 70
6.2.4 *Void Filled With Asphalt* (VFWA) 72
6.2.5 *Density* 75
6.2.6 *Marshall Quotient* (MQ) 76
6.2.7 *Imersion Test* 78
6.2.8 Tinjauan Campuran Aspal - *Sludge* 81
6.3 Modulus Kekakuan 82
6.3.1 Kekakuan Bitumen *(Bitument Stiffness)* 82
6.3.2 Kekakuan Campuran *(Mix Stiffness)* 84
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN
7.1 Kesimpulan 92
7.2 Saran 94

Daftar Pustaka

Lampiran

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Gradasi Agregat HRS B	20
Tabel 3.2	Persyaratan Aspal Keras	27
Tabel 3.3	Hasil Pemeriksaan Parameter Fisika dan Kimia Limbah Padat Industri Tekstil *(Sludge)* asal PT. Jogjatex	30
Tabel 5.1	Koreksi Tebal Benda Uji	57
Tabel 6.1	Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar	59
Tabel 6.2	Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	59
Tabel 6.3	Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Aspal Keras AC 60-70	60
Tabel 6.4	Persyaratan Lapis Aspal Beton Untuk Lalu Lintas Berat	60
Tabel 6.5	Hasil Pengujian *Marshall* untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler* Semen Portland	61
Tabel 6.6	Hasil Pengujian *Marshall* untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge*	62
Tabel 6.7	Hasil Pengujian *Marshall* untuk Campuran HRS B	64
Tabel 6.8	Hasil Pengujian *Imersion* untuk Campuran HRS B	64
Tabel 6.9	Hasil Pemeriksaan Penetrasi Campuran Aspal - *Sludge*	65
Tabel 6.10	Nilai Stabilitas (Kg) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*	66
Tabel 6.11	Nilai *Flow* (mm) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*	68
Tabel 6.12	Nilai VITM (%) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*	71
Tabel 6.13	Nilai VFWA (%) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*	73
Tabel 6.14	Nilai *Density* (gr/cc) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*	66
Tabel 6.15	Nilai *Marshall Quotient* (Kg/mm) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*	77
Tabel 6.16	Nilai Stabilitas (Kg) Campuran HRS B Kadar Aspal Optimum	78

Tabel 6.17 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge* dengan Metode Shell 86
Tabel 6.18 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler* Semen Portland dengan Metode Shell 86
Tabel 6.19 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge* dengan Metode Heukellom dan Klomp..... 90
Tabel 6.20 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler* Semen Portland dengan Metode Heukellom dan Klomp..... 90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal	30
Gambar 3.2	Grafik Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal	31
Gambar 3.3	Grafik Hubungan *Density* dengan Kadar Aspal	32
Gambar 3.4	Grafik Hubungan VFWA dengan Kadar Aspal	33
Gambar 3.5	Grafik Hubungan VITM dengan Kadar Aspal	34
Gambar 3.6	Grafik Hubungan *Marshall Quotient* dengan Kadar Aspal	35
Gambar 3.7	Nomogram Van Der Poel	38
Gambar 3.8	Nomogram Penentuan Kekakuan Campuran	42
Gambar 5.1	Bagan Alir Penelitian Laboratorium	46
Gambar 6.1	Kadar Aspal Optimum untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge*	63
Gambar 6.2	Kadar Aspal Optimum untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler* Semen Portland	63
Gambar 6.3	Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal Campuran HRS B	66
Gambar 6.4	Grafik Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal Campuran HRS B	69
Gambar 6.5	Grafik Hubungan VITM dengan Kadar Aspal Campuran HRS B	71
Gambar 6.6	Grafik Hubungan VFWA dengan Kadar Aspal Campuran HRS B	73
Gambar 6.7	Grafik Hubungan *Density* dengan Kadar Aspal Campuran HRS B	76
Gambar 6.8	Grafik Hubungan MQ dengan Kadar aspal Campuran HRS B	77
Gambar 6.9	Grafik Hubungan Nilai Penetrasi Campuran Aspal – *Sludge*	82
Gambar 6.10	Grafik Hubungan Kekakuan Campuran Menggunakan Metode Shell dengan Kadar Aspal Campuran HRS B	87
Gambar 6.11	Grafik Hubungan Kekakuan Campuran Menggunakan Metode Heukellom dan Klomp dengan Kadar Aspal Campuran HRS B	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat kasar

Lampiran 3 Pemeriksaan Keausan Agregat *(Abrasi Test)*

Lampiran 4 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Lampiran 5 *Sand Equivalent* Data

Lampiran 6 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Lampiran 7 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Lampiran 8 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

Lampiran 9 Pemeriksaan Daktilitas *(Ductility)* / Residu

Lampiran 10 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Lampiran 11 Pemeriksaan Kelarutan Dalam CCL_4 *(Solubility)*

Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Sludge*

Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis Semen

Lampiran 14 Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 6,0 %)

Lampiran 15 Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 6,5 %)

Lampiran 16 Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 7,0 %)

Lampiran 17 Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 7,5 %)

Lampiran 18 Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 8,0 %)

Lampiran 19 Perhitungan *Marshall Test* (Kadar Aspal 6,0 %)

Lampiran 20 Perhitungan *Marshall Test* (Kadar Aspal 6,5 %)

Lampiran 21 Perhitungan *Marshall Test* (Kadar Aspal 7,0 %)

Lampiran 22 Perhitungan *Marshall Test* (Kadar Aspal 7,5 %)

Lampiran 23 Perhitungan *Marshall Test* (Kadar Aspal 8,0 %)

Lampiran 24 Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 6,82 %)

Lampiran 25 Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 6,62 %)

Lampiran 26 Perhitungan *Marshall Test* (Kadar Aspal Optimum)

Lampiran 27 Perhitungan *Imersion Test*

Lampiran 28 Pemeriksaan Penetrasi Aspal – *Sludge* (72 – 56,4)
Lampiran 29 Pemeriksaan Penetrasi Aspal – *Sludge* (78 – 56,1)
Lampiran 30 Pemeriksaan Penetrasi Aspal – *Sludge* (84 – 55,8)
Lampiran 31 Pemeriksaan Penetrasi Aspal – *Sludge* (90 – 55,5)
Lampiran 32 Pemeriksaan Penetrasi Aspal – *Sludge* (96 – 55,2)

KATA PENGANTAR

Assalamualikum Wr.Wb

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik dan hidayah yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tugas akhir dengan judul " Perbandingan Pengaruh Penggunaan Semen Portland dan Limbah Padat Industri Tekstil *(Sludge)* sebagai *Filler* pada Campuran HRS B " yang diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi sebagian persyaratan memeperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil.

Dasar pemikiran dalam pengambilan topik penelitian ini adalah sebagai salah satu upaya menemukan material alternatif dibidang konstruksi khususnya konstruksi jalan raya yang lebih ekonomis dan mudah didapatkan seiring dengan semakin meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan industri nasional yang menuntut pertumbuhan dibidang transportasi.

Dengan selesainya penelitian dan penyusunan tugas akhir ini, tidak lupa penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan, bimbingan, saran dan pengarahan serta nasehat terutama kepada :

1. Kedua orang tua dan kedua saudara tercinta atas segala kasih, dorongan dan bantuan serta dukungannya selama ini yang tak ternilai harganya.
2. Ir. Subarkah, MT dan Ir. Bachnas, MSc selaku dosen pembimbing sekaligus dosen penguji, Ir. Balya Umar, MSc selaku dosen penguji

serta segenap civitas akademika Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3. Mas Agung dari PT Jogjatex Yogyakarta atas bantuan material limbah padat industri tekstil.
4. Kru Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Pak Iskandar, Pak Samsudin, Pak Sukamto, Mbak Nur, Mas Putih, Mas Bhanu serta sahabat sejati di laboratorium Lais dan Budi.
5. Teman-teman tercinta, Tunjung (makasih komputernya), Djasun (kamu emang Top !!!), Azhenk (thanks bergerannya dan Bantul emang top deh), Rian dan Agung (maksih transportasinya), DV, Radite dan TW (kalian emang kuat), Mbak Luis, anak-anak kost Oben, Fendhi, Hadi, Andi, Ito, Mas Ian, Nano dan anak-anak sipil E angkatan 1997.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu baik secara moril maupun materil dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.

Karena keterbatasan yang ada, penelitian ini hanya dibatasi untuk mengetahui apakah limbah padat industri tekstil *(sludge)* dapat digunakan sebagai *filler* pada campuran HRS B. Untuk itu, diharapkan kepada peneliti-peneliti selanjutnya untuk dapat mengembangkan penelitian ini untuk mengetahui manfaat limbah padat industri tekstil *(sludge)* lebih lanjut.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan segala kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhirnya penyusun berharap semoga tugas akhir ini ini dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Assalamualikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 29 November 2001

NURKHALIS
Penyusun

INTISARI

Pertumbuhan ekonomi dan industri nasional yang terus meningkat menuntut peningkatan sarana dan prasarana di bidang transportasi. Seiring dengan hal tersebut, diperlukan material konstruksi secara murah dan mudah didapatkan yang dapat disediakan dengan upaya mencari solusi material pengganti. Pemanfaatan limbah padat industri tekstil (sludge) sebagai alternatif bahan pengisi (filler) pada campuran HRS B merupakan salah satu upaya mengatasi permasalahan tersebut.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengevaluasi penggunaan limbah padat industri tekstil (sludge) sebagai filler pada campuran HRS B terhadap karakteristik stabilitas, flow, density, VITM, VFWA dan Marshall Quotient. Hasilnya dibandingkan dengan campuran HRS B yang menggunakan filler semen portland.

Bahan yang digunakan berupa agregat kasar dan halus dari Clereng Kulon Progo, filler berupa limbah padat industri tekstil (sludge) dari PT. Jogjatex Yogyakarta dan sebagai pembanding digunakan semen portland merk Nusantara. Aspal berupa AC 60-70 produksi Pertamina dengan variasi kadar aspal 6 % - 8 % dengan interval 0,5 %. Benda uji dibuat berdasarkan gradasi CQCMU, Bina Marga 1988 untuk lalu lintas berat, pengujian dengan metode Marshall. Kadar aspal optimum yang dicapai adalah 6,82 % untuk campuran HRS B dengan filler sludge dan 6,62 % untuk campuran HRS B dengan filler semen portland. Benda uji pada kadar aspal optimum selanjutnya dilakukan pengujian dengan metode Marshall dan Imersion.

Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas campuran HRS B dengan filler sludge lebih tinggi dari campuran HRS B dengan filler semen portland. Untuk nilai-nilai flow, density, VITM, VFWA dan Marshall Quotient campuran HRS B baik dengan filler sludge maupun semen portland tidak jauh berbeda. Kesemua benda uji memenuhi spesifikasi Bina Marga kecuali untuk nilai Marshall Quotient dan nilai VITM hanya pada kadar aspal 6,5 % untuk campuran HRS B dengan filler sludge dan kadar aspal 6,5 % dan 7,0 % untuk campuran HRS B dengan filler semen portland. Indeks tahanan kedua campuran HRS B tersebut memenuhi sepesifikasi Bina Marga.

Limbah padat industri tekstil (sludge) dapat menjadi alternatif bahan pengisi (filler) pada campuran HRS B karena dapat memenuhi spesifikasi karakteristik yang disyaratkan oleh Bina Marga.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan Ekonomi dan Industri Nasional sangat terkait dengan sarana jalan. Hal ini dikarenakan jalan memegang peranan penting dalam melancarkan transportasi manusia serta barang dan jasa. Oleh karena itu, pembangunan dan peningkatan jalan harus dipacu perkembangannya agar dapat melayani arus transportasi yang memenuhi syarat, baik secara teknik maupun ekonomis serta dapat memberikan keamanan dan kenyamanan pelayanan lalu lintas.

Teknologi yang terus berkembang memerlukan daya dukung material yang murah, mudah didapatkan dan mudah pengelolaannya. Penyediaan material konstruksi secara murah dan mudah didapatkan dapat disediakan dengan upaya mencari substitusi material susun yang berasal dari daerah setempat. Dengan mengaplikatifkan material lokal yang mudah ditemukan dengan komposisi tertentu akan menekan harga tanpa mengurangi sifat aman bangunan fisiknya.

Pada sisi lain, dengan berkembangnya perekonomian mengakibatkan industri meningkat dengan pesat, salah satunya industri tekstil yang pada dekade ini telah menjadi industri primadona dan menyumbangkan 30% total ekspor indonesia. Seperti halnya industri lain, industri tekstil menghasilkan limbah berupa limbah cair yang berasal dari sisa proses kimiawi. Limbah cair tekstil

dilakukan adalah memanfaatkan *sludge* sebagai alternatif bahan pengisi atau *filler* pada campuran HRS B dengan mengacu pada spesifikasi Bina Marga.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku HRS B yaitu *Stability, Flow, Density, Void Filled With Asphalt* (VFWA), *Void In Total Mix* (VITM) dan *Marshall Quotient* (MQ) yang menggunakan *sludge* sebagai *filler* dan dibandingkan dengan perilaku HRS B yang menggunakan semen portland sebagai *filler* serta menentukan kekakuan bitumen dan kekakuan campuran.

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini akan mendapatkan pengaruh penggunaan *sludge* sebagai *filler* pada campuran HRS B yang dibandingkan dengan penggunaan semen portland sebagai *filler* pada campuran HRS B sesuai dengan persyaratan Bina Marga sehingga diketahui apakah *sludge* dapat digunakan sebagai bahan alternatif *filler* pada campuran HRS B.

1.4. Batasan Penelitian

Untuk memperjelas lingkup permasalahan dan untuk memudahkan dalam menganalisis, maka dibuat batasan-batasan seperti dibawah ini.

1. Gradasi yang digunakan adalah gradasi timpang untuk campuran HRS B berdasarkan *Central Quality Control and Monitoring Unit*, Bina Marga 1988.

2. *Filler* yang digunakan adalah limbah padat industri tekstil *(sludge)* berasal dari PT. Jogjatex yang lolos saringan # 200 dan semen portland merk Nusantara tipe I sebagai pembanding dengan kadar 5 %.
3. Aspal yang digunakan adalah jenis AC 60-70 dengan variasi kadar aspal 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 %.
4. Penelitian hanya berdasarkan pada *Marshall Test* dan *Imersion Test.*
5. Penelitian terbatas hanya pada sifat fisik tanpa membahas unsur kimia yang terkandung dalam bahan-bahan penelitian.
6. Perilaku yang dipelajari yaitu *stabilitas, flow, density*, VFWA, VITM, *Marshall Quotient* dari kedua jenis benda uji dan menentukan kekakuan bitumen menurut Van Der Poel dan Ullidz serta menentukan kekakuan campuran dengan metode Shell dan metode Heukellom dan Klomp.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Beberapa penelitian tentang penggunaan *filler* pada lapis perkerasan lentur telah dilakukan dengan hasil yang menunjukkan bahwa penggunaan *filler* akan mempengaruhi karakateristik campuran aspal *filler* dan karakteristik campuran aspal beton. Penelitian – penelitian tersebut antara lain dibahas di bawah ini.

Ervin L. Dukatz dan David A. Anderson dari *The Pennsylvania State Univesity, University Park, PA* (1980) melakukan penelitian dengan topik " *The Effect of Various Fillers on The Mechanical Behavior of Asphalt and Asphaltic Concrete* " yang bertujuan untuk mengetahui efek dari berbagai jenis *filler* terhadap sifat campuran aspal. Hasil dari penelitian tersebut menyebutkan bahwa perbedaan jenis *filler* akan menyebabkan perbedaan sifat pengerasan jika dicampurkan terhadap beton aspal, namun efek yang terjadi tersebut bukan hanya disebabkan oleh pengaruh gradasi namun juga dipengaruhi oleh sifat fisik dan sifat kimia dari *filler* tersebut. Selain itu, *filler* dengan butiran lebih tebal dari film aspal akan menyebabkan pengikatan antar agregat, sementara *filler* dengan butiran lebih tipis dari film aspal akan menyebabkan pengikatan didalam campuran.

Gompul Dairi dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan (1995) melakukan penelitian dengan topik " Sifat dan Karakteristik Beton Aspal dan HRS Menggunakan *Filler* Asbuton Mikro ". Pengujian yang dilakukan menggunakan alat *Marshall* dan *Indirect Tensile* dengan menggunakan *filler* asbuton mikro dengan kadar 5 % yang dibandingkan dengan menggunakan *filler* semen portland. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemakaian asbuton mikro sebagai *filler* pada campuran beton aspal ataupun campuran HRS akan meningkatkan daya dukung campuran, hal tersebut dapat dilihat dari meningkatnya koefisien kekuatan relatif, pengulangan beban as standar serta *dynamic stability* yang dapat diterima olah campuran.

Aji Setiawan dan Budy Kusnadi (1995) dalam penelitiannya dengan topik " Pengaruh Penggunaan Limbah Karbid Sebagai *Filler* Terhadap Perilaku Campuran Beton Aspal " melakukan pengujian terhadap benda uji yang merupakan campuran beton aspal yang dibuat masing-masing menggunakan *filler* abu batu dan limbah karbid dengan kadar filler 7 % serta variasi dari keduan *filler* tersebut. Sifat-sifat campuran beton aspal itu dievaluasi dengan parameter-parameter *Marshall Test* dan hasilnya dibandingkan dengan persyaratan Bina Marga. Dari hasil penelitian diketahui bahwa campuran yang menggunakan komposisi dan formulasi kadar *filler* abu batu : limbah karbid = 6 : 1 mempunyai nilai-nilai *density*, VITM, VFWA, stabilitas, *flow* dan *Marshall Quotient* yang hampir sama baiknya dibandingkan dengan campuran yang menggunakan komposisi dan formulasi kadar *filler* abu batu 7 %, dan secara keseluruhan hasil penelitian memenuhi spesifikasi Bina Marga.

Priyo Pratomo dari Universitas Lampung (1998) dengan penelitian yaitu " Campuran *Hot Rolled Sheet* dengan Beberapa Jenis *Filler* " yang melakukan penelitian dengan menggunakan beberapa jenis *filler* yaitu *fly ash*, kapur, semen, abu batu dan lanau pada campuran HRS dengan menggunakan metode *Marshall Test*. Hasil dari penelitian tersebut adalah menunjukkan bahwa *fly ash* merupakan bahan *filler* terbaik serta semen dan abu batu merupakan bahan alternatif terbaik yang boleh dipakai sebagai *filler*.

Nur Susanto Zacnal Arifin dan Joko Widodo (1996) dengan topik " Penggunaan *Filler* dari Batu Kapur dan Batu Cadas untuk Campuran Beton Aspal ". Benda uji yang merupakan campuran beton aspal dibuat masing-masing menggunakan *filler* batu kapur dan batu cadas dengan masing-masing kadar *filler* 2 %, 4 %, 6 % dan 8 % yang menggunakan kadar aspal 5,5 %. Sifat-sifat campuran beton aspal dievaluasi dengan *Marshall Test* dan hasilnya dibandingkan dengan persyaratan Bina Marga. Dari hasil penelitian secara umum dapat diambil kesimpulan bahwa *filler* yang menggunakan batu kapur memenuhi spesifikasi Bina Marga.

B Indrianto Gunawan dan Eko Yulianto (2000) dalam penelitiannya yang mengambil topik " Studi Komparasi antara Semen dan Keramik Lantai sebagai *Filler* dalam Campuran HRS B ". Penelitian menggunakan gradasi dari spesifikasi Bina Marga dengan jumlah tumbukan 2 x 75 untuk kriteria lalu lintas berat, aspal yang dipakai AC 60-70 dengan variasi kadar aspal dari 6 % - 8 %, agregat kasar yang dipakai dari Clereng, agregat halus dari Kulon Progo dan *filler* berupa keramik lantai berasal dari bongkaran bangunan dari Klaten sedangkan semen

portland menggunakan semen Nusantara dari Cilacap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran HRS B dengan menggunakan *filler* keramik lantai dan *filler* semen portland memenuhi spesifikasi Bina Marga untuk parameter stabilitas, *flow*, VITM dan VFWA.

Murdayama dan Paryoko Agung P (2000) dengan topik " Penelitian Laboratorium Campuran Aspal Beton Bahan Ikat Asbuton B-20 dan AC 80-100 dengan Bahan Tambah PC Sebagai *Filler* Menggunakan Uji *Marshall* " yang melakukan penelitian dengan menggunakan cara campuran panas dengan bahan ikat Asbuton B-20 dan peremaja AC 80-100 dan *filler* PC pada campuran aspal beton. Penelitian dilakukan pada kadar aspal optimum sebesar 5,95 % dan karakteristik *Marshall* yang ditinjau adalah *density*, VITM, VFWA, stabilitas dan *flow* dengan variasi kadar aspal total 5,55 %, 5.95 %, 6,35 % dan tidak berubah untuk campuran normal tanpa Asbuton dan PC. Dengan analisis terhadap karakteristik *Marshall* yang ditinjau diperoleh bahwa Asbuton B-20 dapat digunakan sebagai bahan ikat pada campuran beton aspal sedangkan mineral PC yang digunakan sebagai *filler* asli (abu batu) secara keseluruhan dapat memperbaiki karakteristik campuran beton aspal tersebut.

Heru Saptoadji dan Rachmat Ari Mulyo. W (2001) yang mengambil topik " Perbandingan Pengaruh Semen Portland dan Limbah Industri Marmer sebagai *Filler* Terhadap Perilaku *Split Mastic Asphalt* ". Pada penelitian ini digunakan variasi kadar aspal 5,5 %, 6 %, 6,5 %, 7 % dan 7,5 %, kemudian variasi lama perendaman pada *water bath* dengan suhu 60°C adalah 20 menit (standar *Marshall*), 1 hari dan 4 hari. Kadar serat selulosa dan kadar *filler* yang digunakan

masing-masing 0,3 % dan 3 %, sedangkan parameter yang dibahas nilai-nilai kepadatan (*density*), prosentase rongga dalam campuran (VITM), prosentase rongga terisi aspal (VFWA), stabilitas, kelelehan (*flow*) dan *Quotient Marshall* (QM) yang diketahui dengan melakukan *Marshall Test* terhadap benda uji campuran SMA. Pada variasi kadar aspal menunjukkan penggunaan limbah marmer sebagai *filler* pada campuran SMA memberi pengaruh pada peningkatan nilai kepadatan, VFWA, stabilitas dan *Quotient Marshall* (QM).

Wahyu Hidayat dan Sabdo Luhur Utomo (2001) dengan topik " Pemanfaatan Limbah Padat Industri Tekstil *(Sludge)* pada Paving Block ". Pengujian dilakukan dengan metode Afrika Selatan pada sampel paving block Holand berdimensi 20x10x6 cm^3 dengan variasi komposisi *sludge* pengganti semen 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % dari berat semen. Dari hasil penelitian bahwa paving block dengan komposisi *sludge* sebesar 5 % umur 28 hari mempunyai kuat desak yang lebih besar yaitu 294,83808 kg/cm^2 jika dibandingkan dengan paving block yang tidak mengandung *sludge* dengan kuat desak 282,6687 kg/cm^2.

2.2. Pembahasan

Jika dilihat dari beberapa peneliatan diatas, dapat diambil suatu kesimpulan bahwa telah dilakukan beberapa upaya untuk mengganti bahan penyusun *filler* dan menunjukkan hasil yang memenuhi spesifikasi yang telah di tentukan. Begitupula dengan pengujian terhadap *sludge* sebagai pengganti semen terhadap paving block yang mempunyai kecendrungan untuk meningkatkan kuat desak. Dilihat dari beberapa kenyataan yang ada diatas dan dilihat dari bentuk

sludge yang cendrung memiliki butiran yang halus maka upaya untuk menggunakan *sludge* sebagai *filler* pada campuran HRS dapat dilakukan.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Perkerasan Jalan

Tanah saja biasanya tidak cukup dan tahan menahan deformasi akibat beban roda berulang, untuk itu perlu adanya lapis tambahan yang terletak antara tanah dan roda atau lapisan paling atas dari badan jalan. Lapis tambahan ini dibuat dari bahan khusus yang mempunyai kualitas yang lebih baik dan dapat menyebarkan beban roda yang lebih luas di atas permukaan tanah, sehingga tegangan yang terjadi karena beban lalu lintas menjadi lebih kecil dari tegangan ijin tanah. Bahan ini selanjutnya disebut bahan lapis perkerasan. Umumnya perkerasan jalan terdiri atas beberapa lapis dengan kualitas bahan semakin keatas semakin baik.

Perkerasan jalan dikelompokkan menjadi perkerasan lentur *(flexible pavement)* dan perkerasan kaku *(rigid pavement)*, dalam perkembangannya menunjukkan adanya berbagai jenis perkerasan seperti perkerasan beton prestress, perkerasan cakar ayam, perkerasan paving block dan lain-lain *(Suprapto TM, 1999)*.

Menurut *Asphalt Technology and Construction Practice (The Asphalt Institute MS-22, 1983)*, struktur perkerasan jalan terdiri dari :

1. lapis permukaan *(surface course)*,
2. lapis pondasi atas *(base course)*,
3. lapis pondasi bawah *(sub base course)*, dan
4. tanah dasar *(subgrade)*

Masing-masing mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Fungsi dari masing-masing lapisan tersebut dibawah ini.

1. Lapis permukaan *(surface course)*
    a. Memberikan suatu permukaan yang rata dan tidak licin,
    b. Mendukung dan menyebarkan beban vertikal maupun horizontal atau gaya geser dari beban kendaraan,
    c. Sebagai lapisan kedap air untuk melindungi badan jalan
    d. Sebagai lapisan aus
2. Lapis pondasi atas *(base course)*
    a. Lapis pendukung bagi lapis permukaan,
    b. Pemikul beban horizontal dan vertikal,
    c. Lapisan peresapan bagi lapis pondasi bawah
3. Lapis pondasi bawah *(sub base course)*
    a. Menyebarkan beban roda,
    b. Sebagai lapis peresapan,
    c. Sebagai lapis pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi
    d. Sebagai lapisan pertama pada pembuatan struktur perkerasan

4. Tanah dasar *(subgrade)*

   Tanah dasar merupakan tanah asli, permukaan tanah timbunan atau permukaan galian, yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

3.2. Karakteristik Perkerasan

Karakteristik perkerasan merupakan sifat-sifat khusus perkerasan yang dapat menentukan tinggi dan rendahnya mutu suatu perkerasan. Karakteristik perkerasan yang baik akan dapat memberikan pelayanan terhadap lalu lintas yang direncanakan, terutama perilaku aspal apabila telah berada dalam campuran perkerasan. Karakteristik perkerasan dapat ditunjukkan dengan parameter berikut ini.

3.2.1. Stabilitas *(Stability)*

Stabilitas adalah ketahanan atau kemampuan dari suatu lapis keras untuk tidak berubah bentuk yang diakibatkan oleh pembebanan *(The Asphalt Institute, 1983)*. Perkerasan yang tidak stabil ditandai dengan adanya gelombang atau alur.

Jumlah lalu lintas dan beban kendaraan menentukan tingkat stabilitas yang dibutuhkan. Beberapa variabel yang mempunyai hubungan dengan stabilitas antara lain seperti dibawah ini.

1. Gaya gesek *(friction)*, hal ini tergantung pada permukaan, gradasi dan bentuk agregat, kerapatan campuran serta kualitas aspal.
2. Kohesi, merupakan daya lekat dari masing-masing partikel bahan perkerasan. Kohesi batuan akan terlihat dari sifat kekerasannya dan kohesi

campuran tergantung dari gradasi agregat, daya adhesi aspal dan sifat bantu bahan tambah.

3. Inersia, merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan perpindahan tempat *(resistence to displacement)*, yang terjadi akibat beban lalu lintas, baik besarnya beban maupun jangka waktu pembebanan.

3.2.2. Durabilitas *(Durability)*

Durabilitas adalah ketahanan lapis keras terhadap pengaruh cuaca dan beban lalu lintas *(The Aspialt institute, 1983)*. Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan, sehingga lapis permukaan mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air, perubahan suhu dan keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas suatu lapis perkerasan adalah seperti dibawah ini.

1. Tebal selimut aspal *(bitumen film thickness)*. Selimut aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis permukaan yang berdurabilitas tinggi tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* juga sangat tinggi.
2. Rongga antar campuran yang relatif kecil mengakibatkan lapis perkerasan kedap air dan udara tidak dapat masuk dalam campuran. Udara menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh getas.
3. Rongga antar butir yang relatif besar memungkinkan selimut aspal dibuat tebal. Jika rongga antar butir agrgat kecil dan kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya *bleeding* besar.

Penggunaan agregat yang memiliki sifat kekerasan tinggi dapat mengurangi gaya pengausan. Pengausan dapat menimbulkan kerusakan berupa

terlepasnya agregat, sehingga menimbulkan formasi cekungan yang dapat menampung dan meresapkan air.

3.2.3. Kelenturan *(Fleksibilitas)*

Fleksibilitas suatu campuran perkerasan menunjukkan kemampuan untuk menahan lendutan dan tekukan misalnya dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan kecil dari lapisan di bawahnya terutama tanah dasarnya *(subgrade)*, tanpa mengalami keretakan *(The Asphalt Institute, 1983)*. Untuk meningkatkan kelenturan, pemakaian agregat dengan gradasi terbuka sangat sesuai, tetapi dengan pemakaian tersebut akan didapatkan nilai stabilitas yang tidak sebaik bila menggunakan gradasi rapat. Sifat aspal terutama daktilitasnya sangat menentukan kelenturan perkerasan. Aspal yang mempunyai daktilitas rendah, maka dalam perkerasan akan menghasilkan suatu perkerasan yang fleksibilitasnya rendah.

3.2.4. Kekesatan *(Skid Resistence)*

Kekesatan adalah kemampuan dari perkerasan untuk memperkecil kemungkinan terjadinya roda kendaraan selip atau tergelincir, terutama pada waktu permukaan jalan basah *(The Asphalt Institute, 1983)*. Permukaan jalan yang kasar mempunyai nilai kekesatan yang lebih baik dari permukaan jalan yang halus. Permukaan jalan yang terlalu kasar menimbulkan gangguan kenyamanan karena bunyi yang timbul akibat sentuhan antara ban dengan permukaan jalan serta ban menjadi lebih mudah aus. Kekesatan diperoleh dengan tekstur permukaan yang kasar. Permukaan perkerasan jalan yang mengalami *bleeding*, kekesatannya menjadi rendah. Oleh karena itu kadar aspal yang cukup dan masih

tersebut mengandung zat-zat kimia yang berbahaya bagi kesehatan. Untuk menekan kadar kandungan zat kimia berbahaya, sebagian industri tekstil memproses limbah cair pada Instalasi Pengolahan Limbah (IPAL) agar cukup aman untuk dibuang. Limbah cair tekstil ini di proses bersama kapur (CaO) sebagai zat penetral dalam satu bak pada IPAL dan diakhir proses pengolahan dihasilkan limbah tekstil berbentuk padatan halus yang di sebut *sludge* yang mengandung zat kapur.

Kapasitas produksi industri tekstil umumnya besar sehingga menyebabkan limbah yang dihasilkanpun dalam jumlah besar. Walaupun sudah diolah sedemikian rupa pada IPAL, *sludge* masih mengandung zat kimia yang berbahaya pada tingkatan yang rendah namun masih dibawah ambang batas. Selama ini, limbah padat industri tekstil hanya diletakkan begitu saja di areal IPAL, dibiarkan kering dan menumpuk dan setelah banyak dibuang. Penumpukan *sludge* dalam jumlah banyak dapat menyebakan pencemaran lingkungan seperti bau yang tidak enak sehingga menimbulkan reaksi negatif dari masyarakat sekitar. Hal ini menjadi masalah yang cukup pelik bagi kalangan industri dalam penanganan limbah industrinya.

Berangkat dari keprihatinan akan permasalahan kalangan industri tekstil dalam membuang dan menangani limbahnya dan upaya-upaya yang dilakukan untuk menemukan alternatif substitusi material konstruksi, maka diperlukan berbagai upaya pencarian solusi dengan mengambil kedua permasalahan tersebut dalam satu titik temu yang saling menguntungkan. Salah satu upaya yang

tersedianya rongga udara untuk pemuaian aspal akan membantu tercapainya nilai kekesetan yang optimum.

3.2.5. Ketahanan Kelelahan *(Fatique Resistance)*

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis perkerasan dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur *(rutting)* dan retak. Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

1. *void in total mix* (VITM) yaitu prosentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Volume rongga dalam campuran yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan menyebabkan kelelahan yang lebih cepat, dan
2. *void in mineral agregat* (VMA) yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi mengakibatkan lapis perkerasan menjadi lebih fleksibel.

3.2.6. Kemudahan Untuk di Kerjakan *(Workability)*

Kemudahan untuk di kerjakan adalah kemudahan suatu campuran perkerasan untuk dicampur, dihampar dan dipadatkan. Sifat kemudahan ini penting artinya karena pada pekerjaan pencampuran, penghamparan dan pemadatan dituntut waktu yang cepat dan tepat mengingat pentingnya suhu minimum pada saat pemadatan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah seperti dibawah ini.

1. Gradasi agregat, agregat bergradasi rapat lebih mudah dilaksanakan daripada agregat yang bergradasi lain.
2. Temperatur campuran ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat *thermoplastis*.

3. Kandungan bahan pengisi *(filler)* yang tinggi menyebabkan pelaksanaan yang lebih sukar.

3.3. Pengertian *Hot Rolled Sheet* (HRS)

Hot Rolled Sheet (HRS) merupakan lapis penutup yang terdiri atas campuran antara agregat bergradasi timpang *(gap graded), filler* dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas.

HRS umumnya dilaksanakan pada jalan yang telah beraspal pada jalan yang stabil dan rata serta jalan yang mulai retak-retak atau mengalami degradasi permukaan.

Hot Rolled Sheet (HRS) dibedakan menjadi 2, yaitu HRS A dan HRS B yang penggunaannya tergantung kepada kebutuhan atau tuntutan lalu lintas yang akan lewat. HRS A sama dengan lataston secara struktural mempunyai kuat dukung yang rendah sehingga sering digunakan sebagau lapis aus permukaan yang dipakai untuk lalu lintas ringan dan sedang. Sifat dari HRS A yang paling penting adalah daya tahan, fleksibilitas dan ketahanan terhadap kelelahan. Sedangkan HRS B sama dengan bahan laston yang dipakai untuk lalu lintas padat, kelandaian curam, persimpangan dan daerah lain dimana pelapisan permukaan akan didasarkan pada muatan – muatan roda yang berat dan mempunyai stabilitas tinggi serta mempunyai sifat daya tahan, fleksibilitas dan ketahanan terhadap kelelahan.

3.4. Bahan Penyusun *Hot Rolled Sheet* (HRS)

Bahan utama dari *Hot Rolled Sheet* (HRS) terdiri dari agregat dengan bahan ikat aspal dan *filler*. Untuk menghasilkan perkerasan HRS yang berkualitas tinggi, maka kadar bahan tersebut harus berkualitas dan dapat memenuhi persyaratan yang diijinkan.

3.4.1. Agregat

Agregat didefinisikan secara umum adalah sebagai formasi kulit bumi yang keras dan pejal atau merupakan suatu bahan yang terdiri atas mineral padat, berupa massa besar maupun fragmen-fragmen *(Silvia Sukirman, 1992)* dan secara khusus agregat adalah batu pecah, kerikil, pasir atau komposisi mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil pengolahan yang merupakan bahan utama konstruksi jalan *(Petunjuk Pelaksanaan Laston Untuk Jalan Raya SKBI 2.4.26.1987)*.

Agregat merupakan komponen utama dari lapis perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95 % agregat berdasarkan prosentase berat atau 75-85 % agregat berdasarkan prosentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan mineral *(Silvia Sukirman, 1992)*.

Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran dan gradasi, kekuatan, bentuk tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan serta sifat kimia *(Kerb and Walker, 1971)*.

3.4.1.1 Ukuran butiran dan gradasi

Agregat yang digunakan sebagai bahan campuran dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat kasar, yang dipergunakan biasanya berupa batu pecah atau kerikil dengan persyaratan sebagai berikut :
    a. keausan agregat bila diperiksa dengan mesin *Los Angeles* pada putaran 500 (PB-020206-76), maksimum 40 %, dan
    b. kelekatan terhadap aspal (PB-0205-76), lebih besar 95 %.
2. Agregat halus, yang dipergunakan bisa berupa pasir, *screening* (hasil pemecah batu) atau dari campuran kedua bahan tersebut, yang harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :
    a. *sand Equivalent* (AASHTO T-176), minimum 50 %, dan
    b. non plastis.

The Asphalt Institute (MS-2, 1987) mengelompokkan agregat menjadi 4 fraksi, yaitu :

1. agregat kasar, yaitu batuan yang tertahan saringan no. 8 (2,36 mm),
2. agregat halus, yaitu batuan yang lolos saringan no. 8 (2,36 mm),
3. mineral pengisi *(filler)*, yaitu fraksi dari agregat halus yang lolos dari saringan no. 3 (0,6 mm), dan
4. mineral debu, yaitu fraksi dari agregat halus yang lolos saringan no. 200 (0,074 mm).

Sedangkan AASHTO (1982) mengelompokkan agregat menurut ukuran partikelnya menjadi 3 fraksi, yaitu :

1. agregat kasar, yaitu batuan yang ukurannya lebih besar dari 2 mm atau tertahan saringan no. 10,
2. agregat halus, yaitu batuan yang ukurannya lebih kecil dari 2 mm dan lebih besar dari 0,074 mm atau lolos saringan no. 10 dan tertahan saringan no. 200, dan
3. mineral *filler*, yaitu agregat halus yang lolos saringan no. 200.

Gradasi adalah pembagian ukuran butiran dalam campuran agregat. Menurut jenisnya, gradasi agregat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu seperti dibawah ini.

1. Gradasi menerus *(well graded)*, yaitu campuran agregat kasar dan halus dalam proporsi yang seimbang, sehingga sering juga disebut gradasi rapat.
2. Gradasi timpang *(gap graded)*, yaitu gradasi yang dalam campurannya sengaja dihilangkan sebagian agar berukuran tertentu dan dalam komposisi campuran tidak berimbang antara agregat kasar dan agregat halus.
3. Gradasi seragam *(uniform graded)*, yaitu campuran agregat yang ukurannya hampir sama atau seragam.

Tabel 3.1 Spesifikasi Gradasi Agregat HRS B

Ukuran Saringan	% Berat Lolos Saringan
¾"	97 – 100
½"	70 – 100
3/8"	58 – 80
# 4	50 – 60
# 8	46 –60
# 30	16 – 60
# 50	10 –48
# 100	3 – 26
# 200	2 – 8

Sumber : Central Quality Control and Monitoring Unit (CQCMU), 1988

Konstruksi *Hot Rolled Sheet* (HRS) menggunakan *gap graded.* Spesifikasi yang digunakan berpedoman pada *Central Quality Control and Monitoring Unit* (CQCMU) Bina Marga 1988, seperti pada tabel 3.1.

3.4.1.2. Berat jenis *(specific gravity)*

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Besarnya berat jenis penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal karena pada umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori. Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume besar sehingga dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang banyak. Disamping itu, agregat dengan kadar pori besar membutuhkan jumlah aspal yang banyak pula.

Ada 3 macam berat jenis yang ditentukan berdasarkan manual PB-0202-76 atau AASHTO T85-81 yaitu seperti dibawah ini.

1. *Apperent Spesific Gravity* adalah perbandingan antara volume partikel yang tidak dapat diresapi air.

$$Apparent \quad SG = \frac{W_s}{(V_s + V_i)\gamma_w} \qquad (3.1)$$

dimana W_s = berat kering agregat

V_s = Volume padat agregat

V_i = Volume pori yang tidak diresapi air

γ_w = Berat jenis air

2. *Bulk Spesific Gravity* adalah berat jenis dimana volume yang diperhitungkan adalah jumlah seluruh volume pori yang ada.

$$Bulk\ \ SG = \frac{W_s}{(V_p + V_s + V_i)\gamma_w} = \frac{W_s}{V\gamma_w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.2)$$

dimana V_p = Volume pori yang diresapi air

V = Total volume agregat

3. *Effective Spesific Gravity* adalah apabila pada kenyataan aspal yang dapat digunakan secara normal hanya akan meresapi sebagaian pori yang dapat diresapi oleh air.

$$Effective\ \ SG = \frac{W_s}{(V_s + V_c)\gamma_w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.3)$$

dimana V_c = Volume pori yang tidak diresapi aspal

3.4.1.3. Kekuatan dan kekerasan *(taughness)*

Batuan yang digunakan untuk konstruksi lapis keras harus cukup keras, tetapi juga disertai dengan kekuatan terhadap pemecahan *(degradation)* yang mungkin timbul selama proses pencampuran, penghamparan, pemadatan, repetisi beban lalu lintas dan penghancuran batuan *(disintegration)* selama masa pelayanan jalan tersebut *(The Asphalt Institute, 1983)*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi adalah :

1. agregat yang lunak mengalami degradasi yang lebih besar dari agregat yang lebih keras,
2. gradasi terbuka mempunyai tingkat degradasi yang lebih besar daripada gradasi timpang,
3. partikel bulat akan mengalami degradasi yang lebih kecil daripada partikel yang bersudut, dan

4. energi pemadatan yang lebih besar akan mengakibatkan degradasi yang lebih banyak pada butiran agregat.

Untuk menguji kekuatan dan kekerasan batuan digunakan alat *Los Angeles Abration Test*, yaitu metode pengujian ketahanan batuan terhadap benturan *(impact)* dan keausan *(abration)*. Persyaratan nilai keausan batuan untuk lapis permukaan maksimum 40 %, sedangkan untuk menguji ketahanan terhadap cuaca digunakan *Soundness Test*, agregat dengan nilai *Soundness Test* lebih kecil 12 % menunjukkan agregat yang cukup tahan terhadap cuaca dan dapat digunakan untuk lapis perkerasan.

3.4.1.4. Bentuk butiran *(particle shape)*

Bentuk partikel mempengaruhi kemudahan pelaksanaan pekerjaan perkerasan dan kekuatan dari campuran aspal *(The Asphalt Institute, 1983)*. Bentuk tidak beraturan dan bersudut seperti hasil *stone crusher*, kerikil dan pasir alam cendrung untuk saling mengunci *(interlocking)* ketika dipadatkan dan mampu menahan *displacement*. *Interlocking* yang paling baik umumnya didapatkan dari agregat berbentuk kubus bersudut tajam dan kebalikannya *interlocking* jelek pada agregat berbentuk bulat.

3.4.1.5. Tekstur permukaan *(surface texture)*

Tekstur permukaan agregat berpengaruh terhadap *workability* dan kekuatan lapis keras *(The Asphalt Institute, 1983)*. Permukaan yang kasar akan cendrung menambah kekuatan campuran perkerasan tetapi rongga yang terjadi juga lebih besar apabila dipadatkan sehingga untuk memudahkan pekerjaan perlu penambahan aspal.

3.4.1.6. Porositas *(absorption)*

Porositas agregat biasanya diindikasikan sebagai banyaknya air yang diserap oleh agregat ketika di rendam air. Agregat yang berporositas tinggi juga akan menyerap aspal sehingga daya ikatnya berkurang *(The Asphalt Institute, 1983)*. Porositas berpengaruh terhadap kekuatan, kekerasan, dan jumlah pemakaian aspal dalam campuran. Semakin besar porositas batuan semakin kecil kekuatan dan kekerasannya serta semakin banyak aspal yang akan diserap. Semakin tinggi porositas batuan, maka semakin tinggi pula kemampuan *absorpsi* batuan tersebut

3.4.1.7. Kebersihan *(cleanliness)*

Bersihnya permukaan agregat dari bahan-bahan yang dapat menghalangi melekatnya aspal sangatlah penting. Bahan-bahan tersebut dapat berupa lumpur, zat organik, partikel lempung dan lain sebagainya karena substansi itu dapat mengurangi daya lekat aspal terhadap batuan *(The Asphalt Institute, 1983)*.

3.4.2. *Filler*

Filler adalah bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai butiran pengisi pada pembuatan campuran beton aspal. *Filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) bisa berupa debu kapur, debu dolomit atau semen portland. *Filler* harus dalam keadaan kering dengan kadar air maksimum 1 % *(Petunjuk Pelaksanaan Laston Untuk Jalan Raya SKBI - 2.4.26.1987)*.

Filler dapat berupa abu kapur, semen portland atau abu batu. Dalam penelitian ini digunakan limbah padat industri tekstil *(sludge)* sebagai *filler* yang

akan dibandingkan dengan campuran HRS B yang menggunakan semen portland sebagai *filler.*

Penggunaan *filler* dalam campuran lapis perkerasan akan sangat mempengaruhi karakteristik lapis perkerasan tersebut, efek tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Efek penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran aspal *filler.*
    a. Efek penggunaan *filler* terhadap viskositas campuran, dimana efek penggunaan berbagai jenis *filler* terhadap viskositas campuran tidak sama sedangkan luas permukaan *filler* yang makin besar akan menaikkan viskositas campuran dibanding dengan yang berluas permukaan kecil. Adanya daya *affinitas* menyebabkan jumlah aspal yang dapat diserap oleh berbagai *filler* cukup bervariasi, pada keadaan dimana viskositas naik, jumlah aspal yang diserap semakin besar.
    b. Efek penggunaan *filler* terhadap daktalitas dan penetrasi campuran menyatakan bahwa kadar *filler* yang semakin tinggi akan menurunkan daktalitas dimana hal ini juga terjadi pada berbagai suhu. Jenis *filler* yang akan menaikkan viskositas aspal juga akan menurunkan penetrasi aspal.
    c. Efek suhu dan pemanasan menyatakan bahwa jenis dan kadar *filler* memberikan pengaruh yang saling berbeda pada berbagai temperatur.

2. Efek penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran lapis perkerasan.

   Kadar *filler* dalam campuran akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penghamparan dan pemadatan. Selain itu, kadar dan jenis *filler* akan berpengaruh terhadap sifat elastik campuran dan sensitifitas terhadap air. Pemberian *filler* pada campuran lapis perkerasan sebagai agregat mengakibatkan lapis perkerasan mengalami berkurangnya kadar pori. Partikel *filler* menempati rongga diantara partikel-partikel yang lebih besar, sehingga ruang diantara partikel-partikel besar menjadi berkurang. Secara umum penambahan *filler* ini dimaksudkan untuk menambah stabilitas serta kerapatan dari campuran. Bila dicampur dalam aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama-sama.

3.4.3. Aspal Keras

Aspal yang sering digunakan dalam pelaksanaan di lapangan khususnya di Indonesia adalah aspal keras hasil destilasi minyak bumi dengan jenis AC 60-70 dan AC 80-100, dengan pertimbangan karena penetrasi aspal relatif rendah, sehingga aspal tersebut dapat dipakai pada perkerasan dengan lalu lintas tinggi dan tahan terhadap cuaca panas. Aspal ini adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas serta akan membentuk padat pada keadaan temperatur ruang *(Silvia Sukirman, 1992)*.

Aspal pada lapis keras jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan

kekuatan yang lebih besar dari pada kekuatan masing-masing agregat *(Krebs and Walker, 1971)*.

Aspal keras yang digunakan dapat berupa aspal keras penetrasi 60 atau penetrasi 80 yang harus memenuhi persyaratan seperti yang tertera pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Persyaratan Aspal Keras

Jenis Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Persyaratan				Satuan
		Penetrasi 60		Penetrasi 80		
		Min	Maks	Min	Maks	
1. Penetrasi (25 °C, 5 detik)	PA. 0301-76	60	79	80	99	0.1 mm
2. Titik lembek *(ring & ball)*	PA. 0302-76	48	58	46	54	°C
3. Titik nyala dan titik bakar *(clevelend open cup)*	PA. 0303-76	200	-	225	-	°C
4. Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	PA. 0304-76	-	0.4	-	0.6	% berat
5. Kelarutan (CCL_4 atau CS_2)	PA. 0305-76	99	-	99	-	% berat
6. Daktilitas (25°C, 5 cm/mnt)	PA. 0306-76	100	-	100	-	cm
7. Penetrasi setelah kehilangan berat	PA. 0301-76	75	-	75	-	% semula
8. Berat jenis (25°C)	PA. 0307.76	1	-	1	-	gr/cc

Sumber : DPU, Dirjen Bina Marga, LASTON, SKBI – 2.4.26.1987

Sifat-sifat aspal yang dominan pengaruhnya terhadap perilaku lapis keras jalan adalah sifat *thermoplastis* dan keawetan. Dengan sifat *thermoplastis* dari aspal akan sangat menguntungkan dari sudut pelaksanaan konstruksi, hal ini dikarenakan aspal merupakan bahan *thermoplastis* maka konsistensinya *(viskositas)* akan berubah dengan berubahnya temperatur. 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 aspal yang paling utama adalah daya tahannya terhadap proses pengerasan. Faktor-faktor yang sangat berpengaruh atas terjadinya pengerasan adalah :

1. oksidasi, adalah terjadinya reaksi antara oksigen dengan aspal. Proses ini tergantung pada sifat aspal dan temperatur. Pada temperatur biasa, efek oksidasi akan memberikan suatu lapisan yang keras pada permukaan aspal,
2. penguapan *(volatilization)*, adalah menguapnya bagian-bagian yang mempunyai berat molekul ringan dari aspal kerena pengaruh penambahan temperatur dan pengadukan pada suatu pelaksanaan konstruksi jalan.

3.5. Limbah Padat Industri Tekstil *(Sludge)*

Limbah padat industri tekstil *(sludge)* pada penelitian ini digunakan sebagai alternatif bahan pengisi atau *filler* pada campuran HRS B. Diharapkan sludge tersebut sebagai *filler* pada campuran HRS B mampu memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga.

Sludge yang digunakan dalam penelitian ini adalah *sludge* yang diambil dari pabrik tekstil PT. Jogjatex yang beralamatkan di jalan Surosutan 11 Yogyakarta. Proses pengolahan tekstil pada pabrik tekstil PT Jogjatex adalah perajutan, pewarnaan, pencapan, penyempurnaan dan garmen. Pada proses pewarnaan dan penyempurnaan dihasilkan limbah yang kemudian diproses untuk dinetralisir. Hasil proses netralisir tersebut berbentuk lumpur yang kemudian dikeringkan yang menghasilkan limbah padat *(sludge)*.

Secara singkat proses pengolahan limbah padat industri tekstil *(sludge)* yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti yang diuraikan berikut ini.

1. *Drying and finishing process*

   Pada proses ini terdapat penambahan zat warna dan bahan pembantu dengan suhu 210°C dan pH 5,5 – 6,5

2. *Screening process*

   Bak kontrol dengan kawat *streemen*, berfungsi sebagai penyaring limbah padat.

3. *Equalisation process*

   Sebagai penampung air limbah, disini terjadi proses penurunan suhu sampai 41°C, penyamaan pH 1 – 1,5 dan penyamaan debit.

4. Pengkapuran

   Dalam proses ini ditambahkan kapur calsium hidroxid ($Ca(OH)_2$) dengan tujuan menaikkan pH 8,5 – 11,5.

5. Bak *koagulasi* atau *flokulasi*

   Koagulasi dengan memberi $Fe(SO_4)2AlSO_4$, sehingga air limbah yang mengandung partikel terlarut dan partikel tersuspensi akan menggumpal. *Flokulasi* adalah menyatukan gumpalan-gumpalan kecil pada *koagulasi* oleh *flok* yang merupakan *polielektroiit*. Gumpalan-gumpalan menyatu karena adanya tarik menarik muatan listrik positif dan negatif. Akibatnya, gumpalan yang cukup besar akan turun dan mengendap kebawah, setelah cukup banyak dipompa keatas untuk dikeringkan dengan dasar pasir.

Berdasarkan pemeriksaan parameter fisika dan kimia yang dilakukan oleh Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL), Departemen Kesehatan Republik Indonesia yang berkedudukan di Yogyakarta, limbah padat industri tekstil

(sludge) asal pabrik tekstil PT. Jogjatex mempunyai kandungan seperti pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil Pemeriksaan Parameter Fisika dan Kimia
Limbah Padat Industri Tekstil (Sludge) asal PT. Jogjatex

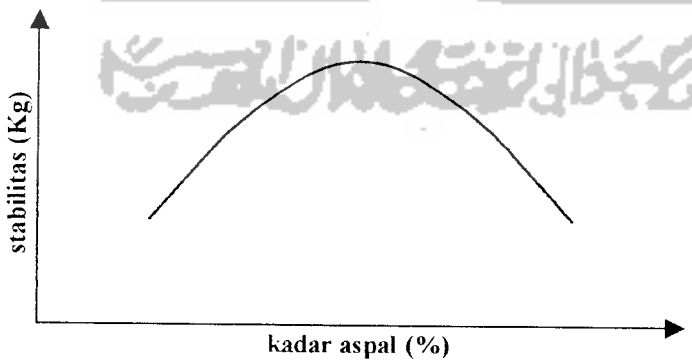
No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa
1	pH	-	7,0
2	Besi (Fe)	%	1,5
3	Mangaan (Mn)	%	0,01
4	Crom total (Cr)	%	0,043
5	Alumunium (Al)	%	0,036
6	Timbal (Pb)	%	ttd
7	Nikel (Ni)	%	0,0181
8	Calsium (Ca)	%	14,2
9	Magnesium (Mg)	%	72,0
10	Tembaga (Cu)	%	0,0118

Sumber : Laporan Pemeriksaan Fisika dan Kimia Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Departemen Kesehatan RI, Yogyakarta

3.6. Parameter *Marshall Test*

3.6.1. Stabilitas

Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi kelelahan plastis.



Gambar 3.1. Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal

Naiknya stabilitas bersamaan dengan bertambahnya kadar aspal sampai batas tertentu (optimum) dan turun setelah melampaui batas optimum. Hal ini terjadi karena aspal sebagai bahan ikat antar agregat dapat menjadi pelicin setelah melebihi batas optimum.

Nilai stabilitas diperoleh dari persamaan :

$$S = p * q \quad \text{..... (3.4)}$$

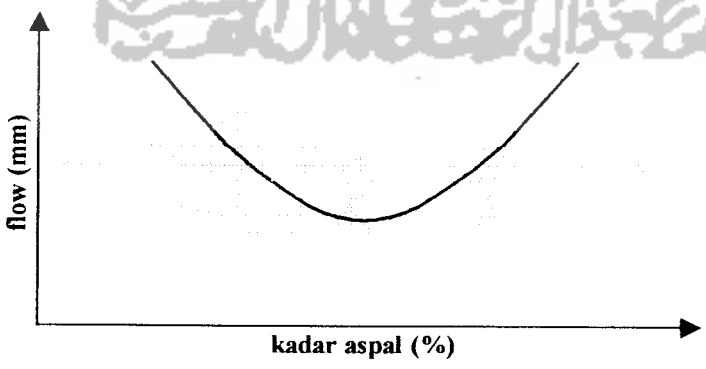
Keterangan : S = Angka stabilitas sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas * kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji

3.6.2. *Flow*

Flow menyatakan besarnya penurunan (deformasi benda uji) campuran. Campuran dengan angka kelelahan tinggi serta stabilitas rendah di atas batas maksimum akan cendrung plastis. Apabila campuran dengan angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi di bawah batas optimum akan cendrung bersifat getas dan mudah retak bila ada pembebanan.



Gambar 3.2. Grafik Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal

3.6.3. *Density*

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Nilai kepadatan ini juga menunjukkan kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai *density*, kerapatan dan kepadatan campuran semakin baik sehingga kemampuan perkerasan untuk menahan beban besar semakin meningkat.

Nilai *density* diperoleh dari persamaan :

$$g = \frac{c}{f} \quad \text{.....(3.5)}$$

$$f = d - e \quad \text{.....(3.6)}$$

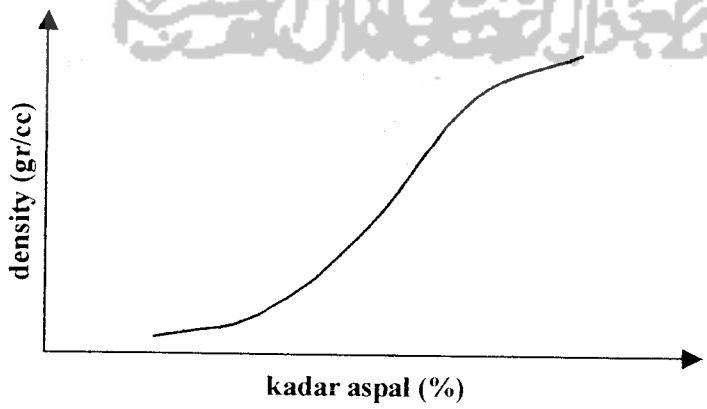
Keterangan : g = Nilai *density* (gr/cc)

c = Berat jenis kering sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

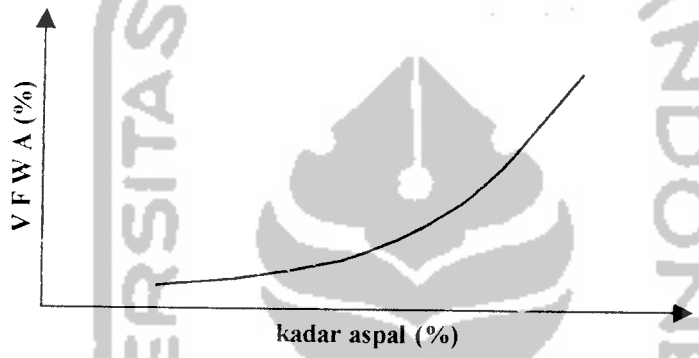
f = Volume benda uji (cc)



Gambar 3.3. Grafik Hubungan *Density* dengan Kadar Aspal

3.6.4. *Void Filled With Asphalt* (VFWA)

VFWA adalah prosentase rongga dalam campuran yang terisi aspal yang nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu, dimana rongga telah penuh artinya rongga dalam campuran telah terisi penuh oleh aspal maka prosen kadar aspal yang mengisi rongga adalah prosen kadar aspal maksimum.



Gambar 3.4. Grafik Hubungan VFWA dengan Kadar Aspal

Nilai VFWA diperoleh dari persamaan :

$$VFWA = 100 * \left(\frac{i}{l} \right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.7)$$

$$i = \frac{b * g}{Bj\ Aspal} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.8)$$

$$j = \frac{(100 - b) * g}{Bj\ Agregat} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.9)$$

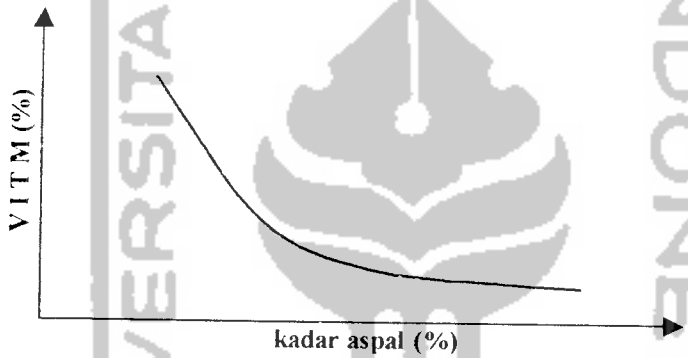
$$l = 100 - j \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.10)$$

Keterangan : b = Prosentase aspal terhadap campuran

g = Berat isi sampel (gr/cc)

3.6.5. *Void In Total Mix* (VITM)

VITM adalah prosentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatakan. Nilai VITM akan semakin kecil apabila kadar aspal semakin besar. VITM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat beruapa alur dan retak.



Gambar 3.5. Grafik Hubungan VITM dengan Kadar Aspal

Nilai VITM diperoleh dari persamaan :

$$VITM = 100 - \left(100 * \frac{g}{h} \right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.11)$$

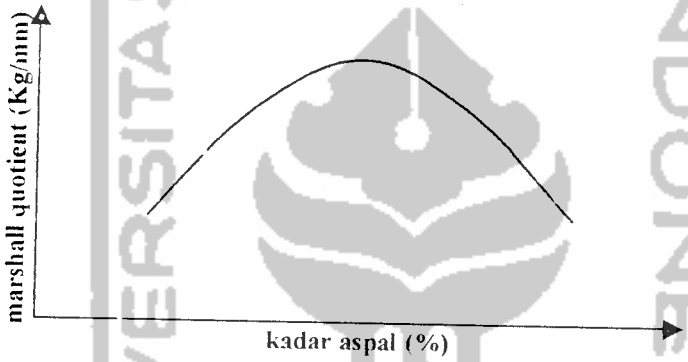
$$h = \frac{100}{\left(\frac{\%\ Agregat}{BjAgregat} + \frac{\%\ Aspal}{BjAspal} \right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.12)$$

Keterangan : g = Berat isi sampel (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum teoritis campuran (gr/cc)

3.6.6. *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* pada perencanaan perkerasan digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas perkerasan. Fleksibilitas akan naik disebabkan oleh penambahan kadar aspal dan akan turun setelah sampai pada batas optimum, yang disebabkan berubahnya fungsi aspal sebagai pengikat menjadi pelicin. Spesifikasi didapat berdasarkan spesifikasi stabilitas dan *flow*.



Gambar 3.6. Grafik Hubungan *Marshall Quotient* dengan Kadar Aspal

Nilai *Marshall Quotient* diperoleh dari persamaan :

$$MQ = \frac{S}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.13)$$

Keterangan : S = Nilai stabilitas (kg)

R = Nilai *flow* (mm)

MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

3.7. *Imersion Test*

Imersion Test atau uji perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu dan cuaca. Pengujian ini prinsipnya sama dengan pengujian *Marshall* standar hanya waktu perendaman saja yang berbeda. Benda uji pada pengujian *Imersion* direndam selama 24 jam pada suhu konstan 60°C sebelum pembebanan diberikan. Uji perendaman ini mengacu pada AASHTO T.165-82 atau ASTM. D. 1075-76.

Hasil perhitungan indeks tahanan campuran aspal adalah prosentase nilai stabilitas campuran yang di rendam selama 24 jam (S2) yang dibandingkan dengan nilai stabilitas campuran biasa (S1). Apabila indeks tahanan campuran lebih atau sama dengan 75 %, campuran tersebut dapat dikatakan memeliki tahanan kekuatan yang cukup memuaskan dari kerusakan oleh pengaruh air, suhu dan cuaca.

$$Index\ of\ retained\ strength = \frac{S2}{S1} * 100\ \% \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (3.14)$$

3.8. Modulus Kekakuan

3.8.1. Kekakuan Bitumen *(Bitument Stiffness)*

Kekakuan bitumen adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada bitumen yang besarnya tergantung pada temperatur dan lamanya pembebanan. Nilai kekakuan bitumen dapat ditentukan dengan menggunakan nomogram Van Der Poel seperti pada gambar 3.7. Adapun cara menggunakannya dengan memerlukan data-data sebagai berikut :

1. temperatur rencana perkerasan (T) dalam °C,
2. titik lembek atau *softening point* (SPr) dari tes *Ring and Ball* dalam °C,
3. waktu pembebanan (t) dalam detik yang tergantung pada kecepatan kendaraan, dan
4. *penetration Index* (PI)

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

$$t = \frac{s}{v} \quad \text{..... (3.15)}$$

Keterangan : s = panjang tapak roda

v = kecepatan kendaraan

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

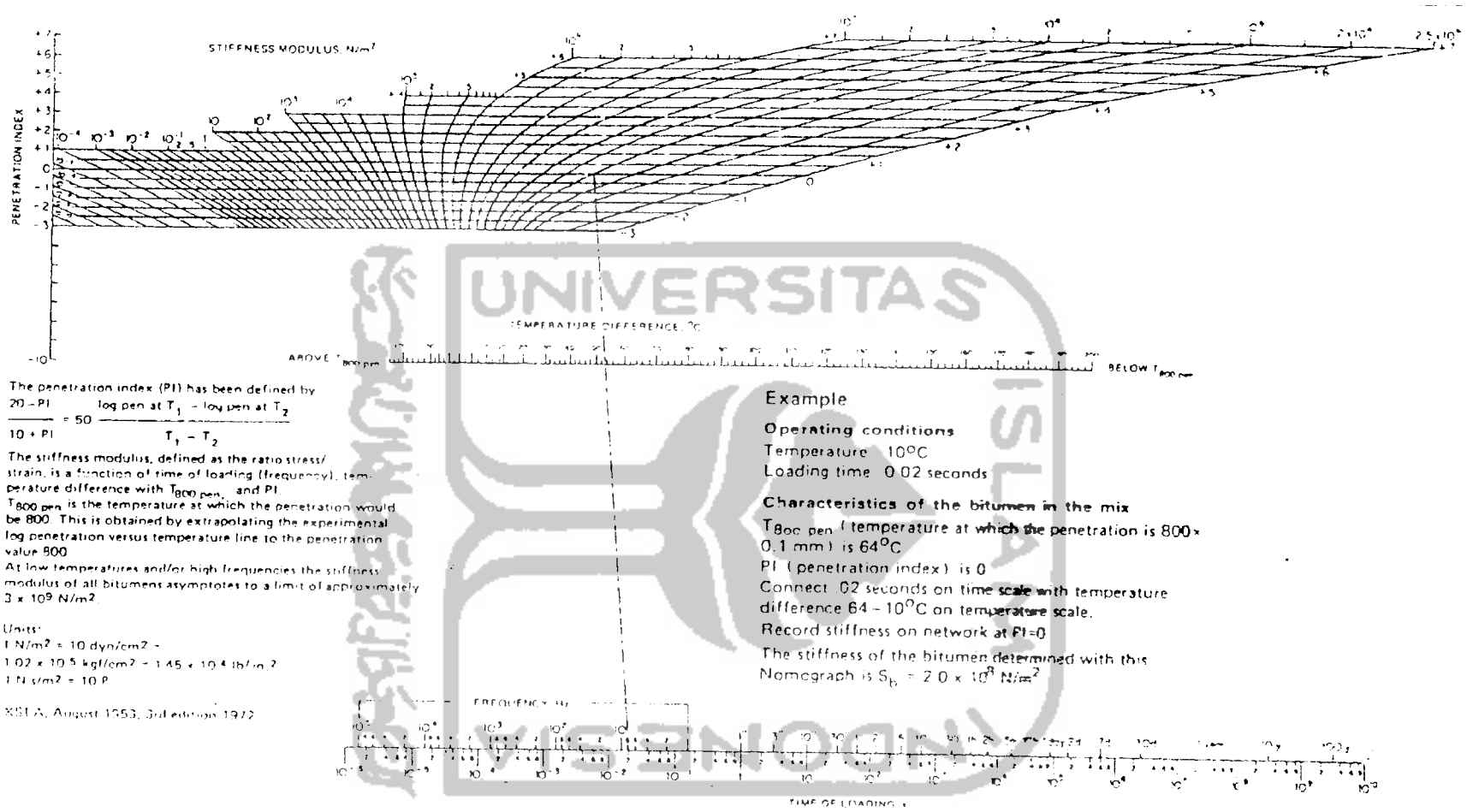
$$PIr = \frac{1951,4 - 500\ log\ Pr - 200\ SPr}{50\ logPr - SPr - 120,14} \quad \text{..... (3.16)}$$

Keterangan : Pir = *Recovered Penetration Index* dari aspal

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 PI ..... (3.17)

SPr = 98,4 – 26,35 log Pr ..... (3.18)



Gambar 3.7. Nomogram Van Der Poel

Sumber : *A General System Describing The Visco-Elastic Properties of Bitumen and Its Relation to Routine Test Data*, Van Der Poel, 1954

Keterangan : 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 (°C)

Karena hitungan perencanaan didasarkan pada karakteristik bitumen terhadap penetrasi awalnya, maka subtitusi dari persamaan (3.17) dan (3.18) ke dalam persamaan (3.16) memberikan persamaan untuk *Penetration Index* dalam kondisi dihamparkan sebagai berikut :

$$PIr = \frac{27 logPI - 21,65}{76,35 logPI - 232,82} \quad \text{..... (3.19)}$$

Untuk menghitung kekakuan bitumen dapat pula digunakan persamaan yang diturunkan oleh Ullidz sebagai berikut :

$$Sb = 1,157 * 10^{-7} * t^{-0,368} * 2,718^{-PIr} * (SPr-T)^5 \quad \text{..... (3.20)}$$

Keterangan : Sb = *Stifness bitument* (Mpa)

t = Waktu pembebanan (detik)

PIr = *Penetration Index*

SPr = Temperatur titik lembek (°C)

T = Temperatur perkerasan (°C)

Persamaan tersebut diatas dapat dipergunakan jika memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$0,01 < t < 0,1$ ..... (3.21)

$-1 < PIr < 1$ ..... (3.22)

$20\ °C < SPr < 60\ °C$ ..... (3.23)

3.8.2. Kekakuan Campuran *(Mix Stiffness)*

Kekakuan campuran adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada campuran aspal beton yang besarnya bergantung pada temperatur dan lamanya pembebanan. Metode yang digunakan untuk menentukan kekakuan campuran ini antara lain adalah metode Shell dan metode Heukelom dan Klomp.

3.8.2.1. Metode Shell

Untuk mencari modulus kekakuan campuran menurut metode Shell menggunakan nomogram pada gambar 3.8. Pada metode ini diperlukan data sebagai berikut :

1. modulus kekakuan bitumen (N/m^2) dimana modulus kekakuan ini didapatkan dari perhitungan atau dengan nomogram seperti telah disebutkan dimuka,
2. voleme bahan pengikat (%), dan
3. volume mineral agregat (%).

Prosentase volume bahan pengikat dapat dihitung dengan persamaan :

$$Vb = \frac{(100 - Vv) * (Mb / Gb)}{(Mb / Gb) + (Ma / Ga)} \quad \text{.....(3.24)}$$

Kadar pori dalam campuran padat dapat dihitung dengan persamaan :

$$Vv = \frac{(\tau_{max} - \tau_m) * 100}{\tau_{max}} \quad \text{..... (3.25)}$$

$$\tau_{max} = \frac{100 * \tau_w}{(Mb/Gb) + (Ma/Ga)} \quad \text{..... (3.26)}$$

Selanjutnya dapat dihitung nilai *void in total mix* dengan persamaan :

$$VITM = Vb + Vv \quad \text{..... (3.27)}$$

$$Vv + Vb + Vg = 100\ \% \quad \text{..... (3.28)}$$

Keterangan : 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 campuran

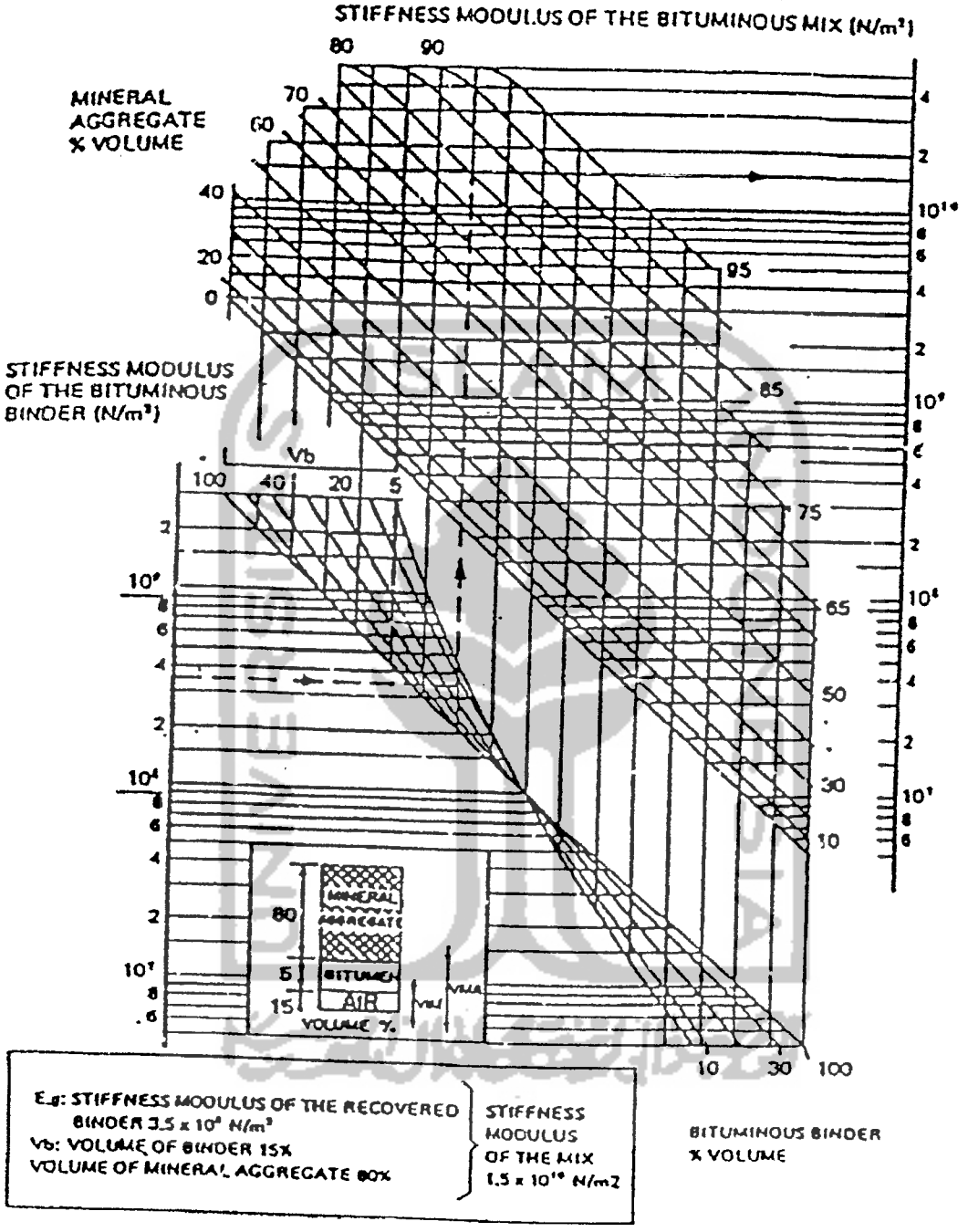
τ_m = Berat volume campuran padat (T/m^3)

τ_w = Berat volume air (T/m^3)

Vg = Prosentase volume agregat

Vb = Prosentase volume bitumen

Vv = Prosentase volume pori



Gambar 3.8. Nomogram penentuan kekakuan campuran

Sumber : *A New Method of Predicting the Stiffness of Asphalt Paving Mixtures, Procc. Asphallt Paving Technology*. Bonnaure F, 1977.

3.8.2.2. Metode Heukellom dan Klomp

Persamaan untuk menentukan nilai kekakuan campuran menurut Heukellom dan Klomp adalah sebagai berikut :

$$S_{mix} = S_{bit}\left[1 + 2.5/n * Cv/(1 - Cv)\right]^{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.29)$$

$$n = 0{,}83 \log\left(4 * \frac{10^{10}}{S_{bit}}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.30)$$

Van Der Poel menyimpulkan bahwa modulus kekakuan campuran tergantung kepada kekakuan bitumen dan konsentrasi volume agregat (Cv).

$$Cv = \frac{Vg}{Vg + Vb} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.31)$$

Persamaan diatas hanya berlaku untuk kepadatan dengan volume rongga kurang dari 3 %. Untuk kepadatan dengan volume rongga lebih dari 3 % digunakan persamaan :

$$Cv' = \frac{Cv}{1 + 0{,}01\,(Vv - 3)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.32)$$

Keterangan : Cv' = Modifikasi volume rongga agregat

Persamaan tersebut dapat digunakan jika konsentrasi volume bitumen (Cb) memenuhi syarat sebagai berikut :

$$Cb > 2/3\,(1 - Cv') \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.33)$$

$$Cb = \frac{Vb}{Vg + Vb} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.34)$$

BAB IV

HIPOTESIS

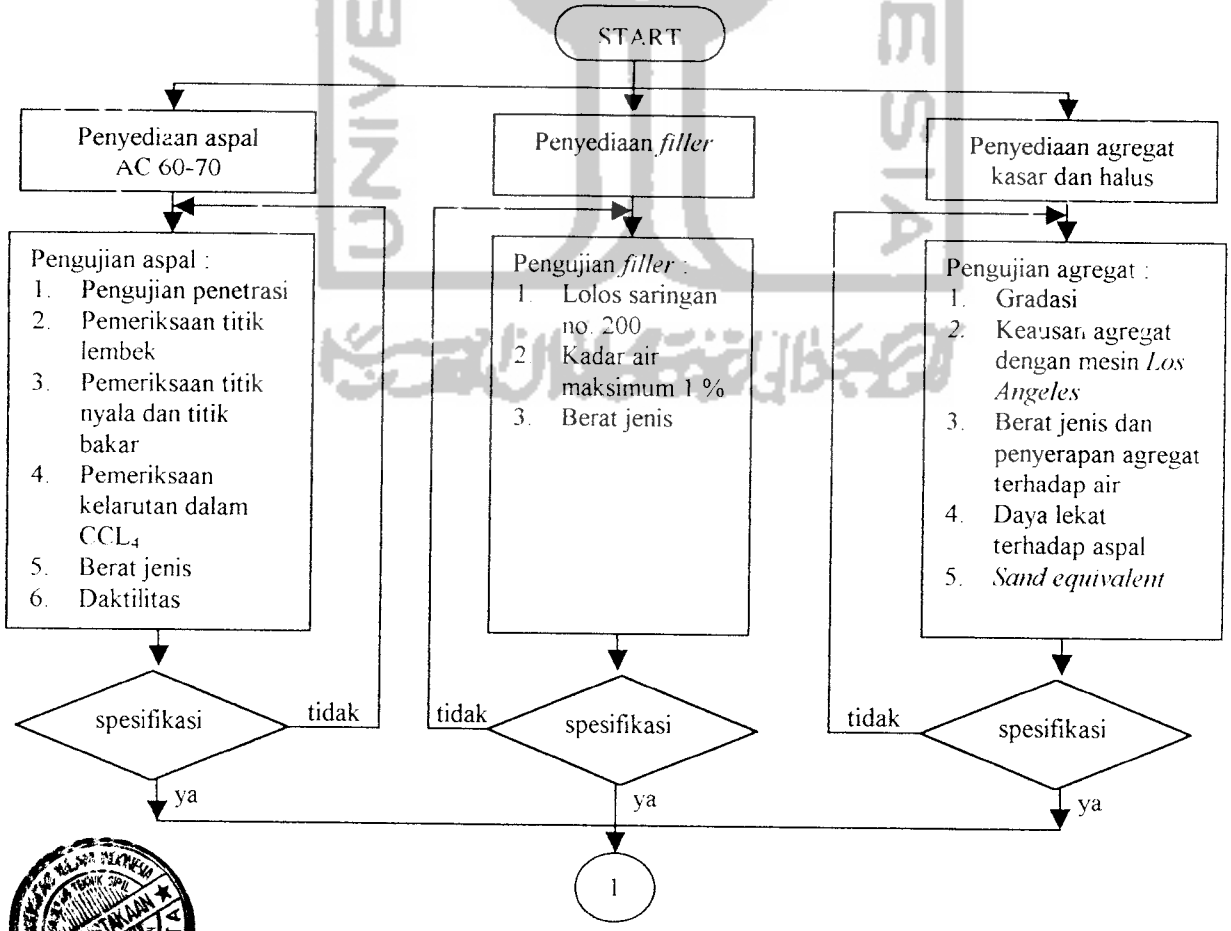
Penggunaan limbah padat industri tekstil *(sludge)* sebagai bahan pengisi *(filler)* pada campuran *Hot Rolled Sheet* B (HRS B) dapat memenuhi spesifikasi karakteristik yang disyaratkan oleh Bina Marga untuk perkerasan lentur jalan raya.

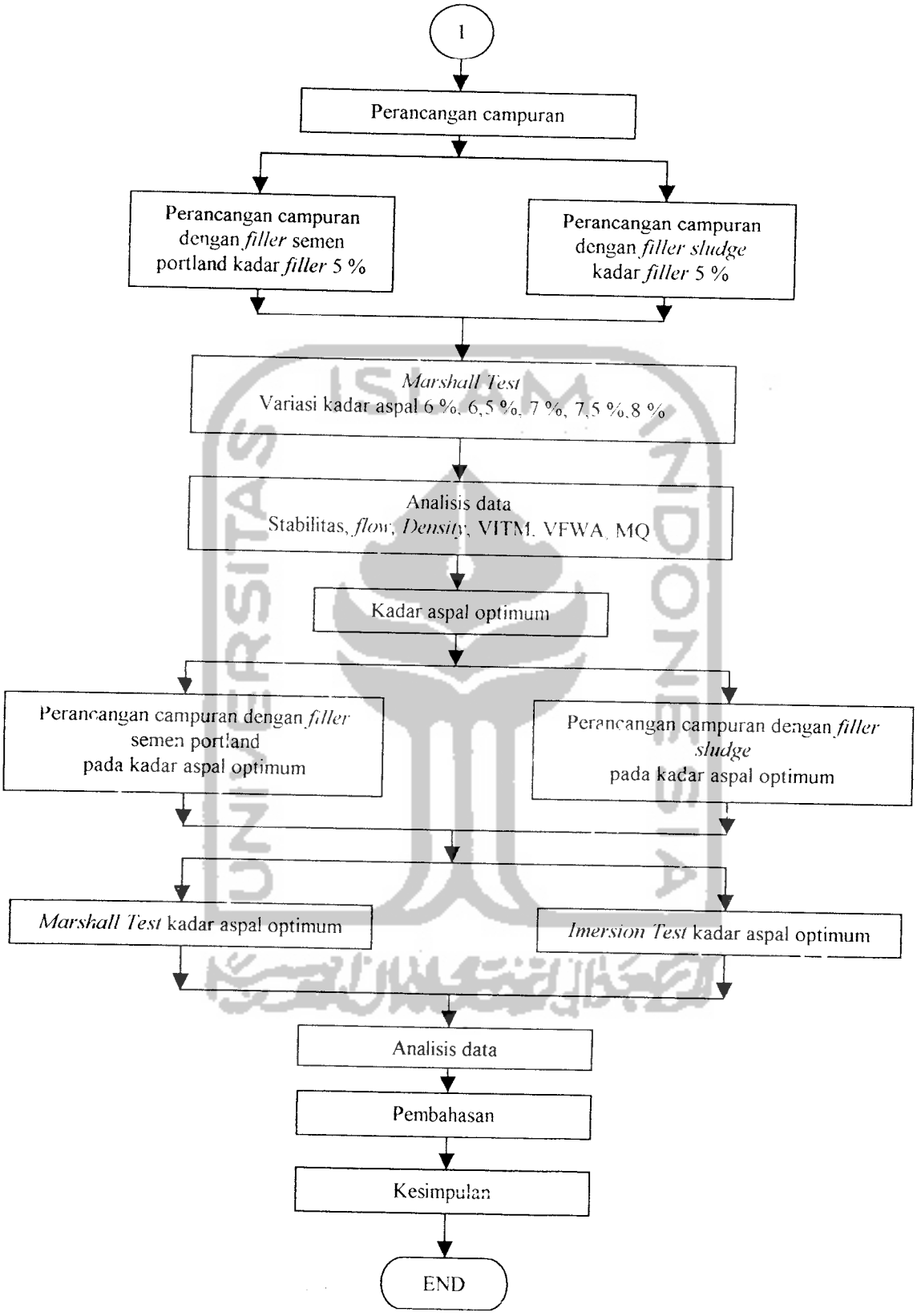
BAB V

METODE PENELITIAN

5.1. Metodologi Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian laboratorium tentang penggunaan limbah padat industri tekstil *(sludge)* sebagai *filler* pada campuran HRS B dengan menggunakan metode *Marshall Test* dan *Imersion Test* dan hasil-hasilnya dibandingkan dengan penggunaan *filler* semen portland. Metodologi penelitian tersebut sesuai dengan bagan alir pada gambar 5.1.





Gambar 5.1 Bagan alir penelitian laboratorium

5.2. Cara Memperoleh Data

Cara memperoleh data melalui pengujian *Marshall* dan didapatkan data-data berupa nilai stabilitas dan *flow* sehingga dapat ditentukan nilai *density*, VFWA, VITM dan *Marshall Quotient*. Sebelum melakukan pengujian *Marshall* dan pengujian *Imersion*, terlebih dahulu dilakukan serangkain pengujian terhadap bahan yang digunakan untuk benda uji.

5.2.1. Lokasi, Bahan dan Alat Penelitian

5.2.1.1. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian adalah di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

5.2.1.2. Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. aspal AC 60-70 produksi Pertamina,
2. agregat kasar berupa batu pecah hasil *stone crusher* dari Clereng Kulon Progo,
3. agregat halus berupa batu pecah hasil *stone crusher* dari Clereng Kulon Progo, dan
4. *filler* berupa limbah padat industri tekstil *(sludge)* dari PT Jogjatex Yogyakarta dan semen portland merk Nusantara tipe I sebagai pembanding.

5.2.1.3. Alat penelitian

Alat-alat yang dipakai dalam penelitian ini adalah seperti dibawah ini.

1. Alat uji bahan

   a. Alat pemeriksaan abrasi, yaitu mesin *Los Angeles*, timbangan, bola baja, saringan, talam dan oven.

   b. Alat pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar terhadap air, yaitu keranjang kawat kapasitas 5 kg, timbangan kapasitas 5 kg, tempat air dengan bentuk dan ukuran yang sesuai untuk pemeriksaan yang dilengkapi pipa sehingga permukaan tetap rata, oven dan saringan.

   c. Alat pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus terhadap air, yaitu timbangan kapasitas 1 kg, piknometer, *cone* dari logam, batang penumbuk, saringan, oven, talam, air suling, pompa hampa udara atau tungku dan *desikator*.

   d. Alat pemeriksaan kelekatan agregat terhadap aspal, yaitu timbangan kapasitas 2000 gr, spatula, wajan, *beker glass*, saringan, termometer dan *aquades*.

   e. Alat pemeriksaan *Sand Equivalent*, yaitu slinder ukur dari plastik, tutup karet, tabung irigator, kaki pemberat, kaleng Ø57 mm dan isi 85 ml, corong, jam dengan pembacaan sampai detik, pengguncang mekanis, larutan $CaCl_2$, glyserin dan forldehyde.

   f. Alat pemeriksaan penetrasi bitumen, yaitu pemberat jarum, jarum penetrasi, cawan contoh, *waterbath* dan *beker glass*.

g. Alat pemeriksaan titik lembek, yaitu termometer, cincin kuningan, alat pengarah bola baja, dudukan benda uji, penjepit, kompor pemanas dan *beker glass* tahan panas.

h. Alat pemeriksaan titik nyala dan titik bakar, yaitu termometer, cawan *clevelend open cup*, plat pemanas, alat pemanas, nyala penguji yang dapat diatur, stopwatch dan penahan angin.

i. Alat pemeriksaan berat jenis aspal, yaitu termometer, neraca, bak perendam, piknometer, air suling dan *bejana glass*.

j. Alat pemeriksaan kelarutan dalam CCl_4, yaitu labu elemeyer, cawan porselin, tabung penyaring, oven pembakar gas, pompa hampa udara, *desikator*, karbon tetraklorida dan ammonium karbonat.

2. Alat uji campuran

a. Cetakan benda uji lengkap dengan plat atas dan leher sambung.

b. Mesin penumbuk manual.

c. Alat untuk mengeluarkan benda uji (*ejector*).

d. Alat pengujian *Marshall* berupa kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung, cincin penguji (*proving ring*), arloji pengukur *flow* dan oven.

e. Bak perendam *(water bath)* yang dilengkapi dengan pengatur suhu mulai suhu 20°C – 100°C.

f. Timbangan.

g. Pengukur suhu dari logam (*metal thermometer*).

h. Perlengkapan lain berupa panci/kuali, sendok pengaduk dan spatula, kompor atau pemanas, kantong plastik, gas elpiji dan sarung tangan asbes dan karet.

5.2.2. Pengujian Bahan

5.2.2.1. Pengujian agregat

Agregat yang digunakan harus melalui serangkaian pengujian dan memenuhi persyaratan-persyaratan yang telah ditentukan. Serangkaian pengujian di laboratorium tersebut seperti dibawah ini.

1. Pemeriksaan keausan agregat bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat terhadap keausan dengan percobaan abrasi menggunakan mesin *Los Angeles* berdasarkan PB-0206-76. Nilai abrasi yang tinggi menunjukkan banyaknya benda uji yang hancur akibat putaran alat yang mengakibatkan tumbukan dan gesekan antara partikel dengan bola-bola uji. Nilai abrasi ≥ 40 % menunjukkan agregat tidak mempunyai kekerasan yang cukup untuk digunakan sebagai lapis perkerasan.
2. Pemeriksaan berat jenis. Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume dan berat berat volume air. Adapun pemeriksaan berat jenis mengikuti prosedur PB-0202-76 dengan persyaratan > 2,5. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori.
3. Pemeriksaan kelekatan agregat terhadap aspal sesuai dengan prosedur PB-0205-76. Kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam

prosentase luas permukaan agregat yang tertutup aspal terhadap seluruh luas permukaan dan besarnya minimum 95 %.

4. Pemeriksaan peresapan agregat terhadap air untuk mengetahui besarnya air yang terserap oleh agregat berdasarkan prosedur PB-0202-76. Besarnya peresapan air yang diijinkan maksimal sebesar 3 %. Air yang telah diserap oleh agregat sukar dihilangkan seluruhnya walaupun melalui proses pengeringan, sehingga mempengaruhi daya lekat aspal dengan agregat.
5. Pemeriksaan *sand equivalent* yang bertujuan untuk menetukan kadar debu/lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada agregat halus sesuai dengan prosedur AASHTO-T176-73. Nilai yang disyaratkan minimal sebesar 50 %.

5.3.2.2. Pengujian aspal

Aspal yang digunakan adalah jenis aspal keras AC 60-70 produksi Pertamina. Pengujian aspal di laboratorium seperti dibawah ini.

1. Pemeriksaan penetrasi yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal berdasarkan prosedur PA-0301-76. Aspal semen dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen dengan penetrasi tingi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Pada penelitian ini digunakan aspal penetrasi 60-70.
2. Pemeriksaan titik lembek untuk mengetahui temperatur pada saat dimana aspal mulai menjadi lunak. Pemeriksaan ini mengikuti prosedur PA-0302-

76. Aspal dengan penetrasi 60-70 temperatur titik lembek minimal 48°C dan maksimum 58°C.

3. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar sesuai prosedur PA-0303-76. Titik nyala adalah suhu dimana aspal terlihat nyala singkat di permukaan sedangkan titik bakar adalah suhu dimana aspal nyala dipermukaan sekurang-kurangya 5 detik. Titik nyala dan titik bakar perlu diketahui untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Minimal suhu titik nyala adalah 200°C untuk aspal penetrasi 60-70.
4. Pemeriksaan kelarutan bitumen dalam CCl_4 bertujuan untuk menentukan tingkat kemurnian kandungan aspal sesuai prosedur PA-0305-76. Minimal aspal yang larut dalam CCl_4 adalah 99 %.
5. Pemeriksaan daktilitas untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara 2 cetakan yang berisi aspal minimal 100 cm sesuai prosedur PA-0306-76. Aspal dengan daktilitas yang lebih besar mengikat butir-butir agregat lebih baik tetapi lebih peka terhadap perubahan temperatur.
6. Pemeriksaan berat jenis sesuai prosedur PA-0307-76. Berat jenis aspal adalah perbandingan antar berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis aspal minimal 1 gr/cc.

5.2.3 Pengujian Campuran

5.2.3.1. Perencanaan campuran

Campuran benda uji dengan berat total 1200 gram menggunakan variasi kadar aspal dengan kenaikan prosentase 0,5 % yaitu 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 % dari berat benda uji dan dibuat masing-masing 3 buah. Prosentase agregat berdasarkan analisa saringan yang mengacu pada spesifikasi agregat dari CQCMU, 1988 seperti pada tabel 3.1. *Filler* yang digunakan berasal dari limbah padat industri tekstil *(sludge)* dan berupa semen portland sebagi pembanding dengan kadar *filler* 5 % dari berat agregat. Dari beberapa variasi kadar aspal diatas kemudian dilakukan pengujian *Marshall* dan dari hasil tersebut ditentukan kadar aspal optimumnya. Jumlah benda uji adalah 5x3x2 = 30 benda uji ditambah benda uji dengan kadar aspal optimum sebanyak 6 benda uji dan benda uji untuk *Imersion Test* sebanyak 6 buah dengan waktu perendaman 24 jam, sehingga total benda uji keseluruhan adalah 42 buah benda uji.

Contoh perhitungan pembuatan benda uji untuk kadar aspal 6 % adalah sebagai berikut :

- Berat total campuran agregat + aspal + *filler* = 1200 gram
- Berat aspal = 6 % x 1200 = 72 gram
- Berat agregat + *filler* = 1200 – 72 = 1128 gram
- Berat *filler* = 5 % x 1128 = 56,4 gram
- Berat agregat = 1128 – 56,4 = 1071,6 gram

5.2.3.2. Pembuatan benda uji

Tahapan pembuatan benda uji adalah seperti dibawah ini.

1. Agregat dibersihkan dari kotoran yang menempel dan dikeringkan sampai diperoleh berat tetap pada suhu 105 ± 5 °C. Agregat tersebut kemudian disaring secara kering kedalam fraksi-fraksi yang dikehendaki.
2. Penimbangan untuk setiap fraksi dilakukan agar mendapat gradasi agregat ideal pada suatu takaran campuran.
3. Agregat yang telah ditimbang selanjutnya dimasukkan ke dalam panci, kemudian dipanaskan dalam oven. Setelah suhunya dianggap cukup, agregat dipanaskan diatas kompor/pemanas sampai pada suhu ± 165°C, sedangkan aspal dipanaskan hingga mencapai suhu ± 155°C.
4. Setelah agregat dan aspal mencapai suhu yang dikehendaki, dilakukan pencampuran kedua bahan tersebut dengan prosentase kadar aspal yang telah direncanakan.
5. Campuran tersebut kemudian diaduk hingga rata sampai semua agregat terselimuti aspal. Benda uji kemudian dimasukkan kedalam silinder cetakan yang sebelumnya telah diolesi *vaselin*, kemudian bagian atas dan bagian bawah dari silinder benda uji diberi kertas saring dan diberi tanda.
6. Setelah campuran benda uji dimasukkan kedalam silinder cetakan, campuran ditusuk-tusuk sebanyak 25 x, 15 x ditepi silinder dan 10 x dibagian tengah.
7. Pemadatan dilakukan dengan *compactor* manual sebanyak 75 x untuk masing-masing sisi atas dan sisi bawah.

8. Benda uji didinginkan, selanjutnya dikeluarkan dari silinder cetakan dengan *ejector* dan diberi tanda pada setiap permukaan.

5.2.3.3. Cara pengujian

Cara pengujian benda uji dilakukan seperti dibawah ini.

1. Benda uji direndam dalam *water bath* selama ± 30 menit untuk pengujian *Marshall* dan ± 24 jam untuk pengujian *Imersion* dengan suhu perendaman 60°C.
2. Kepala penekan alat pengujian *Marshall* dibersihkan dan permukaannya dilumasi dengan *vaselin* agar benda uji mudah dilepaskan. Benda uji diletakkan pada alat pengujian *Marshall* segera setelah benda uji dikeluarkan dari *water bath.*
3. Pembebanan dimulai dengan posisi jarum diatur sehingga menunjukkan angka nol.
4. Kecepatan pembebanan dimulai dengan 50 mm/menit hingga pembebanan maksimum tercapai, yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum ukur. Pada saat pembebanan maksimum terjadi, *flow* meter dibaca.

5.3. Analisis

Setelah pengujian *Marshall* dilakukan, dilanjutkan dengan analisis data yang diperoleh. Analisis yang dilakukan adalah untuk mendapatkan nilai-nilai *Marshall* guna mengetahui karakteristik campuran sehingga didapatkan kadar

aspal optimum. Data yang diperoleh dari percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut :

1. berat benda uji sebelum direndam (gram),
2. berat benda uji didalam air (gram),
3. berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gram),
4. tebal benda uji (mm),
5. pembacaan arloji stabilitas (kg), dan
6. pembacaan arloji kelelehan atau *flow* (mm).

Untuk mendapatkan nilai-nilai stabilitas, *flow*, *density*, *Void Filled With Asphalt* (VFWA), *Void In Total Mix* (VITM) dan *Marshall Quotient* (MQ), diperlukan data-data sebagai berikut :

1. Berat jenis aspal

$$BjAspal = \frac{Berat}{Volume} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5.1)$$

2. Berat jenis agregat

$$BjAgregat = \frac{(X*F1)+(Y*F2)+(Z*F3)}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5.2)$$

Keterangan : X = Prosentase agregat kasar

Y = Prosentase agregat halus

Z = Prosentase *filler*

F1 = Berat jenis agregat kasar

F2 = Berat jenis agregat halus

F3 = Berat jenis *filler*

Kemudian nilai-nilai stabilitas, *flow, density, Void Filled With Asphalt* (VFWA), *Void In Total Mix* (VITM) dan *Marshall Quotient* (MQ) dapat dihitung berdasarkan data-data tersebut.

1. Stabilitas

   Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian *Marshall* yang kemudian dicocokkan dengan angka kalibrasi *proving ring* dengan satuan lbs atau kg dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi yang dipengaruhi oleh tebal benda uji. Nilai stabilitas sesungguhnya diperoleh dari persamaan 3.4.

Tabel 5.1 Koreksi Tebal Benda Uji

Tebal (mm)	Angka Koreksi	Tebal (mm)	Angka Koreksi
60	1,095	70	0,845
61	1,065	71	0,835
62	1,035	72	0,825
63	1,015	73	0,810
64	0,960	74	0,791
65	0,935	75	0,772
66	0,900	76	0,762
67	0,885	77	0,752
68	0,865	78	0,742
69	0,855	79	0,733
70	0,845	80	0,724

Sumber : Laboratorium Jalan Raya JTS FTSP UII

2. *Flow*

   Flow menunjukkan deformasi benda uji akibat pembebanan. Nilai *flow* langsung terbaca pada arloji *flow* saat pengujian *Marshall.*

3. *Density*

   Nilai ini menunjukkan kepadatan campuran. Nilai *density* dihitung dengan persamaan 3.5.

4. *Void Filled With Asphalt* (VFWA)

   Nilai ini menunjukkan prosentase rongga campuran yang terisi aspal. Nilai VFWA dihitung dengan persamaan 3.7.

5. *Void In The Mix* (VITM)

   VITM adalah prosentase rongga didalam campuran. Nilainya dihitung dengan persamaan 3.11.

6. *Marshall Quotient* (MQ)

   Nilai *Marshall Quotient* pada perencanaan perkerasan digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas perkerasan. Nilainya dihitung dengan persamaan 3.13.

Untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat air, suhu dan campuran dilakukan dengan pengujian *Imersion* dengan memperhitungkan indeks tahanan campuran aspal sesuai dengan persamaan 3.14.

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *filler sludge* terhadap campuran aspal – *filler*, dilakukan pengujian penetrasi aspal – *filler*. Berat aspal yang digunakan dalam campuran aspal – *sludge* adalah 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 % dari berat campuran *Marshall*, sedangkan berat *sludge* yang digunakan adalah 5 % dari berat agregat yang digunakan pada campuran *Marshall* dengan kadar aspal 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 %.

Kemudian analisis dilanjutkan dengan menghitung kekakuan bitumen dengan menggunakan nomogram Van Der Poel dan persamaan yang diturunkan oleh Ullidz serta menghitung kekakuan campuran dengan metode Shell dan metode Heukellom dan Klomp.

BAB VI

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

6.1. Hasil Penelitian Laboratorium

6.1.1 Hasil Pemeriksaan Bahan

Hasil pemeriksaan bahan-bahan yang digunakan untuk campuran HRS B yang dilakukan di laboratorium meliputi pengujian agregat dan aspal adalah seperti pada tabel 6.1, tabel 6.2 dan tabel 6.3.

Tabel 6.1 Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

No	Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Keausan dengan mesin *Los Angeles* (%)	≤ 40 %	20,56 %	Memenuhi
2	Kelekatan terhadap aspal (%)	≥ 95 %	99 %	Memenuhi
3	Penyerapan terhadap air (%)	≤ 3 %	1,270 %	Memenuhi
4	Berat jenis semu	≥ 2,5	2,740	Memenuhi

Sumber : DPU, Laston, SKBI-2.4.26.1987 dan hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.2 Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

No	Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	*Sand Equivalent* (%)	≥ 50 %	57,41 %	Memenuhi
2	Penyerapan terhadap air (%)	≤ 3 %	2,249 %	Memenuhi
3	Berat jenis semu	≥ 2,5	2,778	Memenuhi

Sumber : DPU, Laston, SKBI-2.4.26.1987 dan hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.3 Spesifikasi dan Hasil Pemeriksaan Aspal Keras AC 60-70

No	Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi (25°C, 5 detik) (0,1 mm)	60 – 79	69,8	Memenuhi
2	Titik lembek (*Ring and ball*) (°C)	48 – 58	51	Memenuhi
3	Titik nyala (*Clevelend open cup*) (°C)	≥ 200	327	Memenuhi
4	Kelarutan dalam CCL_4 (%)	≥ 99	99,02	Memenuhi
5	Daktilitas (25°C, 5 cm/menit) (cm)	≥ 100	126,5	Memenuhi
6	Berat jenis	≥ 1,0	1,04	Memenuhi

Sumber : DPU, Laston, SKBI-2.4.26.1987 dan hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

6.1.2 Hasil Pengujian Benda Uji

HRS B mempunyai sifat yang sama dengan bahan laston yang dipakai untuk lalu lintas berat sehingga persyaratan yang digunakan untuk HRS B sama dengan persyaratan laston untuk lalu lintas berat seperti pada tabel 6.4.

Tabel 6.4 Persyaratan Lapis Aspal Beton Untuk Lalu Lintas Berat

No	Sifat Campuran	Satuan	Persyaratan
1	Stabilitas	Kg	≥ 550
2	*Flow*	mm	2,0 – 4,0
3	*Density*	gr/cc	-
4	*Void Filled With Asphal* (VFWA)	%	-
5	*Void in Total Mix* (VITM)	%	3 – 5
6	*Marshall Quotient* (MQ)	kg/mm	200 – 350

Sumber : DPU, Laston, SKBI-2.4.26.1987

Data hasil pengujian *Marshall* untuk campuran HRS B yang menggunakan *sludge* sebagai *filler* dan semen portland sebagai *filler* dapat dilihat pada tabel 6.5 dan tabel 6.6.

Tabel 6.5 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler* Semen Portland

Kadar Aspal (%)	Kode	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	VITM (%)	VFWA (%)	*Density* (gr/cc)	*Marshall Quotient* (Kg/mm)
6,0	1 – C	1600.849	2.50	6.357	67.328	2.271	640.340
	2 – C	2218.195	1.90	5.242	71.661	2.298	1167.471
	3 – C	1625.642	2.25	8.465	60.201	2.220	722.507
	Rerata	1814.895	2.22	6.688	66.397	2.263	843.439
6,5	1 – C	1789.918	2.65	4.780	74.986	2.293	675.441
	2 – C	2171.993	2.30	5.044	73.908	2.286	944.345
	3 – C	1747.976	2.47	4.756	75.083	2.293	707.683
	Rerata	1903.296	2.47	4.860	74.659	2.291	775.823
7,0	1 – C	1520.182	2.50	1.607	90.784	2.352	608.073
	2 – C	2040.681	2.47	1.544	91.122	2.354	826.187
	3 – C	2081.886	2.50	1.064	93.734	2.365	832.754
	Rerata	1880.916	2.49	1.405	91.880	2.357	755.671
7,5	1 – C	2019.765	2.50	1.446	92.109	2.340	807.906
	2 – C	1896.718	2.50	1.167	93.548	2.347	758.687
	3 – C	1658.362	2.55	1.531	91.675	2.338	650.338
	Rerata	1858.282	2.52	1.381	92.444	2.342	738.977
8,0	1 – C	1196.891	2.95	1.684	91.373	2.318	405.726
	2 – C	1676.426	3.00	0.877	95.351	2.337	558.809
	3 – C	1442.596	3.45	1.241	93.521	2.329	418.144
	Rerata	1438.638	3.13	1.267	93.415	2.328	460.893

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.6 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge*

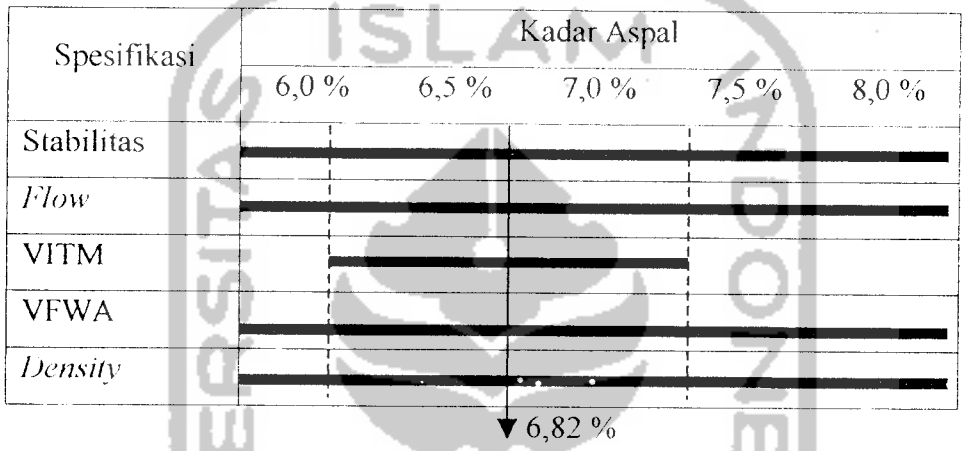
Kadar Aspal (%)	Kode	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	VITM (%)	VFWA (%)	*Density* (gr/cc)	*Marshall Quotient* (Kg/mm)
6,0	1 – S	1920.420	2.60	7.005	64.525	2.209	738.623
	2 – S	1839.338	1.64	6.025	68.125	2.232	1121.548
	3 – S	1422.345	2.30	7.005	64.525	2.209	618.411
	Rerata	1727.368	2.18	6.679	65.725	2.216	826.194
6,5	1 – S	2105.660	2.10	4.617	75.281	2.250	1002.695
	2 – S	2202.695	2.10	4.312	76.589	2.257	1048.902
	3 – S	2303.414	2.00	4.312	76.589	2.257	1151.707
	Rerata	2203.923	2.07	4.414	76.153	2.255	1067.768
7,0	1 – S	2061.052	2.10	3.418	81.674	2.263	981.453
	2 – S	2099.398	2.00	3.603	80.842	2.259	1049.699
	3 – S	1905.925	1.95	3.787	80.027	2.254	977.397
	Rerata	2022.125	2.02	3.602	80.848	2.259	1002.850
7,5	1 – S	2124.900	3.70	2.075	88.792	2.279	574.297
	2 – S	2137.411	3.00	2.685	85.884	2.265	712.470
	3 – S	1516.675	2.00	2.685	85.884	2.265	758.337
	Rerata	1926.329	2.90	2.481	86.853	2.270	681.702
8,0	1 – S	1429.329	3.80	1.618	91.533	2.274	376.145
	2 – S	1565.170	3.10	1.252	93.346	2.283	504.894
	3 – S	1728.949	3.35	1.204	93.586	2.284	516.104
	Rerata	1574.490	3.42	1.358	92.822	2.280	465.714

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

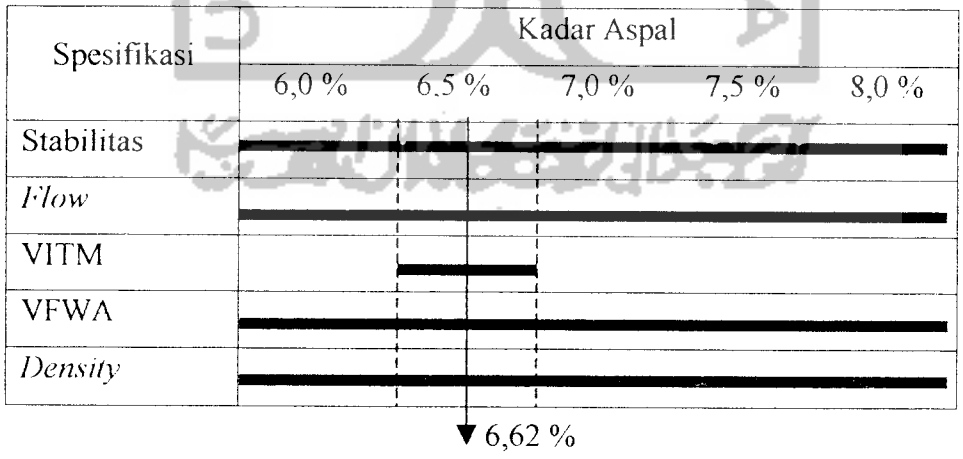
Dari data tersebut diatas kemudian digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum pada campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* maupun *filler* semen portland sebagai pembanding. Kadar aspal optimum adalah jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agar dapat mencapai persyaratan berdasarkan *stabilitas*, *flow*, VITM, VFWA dan *density*.

Penentuan kadar aspal optimum pada campuran menggunakan metode Bina Marga. Nilai kadar aspal optimum diperoleh dengan cara sebagai berikut.

Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi berdasarkan nilai stabilitas (≥ 550), *flow* (2,0 – 4,0), VITM (3% – 5%), VFWA dan *density*. Nilai-nilai tersebut diambil dari nilai rata-rata masing-masing kadar aspal pada tabel 6.5 dan tabel 6.6. Berdasarkan garis yang telah diplotkan pada gambar spesifikasi kadar aspal, dicari batas terdalam dari kanan maupun dari kiri gambar tersebut. Nilai tengah diantara kedua batas tersebut merupakan kadar aspal optimum.



Gambar 6.1 Kadar Aspal Optimum untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge*



Gambar 6.2 Kadar Aspal Optimum untuk Campuran HRS B Menggunakan *Filler* Semen Portland

Berdasarkan gambar 6.1 dan gambar 6.2 diatas, kadar aspal optimum untuk campuran HRS B menggunakan *filler sludge* adalah 6,82 % sedangkan untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland adalah 6,62 %.

Pengujian yang dilakukan untuk masing-masing kadar aspal optimum adalah pengujian *Marshall* dan pengujian *Imersion* untuk perendaman selama 24 jam. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 6.7 dan tabel 6.8.

Tabel 6.7 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Campuran HRS B

Jenis *Filler*	Kode	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	VITM (%)	VFWA (%)	*Density* (gr/cc)	*Marshall Quotient* (Kg/mm)
Sludge	1 – S	2101.351	2.80	2.730	84.585	2.285	750.483
	2 – S	1866.235	0.80	2.730	84.585	2.285	2332.978
	3 – S	1862.928	2.90	4.245	77.652	2.249	642.389
	Rerata	1943.554	2.17	3.235	82.274	2.273	1241.389
Semen Portland	1 – C	1808.948	2.35	0.805	94.960	2.384	769.765
	2 – C	2113.794	4.40	0.961	94.036	2.381	480.408
	3 – C	2524.378	1.80	1.329	91.908	2.372	1402.432
	Rerata	2149.040	2.85	1.032	93.635	2.379	884.202

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.8 Hasil Pengujian *Imersion* untuk Campuran HRS B

Jenis *Filler*	Kode	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	VITM (%)	VFWA (%)	*Density* (gr/cc)	*Marshall Quotient* (Kg/mm)
Sludge	1 – S	2043.142	2.65	3.687	80.094	2.262	770.997
	2 – S	1814.405	3.70	2.468	85.890	2.291	490.380
	3 – S	2124.293	2.45	2.730	84.585	2.285	867.058
	Rerata	1993.947	2.93	2.962	83.523	2.279	709.478
Semen Portland	1 – C	2216.745	2.50	1.650	90.117	2.364	886.698
	2 – C	1633.889	2.60	0.909	94.344	2.382	628.419
	3 – C	2238.151	3.70	0.676	95.743	2.387	604.906
	Rerata	2029.595	2.93	1.078	93.401	2.378	706.674

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

6.1.3 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Campuran Aspal – *Sludge*

Untuk mengetahui pengaruh *sludge* terhadap aspal maka dilakukan pemeriksaan penetrasi terhadap campuran aspal *sludge* tersebut. Berat aspal yang digunakan dalam campuran aspal – *sludge* adalah 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 % dari berat campuran *Marshall* (1200 gram), sedangkan berat *sludge* yang digunakan adalah 5 % dari berat agregat yang digunakan pada campuran *Marshall* dengan kadar aspal 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 %.

Hasil pemeriksaan penetrasi campuran aspal – *sludge* tersebut dapat dilihat pada tabel 6.9.

Tabel 6.9 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Campuran Aspal – *Sludge*

No	Kadar Aspal Terhadap Campuran *Marshall*	Berat Aspal (gram)	Berat *Sludge* (gram)	Nilai Penetrasi (0.1 mm)
1	6,0 %	72	56,4	29
2	6,5 %	78	56,1	31
3	7,0 %	84	55,8	33
4	7,5 %	90	55,5	42
5	8,0 %	96	55,2	49

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

6.2 Pembahasan

6.2.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan dari lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang atau alur. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa

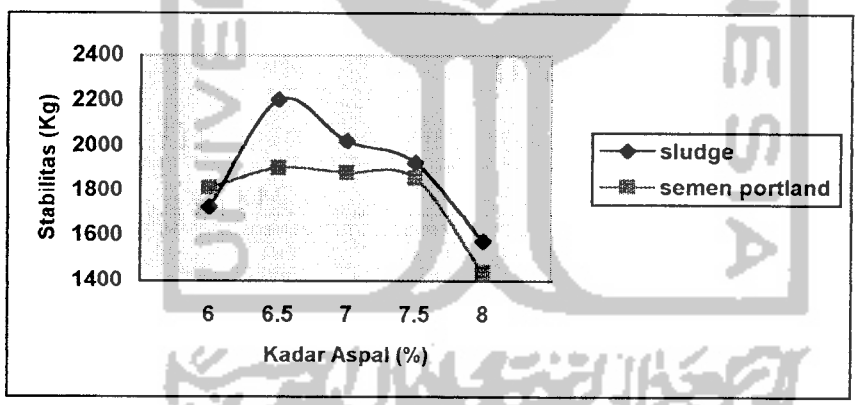
perkerasan tersebut mampu menahan beban lalu lintas yang besar. Nilai stabilitas pada aspal beton dipengaruhi oleh suhu pemadatan, gradasi agregat, kadar serta jenis aspal, bentuk agregat dan kohesi campuran. Jika nilai stabilitas dari campuran terlalu besar maka perkerasan tersebut akan semakin kaku dan cendrung menjadikan perkerasan tersebut bersifat getas.

Nilai stabilitas hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.10 dan gambar 6.3 berikut ini.

Tabel. 6.10 Nilai Stabilitas (Kg) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis *Filler*	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
Sludge	1727.368	2203.923	2022.125	1926.329	1574.490
Semen Portland	1814.895	1903.296	1880.916	1858.282	1438.638

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.3 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Berdasarkan gambar 6.3 terlihat bahwa nilai stabilitas semakin bertambah dengan bertambahnya kadar aspal sampai batas optimum dan kembali menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini dimungkinkan karena jika dilihat fungsi dari aspal sebagai bahan perekat, penggunaan aspal yang rendah tidak akan maksimum dalam menyelimuti permukaan agregat sehingga kekompakan ikatan antar agregat berkurang dan stabilitas dari campuran tersebut

akan berkurang pula. Dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran akan memberikan lapisan film aspal yang semakin tebal sehingga dapat menyelimuti permukaan agregat dengan baik dan memperkokoh ikatan antar agregat sampai pada batas optimum. Seiring dengan bertambahnya kadar aspal melewati kadar aspal optimum akan memberikan lapisan film aspal yang lebih tebal, hal ini akan membuat jarak ikatan antar agregat penyusun menjadi lebih besar dan mengurangi gaya gesek antar agregat serta mengubah fungsi dari aspal tersebut sebagai bahan perekat menjadi pelicin dalam campuran. Kondisi tersebut mengurangi kestabilan dari campuran karena campuran cendrung bersifat plastis.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa stabilitas campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih tinggi dibandingkan dengan stabilitas campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland, padahal nilai *density* pada campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland lebih besar seperti terlihat pada gambar 6.7. Hal ini menunjukkan bahwa campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland memiliki ketahanan terhadap deformasi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge* walaupun memiliki kepadatan yang lebih tinggi. Perilaku tersebut terjadi karena campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* mepunyai nilai kekakuan yang lebih tinggi seperti terlihat pada gambar 6.10 dan gambar 6.11 sehingga kemampuan untuk menahan beban yang diberikan akan lebih besar.

Nilai stabilitas campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* mulai meningkat pada kadar aspal 6 % dan mencapai batas optimum pada kadar aspal 6,5 % dengan nilai stabilitas sebesar 2203,92 Kg dan menurun setelah kadar aspal

tersebut. Begitupula dengan nilai stabilitas campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland mulai meningkat pada kadar aspal 6 % dan mencapai batas optimum pada kadar aspal 6,5 % dengan nilai stabilitas 1903,30 Kg dan menurun setelah kadar aspal tersebut. Dari hasil penelitian yang dilakukan untuk nilai stabilitas, kedua macam campuran HRS B tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu ≥ 550 Kg.

6.2.2 *Flow*

Flow adalah besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai pada batas keruntuhan dan dinyatakan dalam satuan panjang (mm).

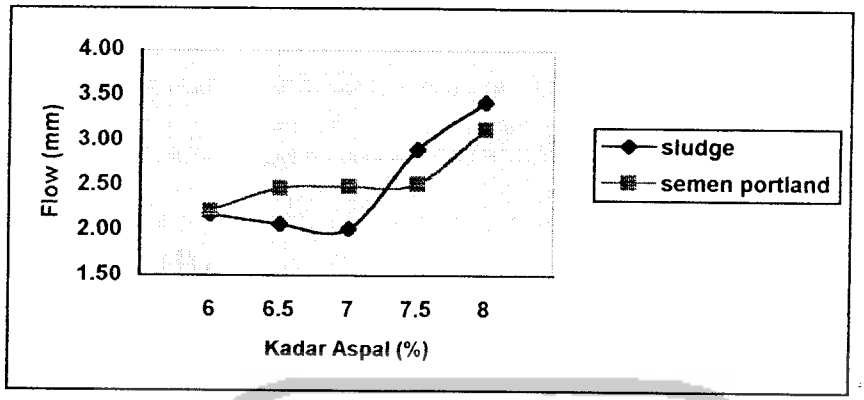
Flow menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada campuran aspal beton panas akibat beban yang bekerja padanya. Campuran yang memiliki *flow* yang rendah dan stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa campuran tersebut bersifat kaku. Sebaliknya, nilai *flow* yang tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk akibat beban lalu lintas.

Nilai *flow* hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.11 dan gambar 6.4 sebagai berikut ini.

Tabel. 6.11 Nilai *Flow* (mm) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis *Filler*	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
Sludge	2.18	2.07	2.02	2.90	3.42
Semen Portland	2.22	2.47	2.49	2.52	3.13

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.4 Grafik Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Berdasarkan gambar 6.4, terlihat bahwa dari hasil penelitian menunjukkan semua benda uji mempunyai nilai *flow* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga antara 2,0 mm – 4,0 mm. Nilai *flow* untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih kecil untuk kadar aspal 6,0 % – 7,0 % jika dibandingkan dengan nilai *flow* untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland. Hal ini terjadi karena campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland seperti terlihat pada gambar 6.10 dan gambar 6.11 sehingga kemungkinan akan terjadinya deformasi lebih kecil.

Nilai *flow* untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* mulai menurun pada kadar aspal 6,0 % dan mencapai batas optimum pada kadar aspal 7,0 % dan kemudian meningkat setelah kadar aspal tersebut. Hal ini disebabkan karena fungsi aspal sebagai bahan perekat pada kadar aspal 6,0% – 6,5 % belum maksimum menyelimuti permukaan agregat sehingga kekompakan dalam campuran berkurang yang mengakibatkan kemungkinan terjadinya deformasi akan lebih besar. Aspal pada campuran yang mempunyai kadar aspal 7,0 % dapat berfungsi maksimal sebagi bahan perekat yang mampu menyelimuti seluruh

permukaan agregat dengan baik dan memberikan kekompakan dalam campuran yang berakibat mengurangi terjadinya deformasi. Pada kadar aspal lebih besar dari 7,0 %, aspal tidak dapat berfungsi secara optimal dikarenakan kadar aspal yang terlalu banyak di dalam campuran sehingga merubah fungsi aspal tersebut dari bahan perekat menjadi pelicin yang berdampak pada campuran yang menjadi lebih plastis dan kemungkinan terjadinya deformasi yang lebih besar.

6.2.3 *Void In Total Mix* (VITM)

VITM adalah banyaknya rongga yang ada pada suatu campuran, yang dipengaruhi oleh gradasi agregat, suhu pemadatan, energi pemadatan dan kadar aspal serta jenis aspal. Nilai VITM berpengaruh terhadap kekedapan campuran yaitu kekedapan terhadap udara dan air. Nilai VITM yang tinggi menunjukkan bahwa campuran tersebut mempunyai rongga yang tinggi, hal ini dapat menyebabkan perkerasan tersebut menjadi *porous* sehingga akan mengurangi sifat keawetan dan kekedapan terhadap pengaruh udara dan air. Dalam campuran harus tersedia cukup rongga terisi udara yang fungsinya untuk menyediakan ruang gerak bagi unsur-unsur campuran sesuai dengan sifat elastisitasnya.

Nilai VITM yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah 3 % – 5 %. Lapis perekerasan yang mempunyai nilai VITM kurang dari 3 % akan mudah terjadi *bleeding*. Hal ini disebabkan oleh tingginya temperatur perkerasan sehingga aspal akan mencair dan pada saat perkerasan menerima beban, aspal akan mengalir di antara rongga agregat, jika dalam campuran tidak memiliki rongga yang cukup, aspal akan naik ke permukaan perkerasan yang menyebabkan terjadinya *bleeding*. Sebaliknya nilai VITM yang lebih besar dari 5 % menunjukkan bahwa banyak

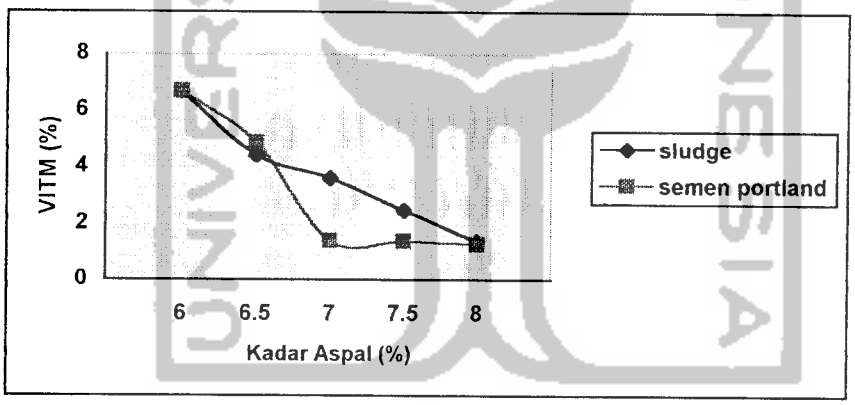
terjadi rongga dalam campuran sehingga campuran tidak rapat dan tidak kedap terhadap udara dan air, hal ini menyebabkan aspal mudah teroksidasi yang berakibat melemahnya ikatan aspal terhadap agregat yang selanjutnya aspal tidak lagi menjadi bahan ikat yang baik dan agregat akan lepas dari ikatan *(raveling)*.

Nilai VITM hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.12 dan gambar 6.5 berikut ini.

Tabel. 6.12 Nilai VITM (%) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis *Filler*	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
Sludge	6.679	4.414	3.602	2.481	1.358
Semen Portland	6.688	4.860	1.405	1.381	1.267

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.5 Grafik Hubungan VITM dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Berdasarkan gambar 6.5 terlihat bahwa nilai VITM berkurang seiring bertambahnya kadar aspal dalam campuran. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya kadar aspal, lebih banyak pori dalam campuran yang terisi oleh aspal sehingga rongga antar agregat dalam campuran menjadi lebih sedikit.

Nilai VITM campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland. Ini menunjukkan bahwa prosentase pori dalam campuran HRS B yang menggunakan

filler semen portland lebih kecil. Hal tersebut terjadi karena *sludge* memiliki berat jenis yang lebih kecil dari semen portland maka pada berat yang sama *sludge* memiliki volume yang lebih besar. Hal ini meyebabkan lapisan aspal pada campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih tipis pada kadar aspal yang sama jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland. Pada kondisi ini, *viskositas* aspal semakin meningkat dan menyebabkan bertambahnya rongga udara yang terbentuk dalam campuran sehingga meningkatkan nilai VITM.

Berdasarkan hasil penelitian, nilai VITM campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga adalah pada kadar aspal 6,5 % dan 7,0 %, sedangkan pada campuran yang menggunakan *filler* semen portland yang memenuhi nilai VITM adalah pada kadar aspal 6,0 %.

6.2.4 *Void Filled With Asphalt* (VFWA)

Nilai VFWA menunjukkan besarnya rongga yang terisi aspal yang dinyatakan dalam persen aspal terhadap rongga. Besarnya nilai VFWA berpengaruh pada kekedapan campuran terhadap udara dan air yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap keawetan suatu perkerasan.

Untuk nilai VFWA yang besar berarti semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara menjadi lebih tinggi. Nilai VFWA yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya *bleeding* atau naiknya aspal kepermukaan perkerasan. Hal ini disebabkan karena rongga yang ada terlalu kecil sehingga jika perkerasan menerima beban, terutama pada temperatur yang tinggi dan *viskositas* aspal turun, sebagian aspal akan mencari

tempat yang kosong dan jika rongga telah penuh maka aspal akan naik ke permukaan perkerasan.

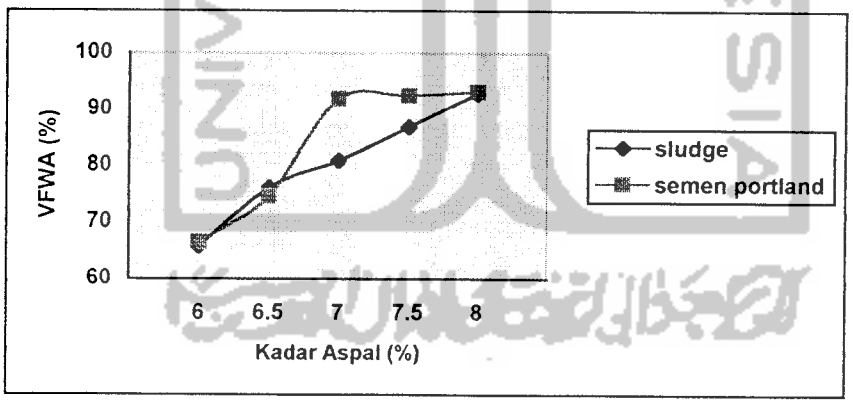
Nilai VFWA yang terlalu kecil menyebabkan kekedapan campuran menjadi berkurang karena banyak rongga yang kosong. Hal tersebut diatas akan memudahkan masuknya udara dan air yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi sehingga keawetan campuran tersebut berkurang.

Nilai VFWA hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.13 dan gambar 6.6 berikut ini.

Tabel. 6.13 Nilai VFWA (%) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis *Filler*	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
Sludge	65.725	76.153	80.848	86.853	92.822
Semen Portland	66.397	74.659	91.880	92.444	93.415

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.6 Grafik Hubungan VFWA dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Pada gambar 6.6 tampak bahwa nilai VFWA campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge.* Hal ini berkaitan erat dengan nilai VITM, dimana campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland lebih kecil jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge.*

Dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran, nilai VITM akan semakin menurun sedangkan nilai VFWA akan semakin naik.

Dari hasil pengujian terlihat bahwa nilai VFWA semakin bertambah seiring dengan bertambahnya kadar aspal, hal ini dikarenakan dengan bertambahnya kadar aspal semakin banyak rongga yang terisi aspal. Kadar aspal yang rendah mengakibatkan nilai VFWA yang rendah dan menunjukkan berat aspal dalam total campuran yang rendah pula, permukaan agregat hanya dilapisi oleh lapisan tipis aspal, sehingga rongga antar agregat yang diisi oleh aspal juga rendah. Sebaliknya, pada kadar aspal yang tinggi, berat aspal dalam campuran tinggi pula, sehingga permukaan agregat akan dilapisi oleh aspal yang tinggi. Lapisan aspal yang lebih tebal tersebut akan memungkinkan aspal untuk mengisi rongga antar agregat.

Nilai VFWA campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge*. Hal ini terjadi karena *sludge* memiliki berat jenis yang lebih kecil dari semen portland maka pada berat yang sama *sludge* memiliki volume yang lebih besar. Hal ini menyebabkan lapisan aspal pada campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih tipis pada kadar aspal yang sama jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland. Pada kondisi ini, *viskositas* aspal semakin meningkat dan menyebabkan bertambahnya rongga udara yang terbentuk dan pada kadar aspal yang sama menyebabkan rongga yang terisi aspal lebih sedikit.

6.2.5 *Density*

Nilai kepadatan campuran *(density)* menunjukkan derajat kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Nilai ini mencerminkan tingkat kepadatan dari suatu campuran, makin tinggi nilai *density* berarti campuran tersebut makin padat. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban lebih berat dibandingkan dengan campuran dengan nilai *density* yang rendah. Nilai *density* dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusunnya dan pelaksanaan pemadatan, baik suhu pemadatan maupun jumlah tumbukan.

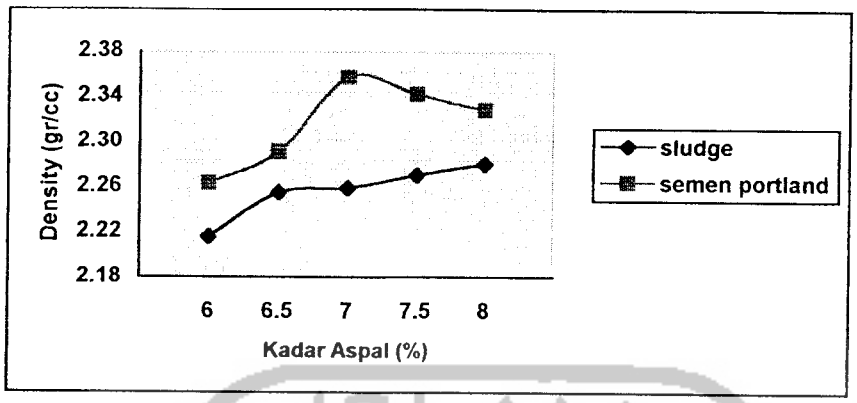
Campuran akan memiliki nilai *density* yang tinggi apabila memakai bahan yang memiliki porositas rendah serta campuran dengan rongga antar agregat yang rendah. Nilai *density* juga akan meningkat jika energi pemadatan tinggi serta pada suhu pemadatan yang tepat. Peningkatan prosentase pemakaian aspal yang cukup juga akan meningkatkan nilai *density* campuran.

Nilai *density* hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.14 dan gambar 6.7 berikut ini.

Tabel. 6.14 Nilai *Density* (gr/cc) Campuran HRS B Hasil *Marshall Test*

Jenis *Filler*	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
Sludge	2.216	2.255	2.259	2.270	2.280
Semen Portland	2.263	2.291	2.357	2.342	2.328

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.7 Grafik Hubungan *Density* dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Seperti terlihat pada gambar 6.7, nilai *density* semakin bertambah seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya kadar aspal akan meyediakan aspal yang lebih banyak untuk mengisi rongga dalam campuran sehingga campuran lebih padat yang berarti nilai *density* semakin bertambah pula.

Nilai *density* campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge*. Hal ini dikarenakan oleh perbedaan berat jenis dari kedua macam *filler* yang digunakan. Sehingga dengan berat yang sama, *sludge* yang memiliki berat jenis yang lebih kecil mempunyai volume yang lebih besar, hal ini meyebabkan bahan pengisi pada campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih banyak. Nilai *density* merupakan perbandingan antara massa dan volume, sehingga campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* memiliki volume yang lebih besar akan mempunyai nilai *density* yang lebih kecil.

6.2.6 *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan suatu campuran.

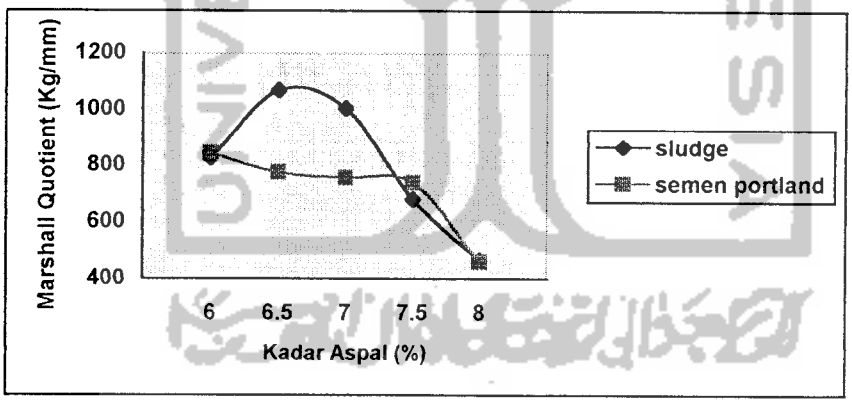
Stabilitas yang tinggi yang disertai dengan kelelehan yang rendah akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku dan bersifat getas, sebaliknya stabilitas yang rendah dengan kelelehan yang tinggi akan menghasilkan campuran yang terlalu elastis dan akan berakibat perkerasan mengalami deformasi yang besar jika menerima beban lalu lintas.

Nilai *Marshall Quotient* hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 6.15 dan gambar 6.8 berikut ini.

Tabel. 6.15 Nilai *Marshall Quotient* (Kg/mm) Campuran HRS B
Hasil *Marshall Test*

Jenis *Filler*	Kadar Aspal				
	6.0 %	6.5 %	7.0 %	7.5 %	8.0 %
Sludge	826.194	1067.768	1002.850	681.702	465.714
Semen Portland	843.439	775.823	755.671	738.977	460.893

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.8 Grafik Hubungan MQ dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Dari gambar 6.8 terlihat bahwa nilai *Marshall Quotient* untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland. Hal ini dikarenakan campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi dan nilai *flow* yang lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa campuran

tersebut bersifat lebih getas. Hasil penelitian yang dilakukan meunjukkan bahwa dari kedua jenis campuran HRS B tersebut tidak ada yang memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu 200 – 350 Kg mm.

6.2.7 *Imersion Test*

Imersion Test atau uji perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu dan cuaca. Waktu perendaman benda uji pada *Imersion Test* adalah selama 24 jam pada suhu konstan 60°C. Kadar aspal yang digunakan untuk *Imersion Test* pada penelitian ini adalah kadar aspal optimum untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* maupun untuk campuran yang menggunakan *filler* semen portland.

Hasil penelitian diperoleh nilai stabilitas dengan waktu perendaman 30 menit dan waktu perendaman 24 jam seperti pada tabel 6.16.

Tabel 6.16 Nilai Stabilitas (Kg) Campuran HRS B Kadar Aspal Optimum

Jenis *Filler*	Waktu Perendaman	
	30 Menit	24 Jam
Sludge	2149.040	2029.595
Semen Portland	1943.554	1993.947

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Dari hasil *Imersion Test* menunjukkan bahwa terdapat kenaikan nilai stabilitas untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland pada perendaman 24 jam. Hal ini dikarenakan sifat semen portland yang dapat bereaksi dengan air sehingga menambah ikatan dalam campuran yang berdampak pada peningkatan nilai stabilitas campuran tersebut. Hal tersebut terjadi karena pada saat pencampuran antara aspal, agregat dan *filler*, aspal tidak dapat menyelimuti permukaan *filler* dengan baik sehingga terjadi ruang dimana permukaan *filler*

tidak terselimuti aspal yang menyebabkan semen portland sebagai *filler* dapat bereaksi dengan air yang berdampak pada peningkatan nilai stabilitas. Sedangkan pada campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* menunjukkan kecendrungan menurunnya nilai stabilitas setelah mengalami perendaman selama 24 jam.

Indeks tahanan campuran *(index of retained strength)* akibat pengaruh air, suhu dan cuaca dapat dihitung dengan membandingkan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam dan nilai stabilitas campuran dengan waktu perendaman 30 menit.

Hasil perhitungan indeks tahanan campuran kedua jenis benda uji adalah seperti dibawah ini.

1. Campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland

$$Index\ of\ retained\ strength = \frac{S2}{S1} * 100\ \%$$

$$= \frac{1993\ .947}{1943\ .554} * 100\ \%$$

$$= 102.59\ \%$$

2. Campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge*

$$Index\ of\ retained\ strength = \frac{S2}{S1} * 100\ \%$$

$$= \frac{2029\ .595}{2149\ .040} * 100\ \%$$

$$= 94.44\ \%$$

Nilai stabilitas campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland terlihat mengalami peningkatan sebesar 2,59 % pada periode perendaman selama 24 jam. Hal ini disebabkan oleh pengaruh semen portland yang bereaksi dengan air selama periode perendaman.

Hasil penelitian ini memiliki kesamaan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ilan Ishai dan Joseph Craus dengan judul penelitian *Effect of The Filler on Aggregate-Bitumen Adhesion Properties in Bituminous Mixtures*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan campuran yang menggunakan *filler hydrated lime* mengalami peningkatan kekuatan selama periode perendaman untuk seluruh kadar *filler hydrated lime* pada temperatur tinggi yaitu pada suhu 60°C sampai dengan lebih dari 120 % dari nilai *resilent modulus* awal untuk kondisi optimum setelah periode perendaman selama 30 hari. Alasan untuk perilaku ini adalah proses kimia-fisis pada permukaan *mastic*-agregat *hydrated lime* oleh keberadaan air, dipercepat dan diintensifkan selama periode perendaman bertemperatur tinggi.

Kesimpulan dari hasil penelitian untuk campuran yang menggunakan *filler hydrated lime* yang dilakukan tersebut adalah *stripping potensial* meningkat seiring dengan peningkatan penyerapan air, temperatur perendaman, waktu perendaman dan kejenuhan *vakum*. Penggunaaan *filler hydrated lime* pada campuran pasir-aspal meningkatakan *adhesi potensial* secara mendasar pada campuran pasir-aspal dengan ditambahkan air. Penurunan kekuatan yang diakibatkan oleh kondisi lingkungan yang berbeda, berada pada batas-batas yang dapat diterima, bahkan setelah 30 hari periode perendaman.

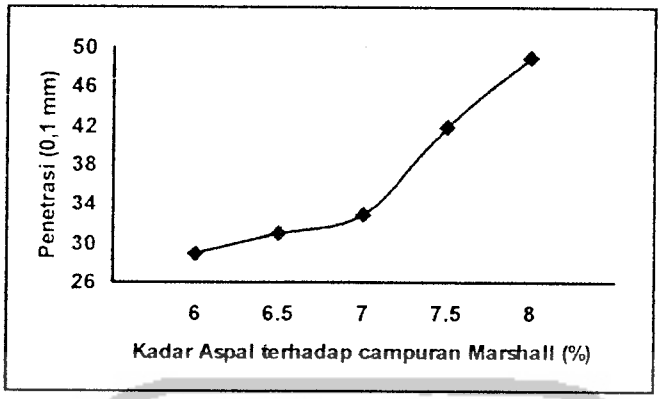
Berdasarkan indeks tahanan dari kedua campuran tersebut menunjukkan bahwa campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan oleh pengaruh air, suhu dan cuaca jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge*. Namun kedua campuran tersebut memilki indeks tahanan campuran yang memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu lebih besar dari 75 %.

6.2.8 Tinjauan Campuran Aspal – *Sludge*

Pemeriksaan penetrasi aspal – *sludge* bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan campuran aspal – *sludge*. Pemeriksaan dengan memasukkan jarum penetrasi berdiameter 1 mm dengan menggunakan beban seberat 50 gram, sehingga diperoleh beban gerak seberat 100 gram (berat jarum dan beban) selama 5 detik dengan temperatur 25°C.

Hasil penelitian pada campuran aspal – *sludge* diperoleh nilai penetrasi seperti pada tabel 6.9 dan gambar 6.9.

Pada gambar 6.9 terlihat nilai penetrasi campuran aspal – *sludge* semakin bertambah seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran aspal – *sludge* akan menurunkan kekentalan campuran tersebut, sebaliknya dengan semakin bertambahnya kadar *sludge* dalam campuran tersebut akan meningkatkan *viskositas* campuran sehingga campuran tersebut akan lebih mampu untuk menerima beban lalu lintas yang lebih berat dan lebih tahan terhadap pengaruh temperatur yang tinggi.



Gambar 6.9 Grafik Hubungan Nilai Penetrasi Campuran Aspal – *Sludge*

6.3 Modulus Kekakuan

6.3.1 Kekakuan Bitumen *(Bitument Stiffness)*

Kekakuan bitumen adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada bitumen yang besarnya tergantung pada temperatur dan lamanya pembebanan.

Pada perhitungan nilai kekakuan bitumen, temperatur perkerasan (T) yang digunakan adalah temperatur perkerasan rata-rata di Indonesia yaitu 30°C. Panjang jejak roda kendaraan (s) diasumsikan 25 cm dan kecepatan kendaraan (v) diasumsikan 50 Km/jam. Metode yang digunakan dalam perhitungan ini adalah dengan menggunakan nomogram Van Der Poel dan persamaan yang diturunkan oleh Ullidz.

6.3.1.1 Kekakuan Bitumen dengan Menggunakan Nomogram Van Der Poel

Waktu pembebanan (t)

$$t = \frac{s}{v}$$

$$= \frac{0.25 * 3600}{50000}$$

= 0,018 detik ..... (1)

Titik lembek aspal (Trb) = 51 °C

Penetrasi aspal pada suhu 25°C (Pi) = 70 (0,1 mm)

Suhu antara (Trb – T) = 51 – 30 = 21 °C ..... (2)

Penetration Index (PIr)

$$PIr = \frac{27 \log PI - 21.65}{76.35 \log PI - 232.82}$$

$$= \frac{27 \log 70 - 21.65}{76.35 \log 70 - 232.82}$$

= - 0,306 ..... (3)

Dari data pada persamaan (1), (2) dan (3) dengan menggunakan nomogram Van Der Poel (gambar 3.7) maka didapat nilai kekakuan bitumen sebesar 6,0 * 10^6 N/m^2

6.3.1.2 Kekakuan Bitumen dengan Menggunakan Persamaan Ullidz

Pr = 0,65 Pi

= 0,65 * 70

= 45,5 (0,1 mm)

SPr = 98,4 – 26,35 log Pr

= 98,4 – 26,35 log 45,5

= 54,71 (0,1 mm)

$Sb = 1{,}157 * 10^{-7} * t^{-0{,}368} * 2{,}718^{-PIr} * (SPr - T)^5$

$= 1{,}157 * 10^{-7} * 0{,}018^{-0{,}368} * 2{,}718^{-(-0{,}306)} * (54{,}71 - 30)^5$

$= 6{,}348003193$ Mpa

$= 6{,}34 * 10^6$ N/m^2

Dilihat dari kedua hasil tersebut diatas dalam mencari nilai kekakuan bitumen, baik dengan menggunakan nomogran Van Der Poel maupun dengan menggunkan persamaan Ullidz didapatkan hasil yang tidak terlalu jauh.

6.3.2 Kekakuan Campuran *(Mix Stiffness)*

Kekakuan campuran adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada campuran aspal beton yang besarnya tergantung pada temperatur dan lamanya pembebanan. Metode yang digunakan dalam menentukan kekakuan campuran ini adalah dengan metode Shell dan metode Heukelom dan Klomp.

6.3.2.1 Kekakuan dengan Metode Shell

Sebagai contoh perhitungan, digunakan sampel benda uji untuk campuran HRS B dengan menggunakan *filler sludge* dengan kadar aspal 6 %. Data yang diperlukan adalah seperti dibawah ini.

- Kekakuan bitumen (S bit) = $6{,}34 * 10^6$ N/m^2
- Perbandingan berat agregat dengan total berat campuran (Ma) = 94 %
- Perbandingan berat bitumen dengan total berat campuran (Mb) = 6 %
- Berat jenis campuran agregat (Ga) = 2,587
- Berat jenis bahan ikat aspal (Gb) = 1,040
- Berat volume campuran padat (τ_m) = 2,211 T/m^3
- Berat volume air (τ_w) = 1,0 T/m^3

$$\tau_{max} = \frac{100 * \tau_w}{(Mb/Gb) + (Ma/Ga)}$$

$$= \frac{100 * 1,0}{(6,0/1,040) + (94/2,587)}$$

$$= 2,375 \text{ T/m}^3$$

$$Vv = \frac{(\tau_{max} - \tau_m) * 100}{\tau_{max}}$$

$$= \frac{(2,375 - 2,211) * 100}{2,375}$$

$$= 6,902 \%$$

$$Vb = \frac{(100 - Vv) * (Mb/Gb)}{(Mb/Gb) + (Ma/Ga)}$$

$$= \frac{(100 - 6,902) * (6,0/1,040)}{(6,0/1,040) + (94/2,587)}$$

$$= 12,756 \%$$

$$Vv + Vb + Vg = 100 \%$$

$$Vg = 100 \% - 6,902 \% - 12,756 \%$$

$$= 80,342 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas, dicari nilai kekakuan campuran dengan nomogram seperti pada gambar 3.8 maka didapat nilai kekakuan campuran (S mix) sebesar $9,40 * 10^8$ N/m^2.

Hasil perhitungan kekakuan untuk campuran HRS B baik yang menggunakan *filler sludge* maupun yang menggunakan *filler* semen portland dengan menggunakan metode Shell dapat dilihat pada tabel 6.17 dan tabel 6.18.

Tabel 6.17 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge* dengan Metode Shell

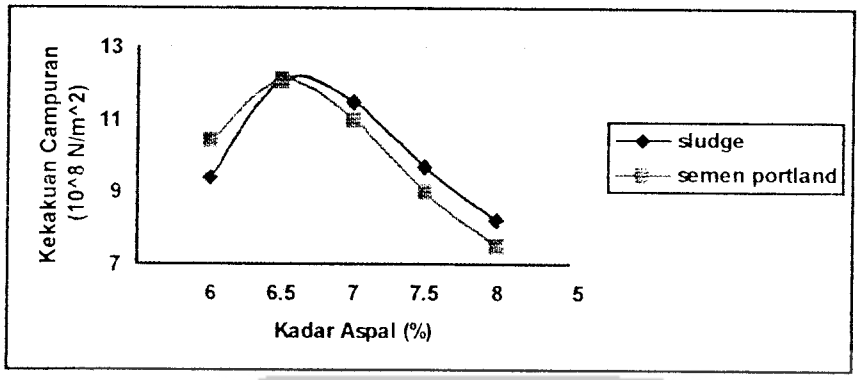
Kadar Aspal	Vv (%)	Vb (%)	Vg (%)	S mix (N/m^2)
6.0 %	6.902	12.756	80.342	$9.40 * 10^8$
6.5 %	4.008	14.152	81.839	$12.10 * 10^8$
7.0 %	3.138	15.276	81.586	$11.50 * 10^8$
7.5 %	1.735	16.493	81.773	$9.70 * 10^8$
8.0 %	0.325	17.726	81.949	$8.20 * 10^8$
6.82 % *(Marshall)*	3.311	14.892	81.796	$12.00 * 10^8$
6.82 % *(Imersion)*	2.573	15.006	82.421	$12.50 * 10^8$

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.18 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler* Semen Portland dengan Metode Shell

Kadar Aspal	Vv (%)	Vb (%)	Vg (%)	S mix (N/m^2)
6.0 %	5.857	13.170	80.973	$10.40 * 10^8$
6.5 %	3.637	14.501	81.862	$12.10 * 10^8$
7.0 %	1.442	15.861	82.697	$11.00 * 10^8$
7.5 %	0.986	16.954	82.060	$9.00 * 10^8$
8.0 %	1.262	17.909	80.829	$7.50 * 10^8$
6.62 % *(Marshall)*	0.640	15.202	84.158	$12.80 * 10^8$
6.62 % *(Imersion)*	1.205	15.116	83.679	$12.80 * 10^8$

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.10 Grafik Hubungan Kekakuan Campuran Menggunakan Metode Shell dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

6.3.2.2 Kekakuan dengan Metode Heukellom dan Klomp

Sebagai contoh perhitungan, digunakan sampel benda uji untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* dengan kadar aspal 6 % dan kadar aspal 7,5 %.

1. Campuran HRS B menggunakan *filler sludge* kadar aspal 6 %.

Data yang diperlukan :

- Prosentase volume pori (Vv) = 6,902 %
- Prosentase volume bitumen (Vb)= 12,756 %
- Prosentase volume agregat (Vg) = 80,342 %

$$Cv = \frac{Vg}{Vg + Vb}$$

$$= \frac{80,342}{80,342 + 12,756}$$

$$= 0,863$$

Karena harga Vv > 3 %, maka dicari harga Cv'

$$Cv' = \frac{Cv}{1 + 0,01\,(Vv - 3)}$$

$$= \frac{0,863}{1 + 0,01\,(6,902 - 3)}$$

$$= 0,831$$

$$Cb = \frac{Vb}{Vg + Vb}$$

$$= \frac{12,756}{80,342 + 12,756}$$

$$= 0,137$$

Syarat $Cb > 2/3\,(1 - Cv)$

$0,137 > 2/3\,(1 - 0,831)$

$0,137 > 0,113$

$$n = 0,83 \log \left(4 * \frac{10^{10}}{S_{bit}}\right)$$

$$= 0,83 \log \left(4 * \frac{10^{10}}{6,34 \times 10^{6}}\right)$$

$$= 3,154$$

$$S_{mix} = S_{bit}\left[1 + {}^{2,5}\!/\!_{n} * Cv \,/\, (1 - Cv)\right]^{n}$$

$$= 6,34 * 10^{6}\left[1 + {}^{2,5}\!/\!_{3,154} * 0,831 \,/\, (1 - 0,831)\right]^{3,154}$$

$$= 9,44 * 10^{8}\ \mathrm{N/m^2}$$

2. Campuran HRS B menggunakan *filler* semen portland kadar aspal 7,5 %.

Data yang diperlukan seperti dibawah ini.

- Prosentase volume pori (Vv) = 1,735 %
- Prosentase volume bitumen (Vb) = 16,493 %
- Prosentase volume agregat (Vg) = 81,773 %

$$Cv = \frac{Vg}{Vg + Vb}$$

$$= \frac{81,773}{81,773 + 16,493}$$

$$= 0,832$$

$$n = 0,83 \log \left(4 * \frac{10^{10}}{S_{bit}} \right)$$

$$= 0,83 \log \left(4 * \frac{10^{10}}{6,34 \times 10^{6}} \right)$$

$$= 3,154$$

$$S_{mix} = S_{bit} \left[1 + \frac{2,5}{n} * \frac{Cv}{(1 - Cv)} \right]^{n}$$

$$= 6,34 * 10^{6} \left[1 + \frac{2,5}{3,154} * \frac{0,832}{(1 - 0,832)} \right]^{3,154}$$

$$= 9,71 * 10^{8} \text{ N/m}^2$$

Hasil perhitungan kekakuan untuk campuran HRS B baik yang menggunakan *filler sludge* maupun yang menggunakan *filler* semen portland dengan menggunakan metode Heukellom dan Klomp dapat dilihat pada tabel 6.19 dan tabel 6.20.

Tabel 6.19 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler Sludge* dengan Metode Heukellom dan Klomp

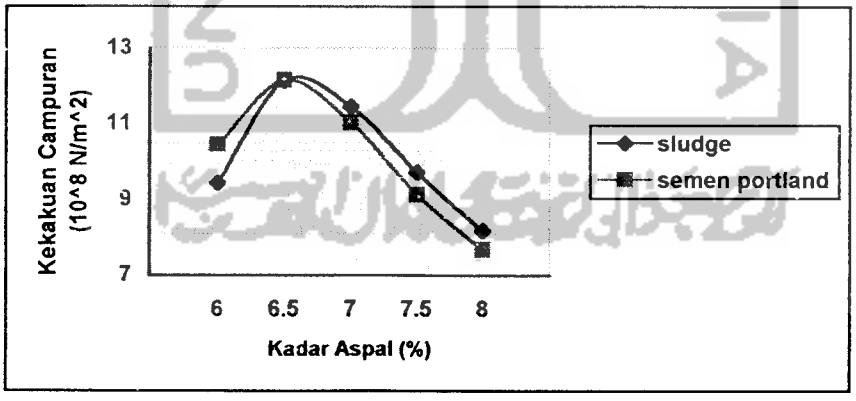
Kadar Aspal	Vv (%)	Vb (%)	Vg (%)	Cv	Cv'	Cb	S mix (N/m^2)
6.0 %	6.902	12.756	80.342	0.863	0.831	0.137	$9.44 * 10^8$
6.5 %	4.008	14.152	81.839	0.853	0.844	0.147	$12.13 * 10^8$
7.0 %	3.138	15.276	81.586	0.842	0.841	0.158	$11.46 * 10^8$
7.5 %	1.735	16.493	81.773	0.832	-	-	$9.71 * 10^8$
8.0 %	0.325	17.726	81.949	0.822	-	-	$8.17 * 10^8$
6.82 % *(Marshall)*	3.311	14.892	81.796	0.846	0.843	0.154	$11.96 * 10^8$
6.82 % *(Imersion)*	2.573	15.006	82.421	0.846	-	-	$12.59 * 10^8$

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII

Tabel 6.20 Perhitungan Kekakuan Campuran HRS B Menggunakan *Filler* Semen Portland dengan Metode Heukellom dan Klomp

Kadar Aspal	Vv (%)	Vb (%)	Vg (%)	Cv	Cv'	Cb	S mix (N/m^2)
6.0 %	5.857	13.170	80.973	0.860	0.836	0.140	$10.45 * 10^8$
6.5 %	3.637	14.501	81.862	0.850	0.844	0.150	$12.15 * 10^8$
7.0 %	1.442	15.861	82.697	0.839	-	-	$11.03 * 10^8$
7.5 %	0.986	16.954	82.060	0.829	-	-	$9.14 * 10^8$
8.0 %	1.262	17.909	80.829	0.819	-	-	$7.68 * 10^8$
6.62 % *(Marshall)*	0.640	15.202	84.158	0.847	-	-	$12.85 * 10^8$
6.62 % *(Imersion)*	1.205	15.116	83.679	0.847	-	-	$12.85 * 10^8$

Sumber : Hasil penelitian di Lab. Jalan Raya FTSP UII



Gambar 6.11 Grafik Hubungan Kekakuan Campuran Menggunakan Metode Heukellom dan Klomp dengan Kadar Aspal Campuran HRS B

Dari gambar 6.11 terlihat nilai kekakuan untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* pada kadar aspal 6,0 % dan 6,5 % lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland,

sebaliknya pada kadar aspal 7.0 %, 7,5 % dan 8,0 % memiliki nilai kekakuan campuran yang lebih tinggi.

Dari gambar terlihat pula bahwa campuran HRS B baik yang menggunakan *filler sludge* maupun yang menggunakan *filler* semen portland memiliki pola yang sama, yaitu memiliki nilai kekakuan yang meningkat dari kadar aspal 6,0 % sampai pada kadar aspal 6,5 % dan menurun setelah kadar aspal tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar aspal pada campuran akan meningkatkan nilai kekakuan campuran tersebut sampai pada batas optimum dan kemudian seiring dengan bertambahnya kadar aspal akan menurunkan nilai kekakuan campuran.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil penelitian dan perhitungan dari karakteristik campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* maupun yang menggunakan *filler* semen portland, maka didapat suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* mempunyai nilai stabilitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland. Semua benda uji campuran HRS B memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu > 550 Kg.
2. Nilai *flow* campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland dan semua benda uji memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu 2 mm – 4 mm.
3. Nilai VITM untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* pada kadar aspal 6,5 % lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland, sedangkan pada kadar aspal 6,0 %, 7,0 %,7,5 % dan 8,0 % sebaliknya. Nilai VITM yang memenuhi spesfikasi Bina Marga yaitu 3 % – 5 % hanya pada kadar aspal 6,5 % dan 7,0 % untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* dan pada kadar aspal 6,5 % untuk campuran yang menggunakan *filler* semen portland.

4. Nilai VFWA untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* pada kadar aspal 6,5 % lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland, sedangkan pada kadar aspal 6,0 %, 7,0 %, 7,5 % dan 8,0 % sebaliknya.
5. Campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland memiliki nilai *density* atau kepadatan campuran yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge*.
6. Nilai *Marshall Quotient* untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* cendrung lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland. Dari kesemua benda uji tidak ada yang memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu sebesar 200 Kg – 350 Kg.
7. Dari hasil *Imersion Test* diketahui bahwa campuran HRS B yang menggunakan *filler* semen portland memiliki indeks tahanan campuran yang lebih baik jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler sludge*. Nilai indeks tahanan campuran untuk kedua macam campuran HRS B tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu ≥75 %.
8. *Sludge* pada campuran aspal – *filler* menambah *viskositas* atau kekentalan dari aspal tersebut sehingga mampu untuk menahan beban lalu lintas yang lebih berat dan tahan terhadap pengaruh temperatur yang tinggi.
9. Nilai kekakuan campuran untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* lebih rendah untuk kadar 6,0 % dan 6,5 % jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* semen portland, sedangkan pada kadar aspal 7,0 %, 7,5 % dan 8,0 % sebaliknya mempunyai nilai yang lebih tinggi.

10. Hasil penelitian yang dilakukan untuk campuran HRS B yang menggunakan *filler sludge* secara umum memenuhi spesifikasi Bina Marga, dengan demikian hipotesa dapat diterima.

7.2 Saran

1. Pelaksanaan pencampuran benda uji di laboratorium antara agregat, *filler* dan aspal, harus dilakukan secara benar yaitu pencampuran antara aspal dan *filler* terlebih dahulu kemudian pencampuran dengan agregat sehingga aspal dapat secara optimal menyelimuti permukaan *filler* dan agregat.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kadar optimum *sludge* sebagai *filler* pada campuran HRS B.
3. Perlu dilakukan pengembangan penelitian penggunaan *filler sludge* untuk jenis campuran perkerasan lain seperti AC, ATB, SMA dan lain sebagainya.
4. Perlu dilakukan pengembangan penelitian terhadap campuran HRS B dengan menggunakan *filler* yang berbeda seperti batu andesit dan lain sebagainya
5. *Sludge* memiliki kandungan kapur yang cukup sehingga perlu dilakukan penelitian pemanfatan *sludge* sebagai bahan stabilisasi tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Aji Setiawan dan Budy Kusnadi, 1995, Pengaruh Penggunaan Limbah Karbid Sebagai *Filler* Terhadap Perilaku Campuran Beton Aspal, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Anonim, 1996, Panduan Praktikum Jalan Raya IV, Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Anonim, 1983, *Asphalt Technology and Construction Practices, Educational series* No. 1, *The Asphalt Institute*, U.S.A.

Bonnaure F. et. al, 1977, *A New Method of Predicting the Stiffness of Asphalt Paving Mixtures, Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists*, Volume 46, U.S.A.

B Indrianto Gunawan dan Eko Yulianto, 2000, Studi Komparasi Antara Semen dan Keremik Lantai Sebagai *Filler* Dalam campuran HRS B, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, 1987, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya (LASTON) SKBI – 2.4.6.1987, Badan Penerbit PU Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, CQCMU, Agustus 1988, Manual Supervisi Lapangan Untuk Staff Pengendalian.

Ervin L. Dukatz and David A. Anderson, 1980, *The Effect of Various Fillers on The Mechanical Behavior of Asphalt and Asphaltic Concrete, Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists,* Volume 49, U.S.A.

Gultom Dairi, 1995. Sifat dan Karakteristik Beton Aspal dan HRS Menggunakan *Filler* Asbuton Mikro, Makalah Teknik Desain dan Pelaksanaan. Konferensi Teknik Jalan Ke-4, Padang.

Heru Saptoadji dan Rachmat Ari Mulyc. W., 2001. Perbandingan Pengaruh Penggunaan Semen Portland dan Limbah Industri Marmer Sebagai *Filler* terhadap Perilaku *Split Mastic Asphalt*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Ilan Ishai and Joseph Craus, 1977, *Effect of The Filler on Aggregate-Bitument Adhesion Properties in Bituminous Mixtures, Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists,* Volume 46, U.S.A.

Kebrs, R.D. and Walker, 1971, *Highway Material, Mc Graw Hill Book Company, Virginia Polytechnic Institute and State University*, U.S.A.

Murdayama dan Paryoko Agung N., 2000, Penelitian Laboratorium Campuran Aspal Beton Bahan Ikat Asbuton B-20 dan AC 80-100 Dengan Bahan Tambah PC Sebagai *Filler* Menggunakan Uji *Marshall*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Nur Susanto dan Zaenal Arifin Joko Widodo, 1996, Penelitian Laboratorium Penggunaan *Filler* dari Batu Kapur dan Batu Cadas Untuk Campuran Beton Aspal, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Priyo Paratomo, 1998, Campuran *Hot Rolled Sheet* dengan Beberapa Jenis *Filler*, Prosiding Simposium I Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi, Bandung.

Sabdo Luhur Utomo dan Wahyu Hidayat, 2001, Pemanfaatan Limbah Padat Industri Tekstil *(Sludge)* pada Paving Block, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Silvia Sukirman, 1992, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Penerbit Nova, Bandung.

TM. Soeprapto, 1995, Bahan dan Struktur Jalan Raya, BP KMTS, UGM, Yogyakarta.

Van Der Poel C, 1954, *A General System Describing the Visco-Elastic Properties of Bitumen and Its Relation to Routine Test Data, J. Appl. Chem.*

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Contoh dari : Clereng Kulon Progo
Jenis contoh : Agregat Halus
Diuji tanggal : 26 oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Diperiksa oleh : Sukamto

Keterangan	Benda Uji	
	I	II
Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh / SSD	500 gram	
Berat vicnometer + Air (B)	657 gram	
Berat vicnometer + Air + Benda uji (BT)	989 gram	
Berat sampel kering oven (BK)	489 gram	
$Berat\ jenis = \frac{BK}{(B+500-BT)}$	2.615	
$Berat\ jenis\ SSD = \frac{500}{(B+500-BT)}$	2.674	
$Berat\ jenis\ semu = \frac{BK}{(B+BK-BT)}$	2.778	
$Penyerapan = \frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	2.249 %	

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Contoh dari : Clereng Kulon Progo
Jenis contoh : Agregat kasar
Diuji tanggal : 26 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Diperiksa oleh : Sukamto

Keterangan	Benda Uji	
	I	II
Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh / SSD (BJ)	1515 gram	
Berat benda uji dalam air (BA)	950 gram	
Berat sampel kering oven (BK)	1496 gram	
$Berat\ jenis(Bulk) = \frac{BK}{(BJ - BA)}$	2.647	
$Berat\ jenis\ SSD = \frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2.680	
$Berat\ jenis\ semu = \frac{BK}{(BK - BA)}$	2.740	
$Penyerapan = \frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1.270 %	

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (ABRASI TEST) AASHTO T 96-97

Contoh dari : Clereng Kulon Progo
Jenis contoh : Batu Pecah
Diuji tanggal : 2 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Diperiksa oleh : Sukamto

Jenis Gradasi Saringan		Benda Uji	
Lolos	Tertahan	I	II
72,2 mm (3,0")	63,5 mm (2,5")		
63,5 mm (2,5")	50,8 mm (2,0")		
50,8 mm (2,0")	37,5 mm (1,5")		
37,5 mm (1,5")	25,4 mm (1,0")		
25,4 mm (1,0")	19,0 mm (¾")		
19,0 mm (¾")	12,5 mm (0,5")	2500 gram	
12,5 mm (0,5")	9,5 mm (3/8")	2500 gram	
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (¼")		
6,3 mm (¼")	4,75 mm (# 4)		
4,75 mm (# 4)	2,36 mm (# 8)		
Jumlah benda uji (A)		5000 gram	
Jumlah tertahan di sieve (B)		3972 gram	
$Keausan = \frac{(A-B)}{A} x100\%$		20,56 %	

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Contoh dari : Clereng Kulon Progo
Jenis contoh : Batu Pecah
Diuji tanggal : 24 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Diperiksa oleh : Sukamto

Pemanasan Sampel	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
Mulai pemanasan	26 °C	12.50 WIB
Selesai Pemanasan	110 °C	12.55 WIB
Didiamkan pada suhu ruang		
Mulai	110 °C	12.55 WIB
Selesai	26 °C	10.00 WIB
Diperiksa		
Mulai	26 °C	10.00 WIB
Selesai	26 °C	10.05 WIB

HASIL PENGAMATAN

Benda Uji	Prosen yang diselimuti oleh aspal
I	99 %
II	
Rata – rata	

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

SAND EQUIVALENT DATA
AASHTO T 176-73

Contoh dari : Clereng Kulon Progo
Jenis contoh : Batu Pecah
Diuji tanggal : 26 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Diperiksa oleh : Sukamto

Trial Number		Benda Uji I	Benda Uji II
Seaking (10,1 min)	Start	12.55 WIB	
	Stop	13.00 WIB	
Sedimentation time (20 min – 15 sec)	Start	13.00 WIB	
	Stop	13.20 WIB	
Clay reading		5.4 cm	
Sand reading		3.1 cm	
$SE = \frac{Sand\ reading}{Clay\ reading} x100\%$		57.41 %	
Average sand equivalent			
Remark Kadar Lumpur = 100 % - 57.41 % = 42.59 %			

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Contoh dari : Lab Jalan Raya FTSP UII
Jenis contoh : AC 60-70
Diuji tanggal : 24 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Lais & Budi
Diperiksa oleh : Sukamto

No	Urutan Pemeriksaan	Berat
1	Beerat vicnometer kosong	24.65 gram
2	Berat vicnometer + Aquadest	74.53 gram
3	Berat air (2 – 1)	49.88 gram
4	Berat vicnometer + Aspal	26.65 gram
5	Berat aspal (4 – 1)	2.00 gram
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest	74.60 gram
7	Berat airnya saja (6 – 4)	47.95 gram
8	Volume aspal (3 – 7)	1.93 cc
9	Berat jenis aspal : berat/volume (5/8)	1.04 gr/cc

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN TITIK BAKAR

Contoh dari : Lab. Jalan Raya FTSP UII
Jenis contoh : AC 60-70
Diuji tanggal : 25 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Lais & Budi
Diperiksa oleh : Sukamto

Pemanasan Sampel	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
Mulai pemanasan	30 °C	9.30 WIB
Selesai Pemanasan	150 °C	9.40 WIB
Didiamkan pada suhu ruang		
Mulai	150 °C	9.40 WIB
Selesai	25 °C	12.00 WIB
Diperiksa		
Mulai	5 °C	12.00 WIB
Selesai	332 °C	13.15 WIB

HASIL PENGAMATAN

Cawan	Titik Nyala	Titik Bakar
I	327 °C	332 °C
II		
Rata - rata		

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Contoh dari : Lab Jalan Raya FTSP UII
Jenis contoh : AC 60-70
Diuji tanggal : 25 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Lais & Budi
Diperiksa oleh : Sukamto

Pemanasan Sampel	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
Mulai pemanasan	30 °C	9.30 WIB
Selesai Pemanasan	150 °C	9.40 WIB
Didiamkan pada suhu ruang		
Mulai	150 °C	9.40 WIB
Selesai	25 °C	12.00 WIB
Diperiksa		
Mulai	5 °C	12.00 WIB
Selesai	51 °C	12.12 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu Yang Diamati (°C)	Waktu (detik)		Titik Lembek	
		I	II	I	II
1	5	00.00	00.00		
2	10	01.30	01.30		
3	15	03.00	03.00		
4	20	05.06	05.06		
5	25	06.21	06.21		
6	30	07.43	07.43	51 °C	51 °C
7	35	09.11	09.11		
8	40	10.02	10.02		
9	45	10.59	10.59		
10	50	11.17	11.17		
11	51	11.47	11.47		

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY) / RESIDU

Contoh dari : Lab Jalan Raya FTSP UII
Jenis contoh : AC 60-70
Diuji tanggal : 24 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Lais & Budi
Diperiksa oleh : Sukamto

Persiapan benda uji	Contoh dipanaskan	15 menit	Pembacaan suhu oven ± 135 °C
Mendinginkan benda uji	Didiamkan pada suhu ruang	60 menit	
Perendaman benda uji	Direndam dalam Water Bath pada suhu 25 °C	30 menit	Pembacaan suhu Water Bath ± 25 °C
Pemeriksaan	Daktilitas pada 25 °C, 5 cm permenit	20 menit	Pembacaan suhu alat ± 25 °C

Daktilitas pada 25 °C, 5 cm permenit	Pembacaan pengukur pada alat (cm)
Pengamatan I	126.0
Pengamatan II	127.0
Rata - rata	126.5

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

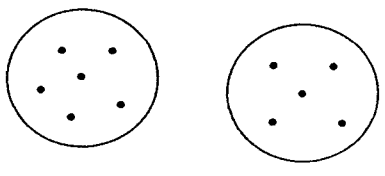
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Contoh dari : Lab Jalan Raya FTSP UII
Jenis contoh : AC 60-70
Diuji tanggal : 25 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Lais & Budi
Diperiksa oleh : Sukamto

Pemanasan Sampel	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
Mulai pemanasan	30 °C	9.30 WIB
Selesai Pemanasan	150 °C	9.40 WIB
Didiamkan pada suhu 25 °C		
Mulai	150 °C	9.40 WIB
Selesai	25 °C	11.10 WIB
Direndam air dengan suhu 25 °C		
Mulai	25 °C	11.10 WIB
Selesai	25 °C	12.40 WIB
Diperiksa		
Mulai	25 °C	12.40 WIB
Selesai	25 °C	13.00 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Cawan I (0.1 mm)	Cawan II (0.1 mm)	Sket Hasil Pemeriksaan
1	68	72	
2	73	70	
3	72	67	
4	70	70	
5	67	70	
Rerata	70	70	

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN KELARUTAN DALLAM CCL_4 (SOLUBILITY)

Contoh dari : Lab Jalan Raya FTSP UII
Jenis contoh : AC 60-70
Diuji tanggal : 25 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Lais & Budi
Diperiksa oleh : Sukamto

Pembukaan contoh	Dipanaskan	Pembacaan Waktu	Pembacaan suhu
	Mulai		
	Selesai		
Pemeriksaan			
Penimbangan	Mulai	12.15 WIB	
Pelarutan	Mulai	12.30 WIB	
Penyaringan	Mulai	12.50 WIB	
	Selesai	12.52 WIB	
Di oven	Mulai	12.52 WIB	
Penimbangan	selesai	13.00 WIB	

1	Berat botol erlenmeyer kosong	74.20 gram
2	Berat erlenmeyer + aspal	76.23 gram
3	Berat aspal (2 – 1)	2.03 gram
4	Berat kertas saringan bersih	0.56 gram
5	Berat kertas saringan + endapan	0.58 gram
6	Berat endapan (5 – 4)	0.02 gram
7	Persentase endapan (6/3 x 100%)	0.98 %
8	Bitumen yang larut (100% - 7)	99.02 %

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *SLUDGE*

Contoh dari : PT. Jogjatex Yogyakarta
Jenis contoh : *Sludge*
Diuji tanggal : 20 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Diperiksa oleh : Sukamto

No	Urutan Pemeriksaan	Berat
1	Beerat vicnometer kosong	24.60 gram
2	Berat vicnometer + Aquadest	74.40 gram
3	Berat air (2 – 1)	49.80 gram
4	Berat vicnometer + *Sludge*	33.08 gram
5	Berat *sludge* (4 – 1)	8.48 gram
6	Berat vicnometer + *Sludge* + Aquadest	78.05 gram
7	Berat airnya saja (6 – 4)	44.97 gram
8	Volume *sludge* (3 – 7)	4.87 gram
9	Berat jenis sludge : berat/volume (5/8)	1.756 gr/cc

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN BERAT JENIS SEMEN

Contoh dari : PT. Semen Nusantara
Jenis contoh : Semen Tipe I
Diuji tanggal : 20 Oktober 2001
Untuk proyek : Tugas Akhir

Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Diperiksa oleh : Sukamto

No	Urutan Pemeriksaan	Berat
1	Beerat vicnometer kosong	26.03 gram
2	Berat vicnometer + Aquadest	75.94 gram
3	Berat air (2 – 1)	49.91 gram
4	Berat vicnometer + Semen	40.67 gram
5	Berat semen (4 – 1)	14.64 gram
6	Berat vicnometer + Semen + Aquadest	85.73 gram
7	Berat airnya saja (6 – 4)	45.06 gram
8	Volume semen (3 – 7)	4.85 gram
9	Berat jenis aspal : berat/volume (5/8)	3.019 gr/cc

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Contoh dari : Clereng, Kulon Progo
Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
Jenis Agregat : CA, FA dan FF

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

No. Saringan		Berat Tertahan (gram)		Jumlah Persen (%)		Spesifikasi (%)	
mm	inch	Tertahan	Jumlah	Tertahan	Lolos	Min	Max
19,0	¾"	0	0	0	100	97	100
12,5	½"	169,20	169,20	15,0	85,0	70	100
9,50	3/8"	180,48	349,68	31,0	69,0	58	80
4,75	# 4	157,92	507,60	45,0	55,0	50	60
2,36	# 8	22,56	530,16	47,0	53,0	46	60
0,60	# 30	169,20	699,36	62,0	38,0	16	60
0,30	# 50	101,52	800,88	71,0	29,0	10	48
0,15	# 100	163,56	964,44	85,5	14,5	3	26
0,075	# 200	107,16	1071,60	95,0	5,0	2	8
	PAN	56,40	1128,00	100	0		

Keterangan : Kadar aspal 6,0 %
Tanggal : 29 Oktober 2001
Diperiksa oleh : Nurkhalis

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Contoh dari : Clereng, Kulon Progo
Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
Jenis Agregat : CA, FA dan FF

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

No. Saringan		Berat Tertahan (gram)		Jumlah Persen (%)		Spesifikasi (%)	
mm	inch	Tertahan	Jumlah	Tertahan	Lolos	Min	Max
19,0	¾"	0	0	0	100	97	100
12,5	½"	168,30	168,30	15,0	85,0	70	100
9,50	3/8"	179,52	347,82	31,0	69,0	58	80
4,75	# 4	157,08	504,90	45,0	55,0	50	60
2,36	# 8	22,44	527,34	47,0	53,0	46	60
0,60	# 30	168,30	695,64	62,0	38,0	16	60
0,30	# 50	100,98	796,62	71,0	29,0	10	48
0,15	# 100	162,69	959,31	85,5	14,5	3	26
0,075	# 200	106,59	1065,90	95,0	5,0	2	8
	PAN	56,10	1122,00	100	0		

Keterangan : Kadar aspal 6,5 %
Tanggal : 29 Oktober 2001
Diperiksa oleh : Nurkhalis

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Contoh dari : Clereng, Kulon Progo
Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
Jenis Agregat : CA, FA dan FF

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

No. Saringan		Berat Tertahan (gram)		Jumlah Persen (%)		Spesifikasi (%)	
mm	inch	Tertahan	Jumlah	Tertahan	Lolos	Min	Max
19,0	¾"	0	0	0	100	97	100
12,5	½"	167,40	167,40	15,0	85,0	70	100
9,50	3/8"	178,56	345,96	31,0	69,0	58	80
4,75	# 4	156,24	502,20	45,0	55,0	50	60
2,36	# 8	22,32	524,52	47,0	53,0	46	60
0,60	# 30	167,40	691,92	62,0	38,0	16	60
0,30	# 50	100,44	792,36	71,0	29,0	10	48
0,15	# 100	161,82	954,18	85,5	14,5	3	26
0,075	# 200	106,02	1060,20	95,0	5,0	2	8
	PAN	55,80	1116,00	100	0		

Keterangan : Kadar aspal 7,0 %
Tanggal : 29 Oktober 2001
Diperiksa oleh : Nurkhalis

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Contoh dari : Clereng, Kulon Progo
Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
Jenis Agregat : CA, FA dan FF

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

No. Saringan		Berat Tertahan (gram)		Jumlah Persen (%)		Spesifikasi (%)	
mm	inch	Tertahan	Jumlah	Tertahan	Lolos	Min	Max
19,0	¾"	0	0	0	100	97	100
12,5	½"	166,50	166,50	15,0	85,0	70	100
9,50	3/8"	177,60	344,10	31,0	69,0	58	80
4,75	# 4	155,40	499,50	45,0	55,0	50	60
2,36	# 8	22,20	521,70	47,0	53,0	46	60
0,60	# 30	166,50	688,20	62,0	38,0	16	60
0,30	# 50	99,90	788,10	71,0	29,0	10	48
0,15	# 100	160,95	949,05	85,5	14,5	3	26
0,075	# 200	105,45	1054,50	95,0	5,0	2	8
	PAN	55,50	1110,00	100	0		

Keterangan : Kadar aspal 7,5 %
Tanggal : 29 Oktober 2001
Diperiksa oleh : Nurkhalis

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Contoh dari : Clereng, Kulon Progo
Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
Jenis Agregat : CA, FA dan FF

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

No. Saringan		Berat Tertahan (gram)		Jumlah Persen (%)		Spesifikasi (%)	
mm	inch	Tertahan	Jumlah	Tertahan	Lolos	Min	Max
19,0	¾"	0	0	0	100	97	100
12,5	½"	165,60	165,60	15,0	85,0	70	100
9,50	3/8"	176,64	342,24	31,0	69,0	58	80
4,75	# 4	154,56	496,80	45,0	55,0	50	60
2,36	# 8	22,08	518,88	47,0	53,0	46	60
0,60	# 30	165,60	684,48	62,0	38,0	16	60
0,30	# 50	99,36	783,84	71,0	29,0	10	48
0,15	# 100	160,08	943,92	85,5	14,5	3	26
0,075	# 200	104,88	1048,80	95,0	5,0	2	8
	PAN	55,20	1104,00	100	0		

Keterangan : Kadar aspal 8,0 %
Tanggal : 29 Oktober 2001
Diperiksa oleh : Nurkhalis

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Pekerjaan / Proyek : Tugas Akhir
Jenis Campuran : Hot Rolled Sheet B 2 x 75 tumbukan

Tanggal : 30 Oktober 2001
Diperiksa oleh : Sukamto
Di kerjakan oleh : Nurkhalis

PERHITUNGAN *MARSHALL TEST*

Sampel	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	MQ
1 – S	6.588	3.683	6.0	1175	1182	650	532	2.209	2.375	12.742	80.252	7.005	19.748	64.525	7.005	615	2108.036	1920.420	2.60	738.623
2 – S	6.512	6.383	6.0	1174	1181	655	526	2.232	2.375	12.877	81.099	6.025	18.901	68.125	6.025	577	1977.783	1839.338	1.64	1121.548
3 – S	6.573	6.383	6.0	1175	1182	650	532	2.209	2.375	12.742	80.252	7.005	19.748	64.525	7.005	454	1556.176	1422.345	2.30	618.411
RERATA	6.558	6.383	6.0	1175	1182	652	530	2.216	2.375	12.787	80.534	6.679	19.466	65.725	6.679	549	1880.665	1727.368	2.18	826.194
1 – C	6.402	6.383	6.0	1183	1190	669	521	2.271	2.425	13.100	80.543	6.357	19.457	67.328	6.357	487	1669.290	1600.849	2.50	640.340
2 – C	6.372	6.383	6.0	1181	1185	671	514	2.298	2.425	13.256	81.502	5.242	18.498	71.661	5.242	659	2258.854	2218.195	1.90	1167.471
3 – C	6.397	6.383	6.0	1183	1187	676	533	2.220	2.425	12.805	78.730	8.465	21.270	60.201	8.465	493	1689.856	1625.642	2.25	722.507
RERATA	6.390	6.383	6.0	1182	1187	672	523	2.263	2.425	13.053	80.258	6.688	19.742	66.397	6.688	546	1872.667	1814.895	2.22	843.439

t = tebal benda uji

a = % aspal terhadap batuan
b = % aspal terhadap campuran
c = berat kering/sblm direndam (gr)
d = berat dlm keadaan SSD (gr)

e = berat didalam air (gr)
f = Vol (isi) = d - e

g = berat isi sampel $= \frac{c}{f}$

h = B.J maksimum (teoritis)

$$\left\{100 : \left(\frac{\%\ \text{aggr}}{\text{B.J Aggr}} + \frac{\%\ \text{aspal}}{\text{B.J Aspal}} \right)\right\}$$

$$i = \frac{b \times g}{\text{B.J aspal}}$$

$$j = \frac{(100 - b)\, g}{\text{B.J agregat}}$$

k = (100-i-j) jumlah kandungan rongga
l = (100-j) rongga terhadap agregat

$$m = \left(100 \times \frac{i}{l}\right) \text{rongga yang terisi aspal (VFWA)}$$

$$n = \text{rongga yang terisi campuran } 100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$$

o = pembacaan arloji (stabilitas)
p = o x kalibrasi proving ring (kg)

q = p x koreksi tebal sample (STABILITAS)

r = FLOW (kelelehan plastis) (mm)
MQ = Marshall Quotient (kg/mm)
Suhu Pencampuran : ±160°C
Suhu Pemadatan : ±140°C
Suhu Water Bath : 60°C
B.J. Aspal : 1.040
B.J. Agregat : 2.587 (sludge/S)
2.650 (semen/C)

Tanda Tangan :

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Pekerjaan / Proyek : Tugas Akhir
Jenis Campuran : Hot Rolled Sheet B 2 x 75 tumbukan

Tanggal : 30 Oktober 2001
Diperiksa oleh : Sukamto
Di kerjakan oleh : Nurkhalis

PERHITUNGAN *MARSHALL TEST*

Sampel	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	MQ
1 – S	6.545	6.952	6.5	1188	1194	666	528	2.250	2.359	14.063	81.320	4.617	18.680	75.281	4.617	667	2286.276	2105.660	2.10	1002.695
2 – S	6.397	9.952	6.5	1176	1180	659	521	2.257	2.359	14.107	81.580	4.312	18.420	76.589	4.312	668	2289.704	2202.695	2.10	1048.902
3 – S	6.350	6.952	6.5	1176	1180	659	521	2.257	2.359	14.107	81.580	4.312	18.420	76.589	4.312	672	2303.414	2303.414	2.00	1151.707
RERATA	6.431	6.952	6.5	1180	1185	661	523	2.255	2.359	14.092	81.493	4.414	18.507	76.153	4.414	669	2293.131	2203.923	2.07	1067.768
1 – C	6.223	6.952	6.5	1183	1185	669	516	2.293	2.408	14.329	80.891	4.780	19.109	74.986	4.780	506	1734.416	1789.918	2.65	675.441
2 – C	6.243	6.952	6.5	1182	1186	669	517	2.286	2.408	14.289	80.666	5.044	19.334	73.908	5.044	617	2114.819	2171.993	2.30	944.345
3 – C	6.395	6.952	6.5	1181	1187	672	515	2.293	2.408	14.333	80.911	4.756	19.089	75.083	4.756	529	1813.253	1747.976	2.47	707.683
RERATA	6.287	6.952	6.5	1182	1186	670	516	2.291	2.408	14.317	80.823	4.860	19.177	74.659	4.860	551	1887.250	1903.296	2.47	775.823

t = tebal benda uji

a = % aspal terhadap batuan
b = % aspal terhadap campuran
c = berat kering/sblm direndam (gr)
d = berat dlm keadaan SSD (gr)

e = berat didalam air (gr)
f = Vol (isi) = d - e

g = berat isi sampel $= \frac{c}{f}$

h = B.J maksimum (teoritis)

$$\left\{100 : \left(\frac{\%\ \text{aggr}}{\text{B.J Aggr}} + \frac{\%\ \text{aspal}}{\text{B.J Aspal}}\right)\right\}$$

$$i = \frac{b \times g}{\text{B.J aspal}}$$

$$j = \frac{(100 - b)\, g}{\text{B.J agregat}}$$

k = (100-i-j) jumlah kandungan rongga
l = (100-j) rongga terhadap agregat

$$m = \left(100 \times \frac{i}{l}\right) \text{rongga yang terisi aspal (VFWA)}$$

$$n = \text{rongga yang terisi campuran } 100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$$

o = pembacaan arloji (stabilitas)
p = o x kalibrasi proving ring (kg)

q = p x koreksi tebal sample (STABILITAS)

r = FLOW (kelelehan plastis) (mm)
MQ = Marshall Quotient (kg/mm)
Suhu Pencampuran : ±160°C
Suhu Pemadatan : ±140°C
Suhu Water Bath : 60°C
B.J. Aspal : 1.040
B.J. Agregat : 2.587 (sludge/S)
2.650 (semen/C)

Tanda Tangan :

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Pekerjaan / Proyek : Tugas Akhir
Jenis Campuran : Hot Rolled Sheet B 2 x 75 tumbukan

Tanggal : 30 Oktober 2001
Diperiksa oleh : Sukamto
Di kerjakan oleh : Nurkhalis

PERHITUNGAN *MARSHALL TEST*

Sampel	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	MQ
1 – S	6.422	7.527	7.0	1179	1184	663	521	2.263	2.343	15.231	81.351	3.418	18.649	88.792	8.075	615	2108.036	2124.900	3.70	574.297
2 – S	6.412	7.527	7.0	1179	1184	662	522	2.259	2.343	15.202	81.195	3.603	18.805	85.884	2.685	635	2176.590	2137.411	3.00	712.470
3 – S	6.398	7.527	7.0	1179	1184	661	523	2.254	2.343	15.173	81.040	3.787	18.960	85.884	2.685	459	1573.314	1516.675	2.00	758.337
RERATA	6.411	7.527	7.0	1179	1184	662	522	2.259	2.343	15.202	81.195	3.602	18.805	86.853	2.481	670	1952.646	1926.329	2.90	681.702
1 – C	6.235	7.527	7.0	1188	1191	686	505	2.352	2.391	15.834	82.559	1.607	17.441	90.784	1.607	431	1477.339	1520.182	2.50	608.073
2 – C	6.157	7.527	7.0	1177	1180	680	500	2.354	2.391	15.844	82.612	1.544	17.388	91.122	1.544	567	1943.506	2040.681	2.47	826.187
3 – C	6.162	7.527	7.0	1178	1181	683	498	2.365	2.391	15.921	83.014	1.064	16.986	93.734	1.064	579	1984.638	2081.886	2.50	832.754
RERATA	6.185	7.527	7.0	1181	1184	683	501	2.357	2.391	15.867	82.728	1.405	17.272	91.880	1.405	526	1801.828	1880.916	2.49	755.671

t = tebal benda uji

a = % aspal terhadap batuan
b = % aspal terhadap campuran
c = berat kering/sblm direndam (gr)
d = berat dlm keadaan SSD (gr)

e = berat didalam air (gr)
f = Vol (isi) = d - e

g = berat isi sampel $= \frac{c}{f}$

h = B.J maksimum (teoritis)

$$\left\{100 : \left(\frac{\%\ \text{aggr}}{\text{B.J Aggr}} + \frac{\%\ \text{aspal}}{\text{B.J Aspal}} \right)\right\}$$

$$i = \frac{b \times g}{\text{B.J aspal}}$$

$$j = \frac{(100 - b)\, g}{\text{B.J agregat}}$$

k = (100-i-j) jumlah kandungan rongga
l = (100-j) rongga terhadap agregat

$m = \left(100 \times \frac{j}{l}\right)$ rongga yang terisi aspal (VFWA)

n = rongga yang terisi campuran $100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$

o = pembacaan arloji (stabilitas)
p = o x kalibrasi proving ring (kg)

q = p x koreksi tebal sample (STABILITAS)

r = FLOW (kelelehan plastis) (mm)
MQ = Marshall Quotient (kg/mm)
Suhu Pencampuran : ±160°C
Suhu Pemadatan : ±140°C
Suhu Water Bath : 60°C
B.J. Aspal : 1.040
B.J. Agregat : 2.587 (sludge/S)
2.650 (semen/C)

Tanda Tangan :

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Pekerjaan / Proyek : Tugas Akhir
Jenis Campuran : Hot Rolled Sheet B 2 x 75 tumbukan

Tanggal : 30 Oktober 2001
Diperiksa oleh : Sukamto
Di kerjakan oleh : Nurkhalis

PERHITUNGAN *MARSHALL TEST*

Sampel	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	MQ
1 – S	6.320	8.108	7.5	1176	1180	664	516	2.279	2.327	16.436	81.490	2.075	18.510	88.792	2.075	615	2108.036	2124.900	3.70	574.297
2 – S	6.372	8.108	7.5	1180	1187	666	521	2.265	2.327	16.333	80.982	2.685	19.018	85.884	2.685	635	2176.590	2137.411	3.00	712.470
3 – S	6.395	8.108	7.5	1180	1185	664	521	2.265	2.327	16.333	80.982	2.685	19.018	85.884	2.685	459	1573.314	1516.675	2.00	758.337
RERATA	6.362	8.108	7.5	1179	1184	665	519	2.270	2.327	16.367	81.151	2.481	18.849	86.853	2.481	570	1952.646	1926.329	2.90	681.702
1 – C	6.138	8.108	7.5	1170	1173	673	500	2.340	2.374	16.875	81.679	1.446	18.321	92.109	1.446	558	1912.657	2019.765	2.50	807.906
2 – C	6.158	8.108	7.5	1178	1183	681	502	2.347	2.374	16.923	81.910	1.167	18.090	93.548	1.167	527	1806.398	1896.718	2.50	758.687
3 – C	6.207	8.108	7.5	1176	1180	677	503	2.338	2.374	16.860	81.608	1.534	18.392	91.675	1.531	467	1600.736	1658.362	2.55	650.338
RERATA	6.168	8.108	7.5	1175	1179	677	502	2.342	2.374	16.886	81.733	1.381	18.267	92.444	1.381	517	1773.263	1858.282	2.52	738.977

t = tebal benda uji

a = % aspal terhadap batuan
b = % aspal terhadap campuran
c = berat kering/sblm direndam (gr)
d = berat dlm keadaan SSD (gr)

e = berat didalam air (gr)
f = Vol (isi) = d - e

g = berat isi sampel $= \frac{c}{f}$

h = B.J maksimum (teoritis)

$$\left\{100 : \left(\frac{\%\ \text{aggr}}{\text{B.J Aggr}} + \frac{\%\ \text{aspal}}{\text{B.J Aspal}} \right)\right\}$$

$$i = \frac{b \times g}{\text{B.J aspal}}$$

$$j = \frac{(100 - b)\, g}{\text{B.J agregat}}$$

k = (100-i-j) jumlah kandungan rongga
l = (100-j) rongga terhadap agregat

$m = \left(100 \times \frac{i}{l}\right)$ rongga yang terisi aspal (VFWA)

n = rongga yang terisi campuran $100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$

o = pembacaan arloji (stabilitas)
p = o x kalibrasi proving ring (kg)

q = p x koreksi tebal sample (STABILITAS)

r = FLOW (kelelehan plastis) (mm)
MQ = Marshall Quotient (kg/mm)
Suhu Pencampuran : ±160°C
Suhu Pemadatan : ±140°C
Suhu Water Bath : 60°C
B.J. Aspal : 1.040
B.J. Agregat : 2.587 (sludge/S)
2.650 (semen/C)

Tanda Tangan :

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Pekerjaan / Proyek : Tugas Akhir
Jenis Campuran : Hot Rolled Sheet B 2 x 75 tumbukan

Tanggal : 30 Oktober 2001
Diperiksa oleh : Sukamto
Di kerjakan oleh : Nurkhalis

PERHITUNGAN *MARSHALL TEST*

Sampel	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	MQ
1 – S	6.350	8.696	8.0	1185	1191	670	521	2.274	2.312	17.496	80.886	1.618	19.114	91.533	1.618	417	1429.351	1429.351	3.80	376.145
2 – S	6.318	8.696	8.0	1178	1181	665	516	2.283	2.312	17.561	81.187	1.252	18.813	93.346	1.252	453	1552.748	1565.170	3.10	504.894
3 – S	6.275	8.696	8.0	1174	1176	662	514	2.284	2.312	17.570	81.226	1.204	18.774	93.586	1.204	495	1696.712	1728.949	3.35	516.104
RERATA	6.314	8.696	8.0	1179	1183	666	517	2.280	2.312	17.542	81.100	1.358	18.900	92.822	1.358	455	1559.604	1574.490	3.42	465.714
1 – C	6.265	8.696	8.0	1180	1184	675	509	2.318	2.358	17.833	80.483	1.684	19.517	91.373	1.684	342	1172.273	1196.891	2.95	405.726
2 – C	6.215	8.696	8.0	1178	1180	676	504	2.337	2.358	17.979	81.144	0.877	18.856	95.351	0.877	473	1621.302	1676.426	3.00	558.809
3 – C	6.253	8.696	8.0	1176	1178	673	505	2.329	2.358	17.913	80.846	1.241	19.154	93.521	1.241	411	1408.785	1442.596	3.45	418.144
RERATA	6.244	8.696	8.0	1178	1181	675	506	2.328	2.358	17.908	80.824	1.267	19.176	93.415	1.267	409	1400.787	1438.638	3.13	460.893

t = tebal benda uji

a = % aspal terhadap batuan
b = % aspal terhadap campuran
c = berat kering/sblm direndam (gr)
d = berat dlm keadaan SSD (gr)

e = berat didalam air (gr)
f = Vol (isi) = d - e

g = berat isi sampel $= \frac{c}{f}$

h = B.J maksimum (teoritis)

$$\left\{100 : \left(\frac{\%\ \text{aggr}}{\text{B.J Aggr}} + \frac{\%\ \text{aspal}}{\text{B.J Aspal}} \right)\right\}$$

$$i = \frac{b \times g}{\text{B.J aspal}}$$

$$j = \frac{(100 - b)\, g}{\text{B.J agregat}}$$

k = (100-i-j) jumlah kandungan rongga
l = (100-j) rongga terhadap agregat

$m = \left(100 \times \frac{i}{l}\right)$ rongga yang terisi aspal (VFWA)

n = rongga yang terisi campuran $100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$

o = pembacaan arloji (stabilitas)
p = o x kalibrasi proving ring (kg)

q = p x koreksi tebal sample (STABILITAS)

r = FLOW (kelelehan plastis) (mm)
MQ = Marshall Quotient (kg/mm)
Suhu Pencampuran : ±160°C
Suhu Pemadatan : ±140°C
Suhu Water Bath : 60°C
B.J. Aspal : 1.040
B.J. Agregat : 2.587 (sludge/S)
2.650 (semen/C)

Tanda Tangan :

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Contoh dari : Clereng, Kulon Progo
Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
Jenis Agregat : CA, FA dan FF

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

No. Saringan		Berat Tertahan (gram)		Jumlah Persen (%)		Spesifikasi (%)	
mm	inch	Tertahan	Jumlah	Tertahan	Lolos	Min	Max
19,0	¾"	0	0	0	100	97	100
12,5	½"	169,72	167,72	15,0	85,0	70	100
9,50	3/8"	178,91	346,63	31,0	69,0	58	80
4,75	# 4	156,54	503,17	45,0	55,0	50	60
2,36	# 8	22,37	525,54	47,0	53,0	46	60
0,60	# 30	167,76	693,30	62,0	38,0	16	60
0,30	# 50	100,59	793,89	71,0	29,0	10	48
0,15	# 100	162,14	956,03	85,5	14,5	3	26
0,075	# 200	106,22	1062,25	95,0	5,0	2	8
	PAN	55,91	1118,16	100	0		

Keterangan : Kadar aspal optimum *Sludge* (6,82 %)
Tanggal : 1 November 2001
Diperiksa oleh : Nurkhalis

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Contoh dari : Clereng, Kulon Progo
Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir
Jenis Agregat : CA, FA dan FF

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

No. Saringan		Berat Tertahan (gram)		Jumlah Persen (%)		Spesifikasi (%)	
mm	inch	Tertahan	Jumlah	Tertahan	Lolos	Min	Max
19,0	¾"	0	0	0	100	97	100
12,5	½"	168,08	168,08	15,0	85,0	70	100
9,50	3/8"	179,29	347,37	31,0	69,0	58	80
4,75	# 4	156,88	504,25	45,0	55,0	50	60
2,36	# 8	22,41	526,66	47,0	53,0	46	60
0,60	# 30	168,09	694,75	62,0	38,0	16	60
0,30	# 50	100,85	795,60	71,0	29,0	10	48
0,15	# 100	162,48	958,08	85,5	14,5	3	26
0,075	# 200	106,45	1064,53	95,0	5,0	2	8
	PAN	56,03	1120,56	100	0		

Keterangan : Kadar aspal optimum Semen Portland (6,62 %)
Tanggal : 1 November 2001
Diperiksa oleh : Nurkhalis

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Pekerjaan / Proyek : Tugas Akhir
Jenis Campuran : Hot Rolled Sheet B 2 x 75 tumbukan

Tanggal : 7 November 2001
Diperiksa oleh : Sukamto
Di kerjakan oleh : Nurkhalis

PERHITUNGAN *MARSHALL TEST*

Sampel	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	MQ
1 – C	6.113	7.09	6.62	1185	1188	691	497	2.384	2.404	15.177	84.018	0.805	15.982	94.960	0.805	496	1700.139	1808.948	2.35	769.765
2 – C	6.062	7.09	6.62	1176	1180	686	494	2.381	2.404	15.153	83.886	0.961	16.114	94.036	0.961	571	1957.217	2113.794	4.40	480.408
3 – C	6.087	7.09	6.62	1174	1179	684	495	2.372	2.404	15.097	83.574	1.329	16.426	91.908	1.329	687	2354.830	2524.378	1.80	1402.432
RERATA	6.087	7.09	6.62	1178	1182	687	495	2.379	2.404	15.142	83.826	1.032	16.174	93.635	1.032	585	2004.062	2149.040	2.85	884.202
1 – S	6.330	7.32	6.82	1172	1181	668	513	2.285	2.349	14.982	82.288	2.730	17.712	84.585	2.730	610	2090.897	2101.351	2.80	750.483
2 – S	6.362	7.32	6.82	1172	1181	668	513	2.285	2.349	14.982	82.288	2.730	17.712	84.585	2.730	550	1885.235	1866.383	0.80	2332.978
3 – S	6.383	7.32	6.82	1165	1175	657	518	2.249	2.349	14.748	81.007	4.245	18.993	77.652	4.245	558	1912.657	1862.928	2.90	642.389
RERATA	6.358	7.32	6.82	1170	1179	664	515	2.273	2.349	14.904	81.861	3.235	18.139	82.274	3.235	573	1962.930	1943.554	2.17	1241.950

t = tebal benda uji

a = % aspal terhadap batuan
b = % aspal terhadap campuran
c = berat kering/sblm direndam (gr)
d = berat dlm keadaan SSD (gr)

e = berat didalam air (gr)
f = Vol (isi) = d - e

g = berat isi sampel $= \frac{c}{f}$

h = B.J maksimum (teoritis)

$$\left\{100 : \left(\frac{\%\ \text{aggr}}{\text{B.J Aggr}} + \frac{\%\ \text{aspal}}{\text{B.J Aspal}}\right)\right\}$$

$$i = \frac{b \times g}{\text{B.J aspal}}$$

$$j = \frac{(100 - b)\, g}{\text{B.J agregat}}$$

k = (100-i-j) jumlah kandungan rongga
l = (100-j) rongga terhadap agregat

$m = \left(100 \times \frac{i}{l}\right)$ rongga yang terisi aspal (VFWA)

n = rongga yang terisi campuran $100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$

o = pembacaan arloji (stabilitas)
p = o x kalibrasi proving ring (kg)

q = p x koreksi tebal sample (STABILITAS)

r = FLOW (kelelehan plastis) (mm)
MQ = Marshall Quotient (kg/mm)
Suhu Pencampuran : ±160°C
Suhu Pemadatan : ±140°C
Suhu Water Bath : 60°C
B.J. Aspal : 1.040
B.J. Agregat : 2.587 (sludge/S)
2.650 (semen/C)

Tanda Tangan :

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

Pekerjaan / Proyek : Tugas Akhir
Jenis Campuran : Hot Rolled Sheet B 2 x 75 tumbukan

Tanggal : 8 November 2001
Diperiksa oleh : Sukamto
Di kerjakan oleh : Nurkhalis

PERHITUNGAN *IMERSION TEST*

Sampel	t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	MQ
1 – C	6.143	7.09	6.62	1182	1184	684	500	2.364	2.404	15.048	83.302	1.650	16.698	90.117	1.650	613	2101.180	2216.745	2.50	886.698
2 – C	6.112	7.09	6.62	1179	1181	686	495	2.382	2.404	15.161	83.930	0.909	16.070	94.344	0.909	448	1535.610	1633.889	2.60	628.419
3 – C	6.125	7.09	6.62	1177	1179	686	493	2.387	2.404	15.197	84.127	0.676	15.873	95.743	0.676	616	2111.463	2238.151	3.70	604.906
RERATA	6.127	7.09	6.62	1179	1181	685	496	2.378	2.404	15.135	83.786	1.078	16.214	93.401	1.078	559	1916.084	2029.595	2.93	706.674
1 – S	6.302	7.32	6.82	1165	1176	661	515	2.262	2.349	14.834	81.479	3.687	18.521	80.094	3.687	589	2018.915	2043.142	2.65	770.997
2 – S	6.288	7.32	6.82	1166	1176	667	509	2.291	2.349	15.022	82.510	2.468	17.490	85.890	2.468	521	1785.832	1814.405	3.70	490.380
3 – S	6.307	7.32	6.82	1172	1182	669	513	2.285	2.349	14.982	82.288	2.730	17.712	84.585	2.730	613	2101.180	2124.293	2.45	867.058
RERATA	6.299	7.32	6.82	1168	1178	666	512	2.279	2.349	14.946	82.092	2.962	17.908	83.523	2.962	574	1968.642	1993.947	2.93	709.478

t = tebal benda uji

a = % aspal terhadap batuan
b = % aspal terhadap campuran
c = berat kering/sblm direndam (gr)
d = berat dlm keadaan SSD (gr)

e = berat didalam air (gr)
f = Vol (isi) = d - e

g = berat isi sampel $= \frac{c}{f}$

h = B.J maksimum (teoritis)

$$\left\{100 : \left(\frac{\%\ aggr}{B.J\ Aggr} + \frac{\%\ aspal}{B.J\ Aspal} \right)\right\}$$

$$i = \frac{b \times g}{B.J\ aspal}$$

$$j = \frac{(100 - b)\, g}{B.J\ agregat}$$

k = (100-i-j) jumlah kandungan rongga
l = (100-j) rongga terhadap agregat

$m = \left(100 \times \frac{i}{l}\right)$ rongga yang terisi aspal (VFWA)

n = rongga yang terisi campuran $100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right)$

o = pembacaan arloji (stabilitas)
p = o x kalibrasi proving ring (kg)

q = p x koreksi tebal sample (STABILITAS)

r = FLOW (kelelehan plastis) (mm)
MQ = Marshall Quotient (kg/mm)
Suhu Pencampuran : ±160°C
Suhu Pemadatan : ±140°C
Suhu Water Bath : 60°C
B.J. Aspal : 1.040
B.J. Agregat : 2.587 (sludge/S)
2.650 (semen/C)

Tanda Tangan :

Ir. Iskandar S, MT

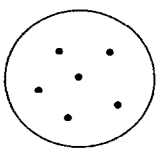
LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL - *SLUDGE*

Contoh dari : Lab Jalan Raya FTSP UII & PT Jogjatex
Jenis contoh : AC 60-70 72 gram – Sludge 56,4 gram
Diuji tanggal : 8 November 2001 Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Untuk proyek : Tugas Akhir Diperiksa oleh : Sukamto

Pemanasan Sampel	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
Mulai pemanasan	30 °C	9.00 WIB
Selesai Pemanasan	140 °C	9.20 WIB
Didiamkan pada suhu 25 °C		
Mulai	140 °C	9.20 WIB
Selesai	25 °C	11.20 WIB
Direndam air dengan suhu 25 °C		
Mulai	25 °C	11.20 WIB
Selesai	25 °C	12.30 WIB
Diperiksa		
Mulai	25 °C	12.30 WIB
Selesai	25 °C	12.35 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Cawan I (0.1 mm)	Cawan II	Sket Hasil Pemeriksaan
1	30		
2	30		
3	28		
4	28		
5	31		
Rerata	29		

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

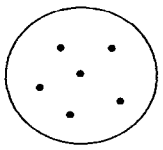
LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL - *SLUDGE*

Contoh dari : Lab Jalan Raya FTSP UII & PT Jogjatex
Jenis contoh : AC 60-70 78 gram – Sludge 56,1 gram
Diuji tanggal : 8 November 2001 Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Untuk proyek : Tugas Akhir Diperiksa oleh : Sukamto

Pemanasan Sampel	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
Mulai pemanasan	30 °C	9.00 WIB
Selesai Pemanasan	140 °C	9.25 WIB
Didiamkan pada suhu 25 °C		
Mulai	140 °C	9.25 WIB
Selesai	25 °C	11.25 WIB
Direndam air dengan suhu 25 °C		
Mulai	25 °C	11.25 WIB
Selesai	25 °C	12.35 WIB
Diperiksa		
Mulai	25 °C	12.35 WIB
Selesai	25 °C	12.45 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Cawan I (0.1 mm)	Cawan II	Sket Hasil Pemeriksaan
1	30		
2	35		
3	30		
4	25		
5	25		
Rerata	31		

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

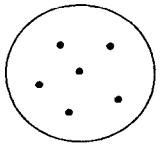
LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL - *SLUDGE*

Contoh dari : Lab Jalan Raya FTSP UII & PT Jogjatex
Jenis contoh : AC 60-70 84 gram – Sludge 55,8 gram
Diuji tanggal : 8 November 2001 Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Untuk proyek : Tugas Akhir Diperiksa oleh : Sukamto

Pemanasan Sampel	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
Mulai pemanasan	30 °C	9.00 WIB
Selesai Pemanasan	140 °C	9.30 WIB
Didiamkan pada suhu 25 °C		
Mulai	140 °C	9.30 WIB
Selesai	25 °C	11.30 WIB
Direndam air dengan suhu 25 °C		
Mulai	25 °C	11.30 WIB
Selesai	25 °C	12.45 WIB
Diperiksa		
Mulai	25 °C	12.45 WIB
Selesai	25 °C	12.50 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Cawan I (0.1 mm)	Cawan II	Sket Hasil Pemeriksaan
1	35		
2	30		
3	35		
4	30		
5	36		
Rerata	33		

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL - *SLUDGE*

Contoh dari : Lab Jalan Raya FTSP UII & PT Jogjatex

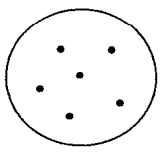
Jenis contoh : AC 60-70 90 gram – Sludge 55,5 gram

Diuji tanggal : 8 November 2001 Dikerjakan oleh : Nurkhalis

Untuk proyek : Tugas Akhir Diperiksa oleh : Sukamto

Pemanasan Sampel	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
Mulai pemanasan	30 °C	9.00 WIB
Selesai Pemanasan	140 °C	9.35 WIB
Didiamkan pada suhu 25 °C		
Mulai	140 °C	9.35 WIB
Selesai	25 °C	11.35 WIB
Direndam air dengan suhu 25 °C		
Mulai	25 °C	11.35 WIB
Selesai	25 °C	12.50 WIB
Diperiksa		
Mulai	25 °C	12.50 WIB
Selesai	25 °C	12.55 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Cawan I (0.1 mm)	Cawan II	Sket Hasil Pemeriksaan
1	46		
2	42		
3	40		
4	42		
5	42		
Rerata	42		

Yogyakarta, 18 November 2001

Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT

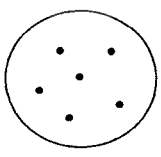
LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 895042 Yogyakarta 55584

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL - *SLUDGE*

Contoh dari : Lab Jalan Raya FTSP UII & PT Jogjatex
Jenis contoh : AC 60-70 96 gram – Sludge 55,2 gram
Diuji tanggal : 8 November 2001 Dikerjakan oleh : Nurkhalis
Untuk proyek : Tugas Akhir Diperiksa oleh : Sukamto

Pemanasan Sampel	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
Mulai pemanasan	30 °C	9.00 WIB
Selesai Pemanasan	140 °C	9.40 WIB
Didiamkan pada suhu 25 °C		
Mulai	140 °C	9.40 WIB
Selesai	25 °C	11.40 WIB
Direndam air dengan suhu 25 °C		
Mulai	25 °C	11.40 WIB
Selesai	25 °C	12.55 WIB
Diperiksa		
Mulai	25 °C	12.55 WIB
Selesai	25 °C	13.00 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Cawan I (0.1 mm)	Cawan II	Sket Hasil Pemeriksaan
1	46		
2	48		
3	51		
4	49		
5	50		
Rerata	49		

Yogyakarta, 18 November 2001
Ka. Op. Lab. Jalan Raya

Ir. Iskandar S, MT