TUGAS AKHIR

# PENELITIAN LABORATORIUM PENGGUNAAN LIMBAH BAJA (SLAG) SEBAGAI AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN SPLIT MASTIC ASPHALT 0/11 DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT SELULOSA

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
Sebagai persyaratan memperoleh derajat
Sarjana Teknik Sipil


Disusun oleh :

MARSUDI AGUS SETYAWAN
**No. Mhs. 89 310 076**

MAMAN SETIAWAN
**No. Mhs. 89 310 112**



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

**1997**

**LEMBAR PENGESAHAN**

TUGAS AKHIR

# PENELITIAN LABORATORIUM PENGGUNAAN LIMBAH BAJA (SLAG) SEBAGAI AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN SPLIT MASTIC ASPHALT 0/11 DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT SELULOSA

Disusun oleh :


MARSUDI AGUS SETYAWAN
**No. Mhs. 89 310 076**

MAMAN SETIAWAN
**No. Mhs. 89 310 112**


Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Ir. H. Wardhani Sartono, MSc**
Dosen Pembimbing I

Tanggal : 10 - 07 - 97

**Ir. Subarkah, MT**
Dosen Pembimbing II

Tanggal : 09 - 07 - 97

# KATA PENGANTAR

Asslamu'alaikum warohmatullahi wabarohkatuh,

Alhamdulillah, pada akhirnya penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Penelitian Laboratorium Perbandingan Penggunaan Limbah Baja sebagai Agregat Kasar pada Campuran Split Mastic Asphalt 0/11 dengan Bahan Tambah Serat Selulosa (SMA + S).

Tugas Akhir ini merupakan syarat bagi para mahasiswa tingkat akhir untuk menempuh ujian Sarjana (S-1) pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penyusun mengucapkan terima kasih atas dukungan yang telah diterima, sehingga menimbulkan dorongan dan kekuatan selama menyelesaikan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih khususnya antara lain kepada Bapak Ir. H. Wardhani Sartono, MSc, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir ini. Bapak Ir. Subarkah, MT, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir ini. Bapak Ir. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Bapak Ir. Bambang Sulistiyono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Bapak Syamsudin dan bapak M. Sukamto, selaku Staf Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Bapak Ibu tercinta, kakak, adik dan rekan-rekan yang telah bersama-

sama saling berdiskusi selama penelitian ini berlangsung. Semoga amal kita semua dapat diterima Allah Swt. Amin.

Penelitian masih harus dikembangkan di kemudian hari. Semoga Tugas Akhir ini dapat memperluas wawasan keilmuan Penyusun maupun bagi rekan-rekan pembaca.

Billahittaufiq wal hidayah,
Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarahkatuh.

Yogyakarta, Juli 1997

**Penyusun**

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI ____ iii

DAFTAR TABEL ____ vii

DAFTAR GAMBAR ____ viii

DAFTAR LAMPIRAN ____ ix

INTI SARI ____ xi

BAB I PENDAHULUAN ____ 1

1.1 Latar Belakang ____ 1

1.2 Manfaat Penelitian ____ 2

1.3 Tujuan Penelitian ____ 2

1.4 Batasan Masalah ____ 2

BAB II TINJAUAN PUSTAKA ____ 4

2.1 Aspal ____ 4

2.2 Agregat ____ 6

2.3 *Filler* ____ 9

2.4 *Split Mastic Asphalt* ____ 12

2.5 Bahan Tambah ____ 13

2.6 Modulus Kekakuan ____ 18

2.6.1 Kekakuan Bitumen (*Bitument Stiffness*) ____ 18

2.6.2 Kekakuan Campuran (*Mix Stiffness*) ____ 21

BAB III LANDASAN TEORI ____ 26

3.1 Konstruksi Perkerasan ____ 26

3.2 Karakteristik Campuran *Split Mastic Asphalt* dengan Bahan Tambah Serat Selulosa (SMA+S) ____ 28

3.2.1 Stabilitas ____ 29

3.2.2 Keawetan/Daya Tahan (Durabilitas) ____ 30

3.2.3 Kelenturan (Fleksibilitas) ____ 31

3.2.4 Tahanan Geser/Kekesatan (Skid Resistance) ____ 31

3.2.5 Kemudahan Pelaksanaan (Workability) ____ 32

3.3 Bahan Penyusun Perkerasan *Split Mastic Asphal* dengan Bahan Tambah Serat Selulosa (SMA+S) ____ 32

3.3.1 Aspal Keras/Aspal Semen (AC) ____ 33

3.3.2 Agregat ____ 38

3.3.3 *Filler* ____ 41

3.3.4 Bahan Tambah (*Additive*) ____ 42

BAB IV HIPOTESIS ____ 44

BAB V CARA PENELITIAN ____ 45

5.1 Bahan ____ 45

5.1.1 Asal Bahan ____ 45

5.1.2 Persyaratan dan Pemeriksaan Bahan ____ 46

5.2 Perencanaan Campuran ____ 49

5.2.1 Gradasi Agregat Campuran *Split Mastic Asphalt* ____ 49

5.2.2 Kadar Serat Selulosa Optimum ____ 50

5.2.3 Kadar Aspal Optimum ____ 50

5.3 Pelaksanaan Pengujian ____ 52

5.3.1 Pembuatan Benda Uji ____ 52

5.3.2 Peralatan Pengujian ____ 54

5.3.3 Persiapan Pengujian ____ 55

5.3.4 Cara Pengujian ____ 55

5.3.5 Anggapan Dasar ____ 56

BAB VI HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN ____ 59

6.1 Hasil Penelitian Laboratorium ____ 59

6.1.1 Hasil Pemeriksaan Bahan ____ 59

6.1.2 Hasil Pengujian Benda Uji ____ 60

6.1.3 Modulus Kekakuan ____ 61

6.1.3.1 Modulus Kekakuan Bitumen ____ 61

6.1.3.2 Modulus Kekakuan Campuran ____ 63

6.2 Pembahasan ____ 67

6.2.1 Tinjauan Terhadap Kepadatan (*Density*) ____ 67

6.2.2 Tinjauan Terhadap VITM ..... 68

6.2.3 Tinjauan Terhadap VFWA ..... 69

6.2.4 Tinjauan Terhadap Kelelehan (*Flow*) ..... 71

6.2.5 Tinjauan Terhadap Stabilitas ..... 72

6.2.6 Tinjauan Terhadap *Marshall Quotient* ..... 74

6.2.7 Tinjauan Terhadap Modulus Kekakuan ..... 75

6.2.8 Penentuan Kadar Aspal Optimum ..... 77

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN ..... 79

7.1 Kesimpulan ..... 79

7.2 Saran-saran ..... 81

DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR TABEL


| | | |
|---|---|---|
| Tabel 2.1 | Sifat-sifat *Spilt Mastic Asphalt* | 13 |
| Tabel 3.1 | Hasil Pemeriksaan Aspal AC 60-70 | 38 |
| Tabel 3.2 | Gradasi *Split Mastic Asphalt* dengan Bahan Tambah Serat Selulosa Bina Marga | 40 |
| Tabel 3.3 | Sifat-sifat Serat Selulosa | 43 |
| Tabel 5.1 | Gradasi *Split Mastic Asphalt* dengan Bahan Tambah Serat Selulosa Menurut Bina Marga | 49 |
| Tabel 5.2 | Spesifikasi Bina Marga untuk Uji Marshall SMA + S | 51 |
| Tabel 6.1 | Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar | 59 |
| Tabel 6.2 | Hasil Pemeriksaan Agregat Halus | 59 |
| Tabel 6.3 | Hasil Pemeriksaan Aspal AC 60-70 | 60 |
| Tabel 6.4 | Hasil Uji Marshall pada Campuran SMA + S dengan Agregat Kasar menggunakan Limbah Baja | 60 |
| Tabel 6.5 | Nilai Modulus Kekakuan untuk Masing-masing Kadar Aspal | 76 |
| Tabel 6.6 | Hasil Uji Marshall pada Campuran SMA + S dengan Agregat Kasar menggunakan Limbah Baja pada Kadar Aspal Optimum 5,9 % | 78 |

## DAFTAR GAMBAR


| | | |
|---|---|---|
| Gambar 2.1 | Nomogram untuk Menetapkan Kekakuan Bitumen | 19 |
| Gambar 2.2 | Nomogram Penentuan Kekakuan Campuran | 25 |
| Gambar 5.1 | Bagan Alir Penelitian Laboratorium | 57 |
| Gambar 6.1 | Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Density* | 67 |
| Gambar 6.2 | Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VITM | 68 |
| Gambar 6.3 | Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VFWA | 70 |
| Gambar 6.4 | Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Flow* | 71 |
| Gambar 6.5 | Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas | 73 |
| Gambar 6.6 | Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient* | 74 |
| Gambar 6.7 | Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Modulus Kekakuan Campuran | 76 |
| Gambar 6.8 | Kadar Aspal Optimum | 77 |

## DAFTAR LAMPIRAN


| | |
|---|---|
| Lampiran 1 | Pemeriksaan Keausan Agregat (Abrasi Test)<br>AASTHO T 96 - 77 |
| Lampiran 2 | Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus<br>AASTHO T 84 – 74 ; ASTM C – 128 - 68 |
| Lampiran 3 | Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar<br>AASTHO T 85 – 81 ; ASTM C – 127 – 77 |
| Lampiran 4 | Sand Equivalent Data<br>AASTHO T 176 - 73 |
| Lampiran 5 | Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal<br>AASTHO T - 128 |
| Lampiran 6 | Pemeriksaan Berat Jenis Aspal<br>AASTHO T 228 – 68 ; ASTM D – 70 – 72 |
| Lampiran 7 | Pemeriksaan Penetrasi Aspal<br>AASTHO T 49 – 68 ; ASTM D - 5 - 71 |
| Lampiran 8 | Pemeriksan Titik Nyala dan Titik Lembek<br>AASTHO T 48 – 74 ; ASTM D - 92 - 52 |
| Lampiran 9 | Pemeriksaan Titik Lembek Aspal<br>AASTHO 53 – 74 ; ASTM D 36 –70 |
| Lampiran 10 | Pemeriksaan Daktilitas (Ductility)/ Residue<br>AASTHO T 51 – 74 ; ASTM D 113 – 69 |
| Lampiran 11 | Pemeriksaan Kelarutan Dalam CCL4 ( Solubility)<br>AASTHO T 44 – 70 ; ASTM D 165 – 42 |
| Lampiran 12 | Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 5,3 %) |
| Lampiran 13 | Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 5,6 %) |
| Lampiran 14 | Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 5,9 %) |
| Lampiran 15 | Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 6,2 %) |
| Lampiran 16 | Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus (Kadar Aspal 6,5 %) |
| Lampiran 17 | Hasil Pemeriksaan Uji Marshall |
| Lampiran 18 | Hasil Pemeriksaan Uji Marshall (Kadar Aspal Optimum) |
| Lampiran 19 | Grafik Kadar Aspal Design |

Lampiran 20 Surat Bimbingan Tugas Akhir

Lampiran 21 Kartu Peserta Tugas Akhir

# INTISARI

Bagian lapis keras yang mendapat perhatian khusus adalah lapis permukaaan, karena lapisan ini akan memberikan keamanan dan kenyamanan selama penggunaan jalan. *Split Mastic Asphalt* (SMA) adalah salah satu jenis lapis keras yang sedang dikembangkan di Indonesia.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Tujuan penelitian ini memanfaatkan penggunaan agregat sintetis yaitu limbah baja (*slag*) untuk agregat kasar pada campuran *Split Mastic Asphalt* ditambah serat selulosa (SMA + S). Penelitian dilakukan terhadap nilai kerapatan (*density*), VITM, VFWA, kelelehan (*flow*), stabilitas dan *Marshall Quotient*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa agregat kasar (limbah baja) berasal dari PT. Krakatau Steel (Cilegon, Jawa Barat), agregat halus dan *filler* (abu batu) merupakan hasil hasil *stone crusher* PT. Perwita Karya (Yogyakarta), aspal digunakan jenis AC 60-70 dan bahan tambah serat selulosa CF-31500 dari PT. Saranaraya Reka Cipta (Jakarta). Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 5,3 %, 5,6 %, 5,9 %, 6,2 % dan 6,5 % dengan kadar aspal optimum yang dicapai adalah 5,9 %, sedang prosentase bahan tambah serat selulosa sebesar 0,3 %.

Dari hasil penelitian yang diperoleh, dapat diketahui bahwa campuran *Split Mastic Asphalt* ditambah serat selulosa (SMA + S) menggunakan limbah baja untuk agregat kasarnya ternyata memenuhi persyaratan yang ditetapkan Bina Marga. Dengan demikian limbah baja dapat dijadikan sebagai alternatif penggunaan agregat pada Campuran *Split Mastic Asphalt* ditambah serat selulosa (SMA + S) ini.

# BAB I

# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pelaksanaan pembangunan jalan raya sekarang ini dihadapkan pada tantangan peningkatan kualitas, baik terhadap jalan yang akan dibangun maupun pada pemeliharaannya. Peningkatan kebutuhan jalan yang terus meningkat dihadapkan pula pada masalah pendanaan yang terbatas. Menghadapi kendala tersebut, maka harus dipilih suatu cara yang paling efisien dan ekonomis untuk memperoleh hasil yang optimal.

Salah satu teknologi yang terus dikembangkan pada saat ini (untuk mengatasi permasalahan di atas) adalah teknologi S*plit Mastic Asphalt* (SMA). *Split Mastic Asphalt* adalah campuran panas dengan bahan tambah serat selulosa, menghasilkan mutu campuran panas yang lebih tahan terhadap oksidasi, retak, lendutan dan gelombang akibat muatan lebih dan keausan oleh roda kendaraan.

Berdasarkan hasil berbagai percobaan dan penerapannya, ternyata *split mastic asphalt* (SMA) dapat mengatasi kelemahan pada laston (aspal beton) atau lataston (HRS) yang umum digunakan di Indonesia.

*Split mastic asphalt* (SMA), seperti konstruksi beton lainnya, dipengaruhi pula oleh kualitas bahan penyusunnya. Bahan penyusun tersebut berupa agregat dan aspal.

Penelitian ini menitikberatkan pada penggunaan agregat sintetis sebagai agregat kasar pada campuran *split mastic asphalt* ditambah serat selulosa. Agregat sintetis yang digunakan berupa limbah baja (*slag*) atau merupakan kerak tanur tinggi.

## 1.2 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah didapatkan alternatif agregat kasar yang dapat digunakan pada campuran *split mastic asphalt* ditambah serat selulosa (SMA + S).

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui suatu limbah baja dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar dalam suatu campuran SMA + S terhadap spesifikasi yang disyaratkan untuk campuran tersebut.

## 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan permasalahan pada penelitian laboratorium ini adalah sebagai berikut ini.

1. Agregat kasar yang digunakan adalah limbah baja dari PT. Krakatau Steel, Cilegon, Jawa Barat.
2. Agregat halus dan abu batu (*filler*) yang digunakan adalah hasil *stone crusher* dari PT. Perwita Karya, Yogyakarta.

3. Gradasi yang digunakan adalah gradasi ideal batas tengah, dengan proporsi material adalah sebagai berikut ini. Agregat 8/13 mm = 37,5 %, agregat 5/8 mm = 22,5 %, agregat 2/5 mm = 15,0 %, agregat 0/2 mm = 17,0 % dan *filler* (abu batu) = 8,0 %. Jumlah *filler* yang didapat dari agregat 0/2 mm dan abu batu adalah 10,5 %.
4. Variasi kadar aspal AC 60-70 yang digunakan adalah 5,3 %, 5,6 %, 5,9 %, 6,2 % dan 6,5 %.
5. Kadar serat selulosa CF-31500 adalah 0,3 %.
6. Spesifikasi teknis SMA + S digunakan dari Bina Marga (*Heavy Loaded Road Improvement Project*).
7. Perhitungan agregat pada analisa saringan agregat menggunakan prosentase terhadap berat total campuran (1300 gr).

# BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

## 2. 1 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai bahan berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat.

Hidrokarbon adalah bahan dasar utama aspal yang umum disebut bitumen, sehingga aspal sering disebut bitumen. Aspal yang umum digunakan terutama berasal dari hasil proses destilasi minyak bumi. Aspal alam (aspal Buton) banyak pula digunakan. (Silvia Sukirman, 1992)[ 11 ].

Beton secara umum adalah agregat/batuan yang dicampur dengan suatu bahan pengikat, oleh karena proses kimia campuran tersebut mengeras dan membentuk kesatuan massa padat.

Beton secara khusus adalah agregat yang dicampur dengan bahan pengikat semen atau *Portland Cement* (PC). Beton aspal adalah campuran aspal semen dengan batuan atau mineral yang diolah pencampurannya pada keadaan panas. Aspal minyak yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan merupakan residu dari proses destilasi minyak bumi, yang sering disebut aspal semen. Aspal semen

bersifat mengikat agregat pada campuran beton aspal, memberikan lapisan kedap air serta tahan terhadap pengaruh asam, basa dan garam.

Aspal yang digunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan pengikat dan bahan pengisi.

1. Bahan Pengikat

   Aspal memberikan ikatan yang kuat terhadap agregat dan terhadap aspal itu sendiri.

2. Bahan Pengisi

   Aspal berfungsi mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori pada agregat tersebut.

Aspal yang digunakan pada konstruksi perkerasan jalan bersifat sebagai berikut ini.

1. Daya tahan (*Durability*).

   Daya tahan adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat aslinya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat campuran aspal, jadi tergantung pada sifat agregat, campuran dengan aspal dan faktor pelaksanaan.

2. Adhesi dan Kohesi.

   Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat, sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

3. Kepekaan terhadap temperatur.

Aspal adalah bahan yang termoplastis, maka jika dipanaskan pada temperatur tertentu dapat menjadi lunak/cair. Aspal cair ini dapat membungkus partikel agregat pada pembuatan beton aspal atau dapat masuk ke pori-pori agregat pada penyemprotan/penyiraman lapis perkerasan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat aspal pada tempatnya.

4. Kekerasan Aspal.

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat. Agregat dapat dilapisi aspal dengan penyemprotan/penyiraman aspal panas ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses pelaburan. Terjadi proses oksidasi selama proses pelaksanaan, menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi). Peristiwa perapuhan terus berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai. Selama masa pelayanan, aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi pula oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi. (Silvia Sukirman, 1992)[ 11 ].

## 2. 2 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, pasir atau mineral lainnya yang diperoleh dari alam maupun dari hasil pengolahan. Agregat merupakan komponen utama lapisan perkerasan jalan, yaitu mengandung 90% - 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% - 85% agregat berdasarkan

persentase volume. Berdasarkan hal tersebut maka daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga oleh sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. (Silvia Sukirman, 1992)[ 11 ].

Berdasarkan proses pengolahan, agregat yang digunakan pada perkerasan lentur dibedakan menjadi agregat alam, agregat proses pengolahan dan agregat buatan.

1. Agregat Alam

Agregat alam adalah agregat yang digunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit pengolahan. Agregat alam dibentuk melalui proses erosi dan degradasi. Dua bentuk agregat alam yang sering digunakan adalah kerikil dan pasir. Kerikil adalah agregat dengan ukuran partikel > 1/4 inci (6,35 mm). Pasir adalah agregat dengan ukuran partikel < 1/4 inci tetapi lebih besar dari 0,075 mm (saringan No. 200).

2. Agregat Proses Pengolahan

Agregat jenis ini diperoleh melalui proses pemecahan. Agregat alam dengan ukuran besar dipecah dengan alat pemecah batu (*stone crusher*) untuk mendapatkan ukuran yang sesuai sebelum digunakan pada konstruksi perkerasan jalan. Adapun ciri-ciri agregat hasil pemecahan *stone crusher* adalah sebagai berikut ini.

a) Bentuk partikel bersudut.

b) Permukaan partikel kasar, sehingga mempunyai gesekan yang baik.

c) Gradasi dapat sesuai dengan yang direncanakan.

Agregat hasil proses pengolahan ini sangat dipengaruhi oleh bahan asalnya. Jika bahan tersebut mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi maka hasil pemecahan batuan tersebut juga mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi.

3. Agregat Buatan (Sintesis)

Agregat buatan adalah agregat yang diperoleh dari hasil olahan atau hasil sampingan pabrik semen, pabrik baja, atau mesin pemecah batu (*stone crusher*). Agregat ini merupakan mineral *filler*, yaitu partikel dengan ukuran < 0.075 mm. (Silvia Sukirman, 1992)[ 11 ].

Agregat yang akan digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain porositas, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal dan kebersihan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dikelompokkan sebagai berikut ini.

1. Kekuatan dan keawetan (*strenght and durability*) lapisan perkerasan, yang dipengaruhi oleh:
   a). gradasi,
   b). ukuran maksimum partikel agregat,
   c). kadar lempung,
   d). kekerasan dan ketahanan,
   e). bentuk butiran, dan
   f). tekstur permukaan.

2. Kemampuan dilapisi aspal, yang dipengaruhi oleh:

   a) porositas,

   b) kemungkinan basah, dan

   c) jenis agregat.

3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh:

   a) tahanan geser, dan

   b) campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan.

**2. 3 *Filler***

*Filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan No. 200 (0.075 mm) bisa berupa: debu batu, abu kapur, debu dolomit atau semen. *Filler* harus dalam keadaan kering (kadar air maksimum 1%). *Filler* merupakan bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai butir pengisi pada pembuatan campuran beton aspal. Penggunaan *filler* dalam campuran beton aspal akan berpengaruh pada karakteristik beton aspal. Pengaruh penggunaan *filler* pada campuran beton aspal adalah sebagai berikut ini.

1. Pengaruh penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran aspal *filler* yaitu :

   a) pengaruh terhadap viskositas campuran. Pengaruh tiap jenis *filler* terhadap viskositas campuran adalah berbeda-beda. Luas permukaan *filler* yang semakin besar akan menaikkan viskositas campuran. Adanya daya affinitas (tarik menarik) menyebabkan jumlah aspal yang diserap *filler* bervariasi,

naiknya viskositas campuran, menyebabkan jumlah aspal yang diserap semakin besar,

b) pengaruh terhadap daktilitas dan penetrasi campuran. Semakin tinggi kadar *filler* akan menurunkan daktilitas, yang juga terjadi pada berbagai suhu. Naiknya viskositas aspal akibat penggunaan *filler* akan menurunkan penetrasi aspal, dan

c) pengaruh terhadap suhu dan pemanasan. Penggunaan jenis dan kadar *filler* akan memberikan pengaruh yang berbeda pada berbagai campuran.

2. Pengaruh penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran beton aspal.

Kadar *filler* dalam campuran akan berpengaruh pada proses pencampuran, penggelaran dan pemadatan. Kadar dan jenis *filler* juga akan berpengaruh pada sifat elastik dan sensitifitas campuran tehadap air.

Hasil penggunaan *filler* terhadap campuran beton aspal adalah sebagai berikut ini.

1. *Filler* diperlukan untuk meningkatkan kepadatan, kekuatan dan karakteristik lain beton aspal.
2. *Filler* dapat berfungsi ganda dalam campuran beton aspal yaitu:
   a) sebagai bagian dari agregat, *filler* akan mengisi rongga dan menambah bidang kontak antar butir agregat, sehingga akan meningkatkan campuran, dan
   b) bila bercampur dengan aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi, sehingga mengikat butiran secara bersama-sama.

3. Sifat aspal (daktilitas, viskositas dan penetrasi) diubah secara drastis oleh *filler*, walaupun kadarnya relatif rendah dibanding pada campuran beton aspal. Penambahan *filler* pada aspal akan meningkatkan konsistensi pada aspal.
4. Daktilitas campuran aspal *filler* akan mencapai nol, pada kadar *filler* yang umum digunakan pada campuran beton aspal. Sedangkan pada suhu dan kadar *filler* yang sama, nilai penetrasi campuran aspal *filler* akan turun sampai < 1/3 dari penetrasi semula.
5. Viskositas aspal *filler* pada suhu tinggi sangat bervariasi pada kisaran yang lebar, tergantung pada jenis *filler* dan kadarnya. Perbedaan ini menjadi kecil pada suhu yang lebih rendah.
6. Hasil tes menunjukkan ada hubungan antara stabilitas campuran dan kekentalan aspal pada pemadatan campuran dengan kadar pori yang sama.
7. Hasil tes menunjukkan bahwa ada hubungan antara viskositas aspal dan usaha pemadatan campuran. Disarankan suhu perlu dinaikkan pada pemadatan campuran dengan *filler* aspal berkonsistensi tinggi.
8. Sensitifitas campuran terhadap air pada jenis dan kadar *filler* yang berbeda menunjukkan variasi yang besar. Hasil tes menunjukkan bahwa sensitifitas terhadap air dapat diturunkan dengan mengurangi kadar *filler* yang peka terhadap air.

## 2.4 *Split Mastic Asphalt*

*Split Mastic Asphalt* adalah jenis beton aspal campuran panas gradasi terbuka, yang terdiri dari campuran sebagai berikut ini.

1. *Split* (agregat kasar) dengan ukuran > 2mm dengan jumlah fraksi tinggi yakni ≥ 75% dari berat agregat campuran.
2. *Mastic Asphalt* adalah berupa campuran antara agregat halus, bahan isian (*filler*) dan aspal dengan kadar aspal relatif tinggi.

Terdapat 3 (tiga) jenis *Split Mastic Asphalt* yang digolongkan berdasarkan gradasinya, yaitu:

1. SMA 0/11, dengan ukuran agregat 0 - 11 mm. Umumnya digunakan untuk lapisan *wearing course* pada jalan baru. Pengaspalan dengan ketebalan 2,5 - 5 cm,
2. SMA 0/8, dengan ukuran agregat 0 - 8 mm. Umumnya digunakan untuk pelapisan ulang (*overlay*) pada jalan lama. Pengaspalan dengan ketebalan 2 - 4 cm, dan
3. SMA 0/5, dengan ukuran 0 - 5 mm. Umumnya digunakan sebagai lapis tipis permukaan untuk pemeliharaan dan perbaikan jalan. Pengaspalan dengan ketebalan 1,5 - 3 cm.

Sifat-sifat *split mastic asphalt* (SMA) dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Sifat-sifat *Split Mastic Asphalt* (SMA)

| No. | Sifat-sifat *Split Mastic Asphalt* | Karakteristik | Syarat |
|---|---|---|---|
| 1. | mampu melayani lalu lintas berat | *Stability Marshal* | > 750 kg |
| | | *Flow Marshall* | 2 - 4 mm |
| 2. | tahan terhadap oksidasi | tebal lapisan film aspal | 10μ |
| 3. | tahan terhadap deformasi permanen pada suhu tinggi | nilai stabilitas dinamis | > 1500 lintasan (60°C: 6,4 kg/cm2) |
| 4. | fleksibelitas (lentur) | *Marshall quotient (stability/flow)* | 190 - 300 kg/mm |
| 5. | tahan cuaca/temperatur tinggi | titik lembek (aspal + serat selulosa) | >60°C |
| 6. | kedap air | rongga udara | 3 - 5 % |
| | | indeks perendaman | > 75 % (60°C, 48 jam) |
| 7. | aman untuk lalu lintas (kesat) | nilai kekesatan | > 0,60 |
| 8. | tingkat keseragaman campuran yang tinggi | kadar aggregat kasar | tinggi |
| | | viskositas aspal | tinggi |

## 2.5 Bahan Tambah

Bahan tambah adalah bahan yang ditambahkan di dalam campuran aspal yang fungsinya menstabilisasikan campuran aspal (memperbaiki sifat-sifat aspal minyak ) dan tidak dikatagorikan sebagai bahan subsitusi aggregat. Bahan tambah serat selulosa yang digunakan pada campuran *Split Mastic Asphalt* adalah *Custom Fibers* 31500 (CF-31500).

Serat selulosa CF-31500 yang digunakan sebagai bahan tambah pada campuran *Split Mastic Asphalt* ini merupakan hasil fabrikasi. Bahan tambah ini diimport dari Amerika Serikat. Distributor di Indonesia adalah PT. Saranaraya Reka Cipta, di Jakarta.

Serat selulosa didapat dari tumbuhan yang bisa menghasilkan protein dan asam amino. Untuk mengambil protein dan asam amino pada tumbuhan digunakan cara ekstraksi. Hasil ekstraksi yang berupa larutan protein dan asam amino disuling (destilasi) untuk diambil protein dan asam amino yang murni. Hasil destilasi tersebut kemudian diendapkan, diekstraksi pada keadaan basa kedalam larutan penggumpal (*coagulating*) untuk dijadikan serat selulosa, pada keadaan ini proses pengerasan terjadi.

Sifat fisik yang diinginkan pada serat selulosa merupakan hal yang kompleks. Hal tersebut tergantung pada penggunaan serat selulosa tersebut, yaitu:

1. penekanan penggunaan pada sifat fisis kekuatan serat kering,
2. penekanan penggunaan pada sifat kekuatan serat basah, dan
3. penekanan penggunaan pada elastisitas bahan dan kadar penyerapannya.

Serat selulosa CF-31500 ini diutamakan untuk memperbaiki sifat-sifat aspal minyak, sehingga akan diperoleh konstruksi perkerasan jalan yang kuat, kaku, awet, nyaman dan aman bagi lalu lintas. Hal ini tidak terlepas dari sifat - sifat serat selulosa CF-31500 yang harus dipenuhi sebagai bahan stabilisasi aspal.

Kadar serat selulosa ditentukan berdasarkan persyaratan optimum. Persyaratan optimum ini ditentukan dengan menvariasikan kadar serat selulosa terhadap kadar aspal. Campuran serat selulosa dalam aspal harus dapat memperbaiki mutu aspal sehingga dicapai :

1. titik lembek campuran : > 60°C,
2. kelelehan campuran : 0 % (1 jam, 60°C), dan

3. nilai penetrasi : < 40.

Kadar serat selulosa dalam spesifikasi *Split Mastic Asphalt* (SMA) Jerman bervariasi antara 0,3 - 1,5 %. Kadar serat selulosa dalam spesifikasi Bina Marga ditentukan tetap 0,3 % dari berat total campuran. Fungsi serat selulosa dalam menstabilisasi aspal terlihat pada perubahan sifat campuran aspal dan serat selulosa terhadap aspal murni. Perubahan sifat tersebut yaitu kenaikan titik lembek, penurunan penetrasi semu dan penurunan kelelehan. Mekanisme stabilisasi itu secara mikro terjadi melalui dua proses sebagai berikut ini.

1. Absorbsi aspal oleh serat selulosa.

   Proses ini akan menyebabkan sifat-sifat kinetis (mobilitas) dari partikel-partikel aspal sehingga meningkatkan integritas dari bulk aspal tanpa mengurangi sifat kelenturan dan adhesinya.

2. Jembatan hidrogen antara selulosa dengan aspal.

Penjelasan hal diatas adalah sebagai berikut ini.

Secara umum aspal tersusun dari tiga komponen yaitu asphaltenes, resine dan saturated hidrocarbon. Fungsi spesifik masing-masing komponen tersebut adalah sebagai berikut:

1. *asphaltenes* adalah pembentuk body,
2. *resin* membangkitkan sifat adhesif dan lentur (*ductile*), dan
3. fraksi-fraksi minyak berperan pada sifat viskositas dan *flow*.

Analisa komponen lanjutan menunjukkan bahwa fraksi resin terdiri dari resin tak jenuh dan asam hidrokarbon tak jenuh. Masing - masing lazim disebut

sebagai *first acidaffins* (A-1), *second acidaffins* (A-2) dan basa nitrogen (N) dalam jumlah relatif kecil. Fraksi minyak tersusun dari beberapa campuran senyawa hodrokarbon jenuh.

Salah satu masalah yang muncul pada konstruksi aspal adalah penuaan (*aging*). Penuaan adalah suatu proses yang memyebabkan aspal berkurang/ kehilangan sifat adhesif dan daktilitas. Problem ini akan memyebabkan terjadinya kerusakan dini dan menimbulkan kerugian yang cukup berarti.

Problem tersebut dapat dideteksi dengan menggunakan persamaan parameter komposisi malten (Persamaan Rosler). Persamaan Rosler (Arnold J H, 1965)[ 1 ] adalah sebagai berikut :

$$f = \frac{(N + A\text{-}1)}{(P + A\text{-}2)}$$

Dengan :
f = naiknya parameter komposisi Malten ($0{,}4 < f < 1{,}2$; f ideal = 0,7-0,8)
N = basa nitrogen
A-1 = first acidaffins
A-2 = second acidaffins
P = parafinik

Secara matematis proses penuaan (*aging*) ditandai dengan naiknya parameter komposisi malten (f). Membesarnya parameter malten terjadi bila menyebut persamaan tersebut mengecil.

Dibanding unsur Parafinik (P) maka komponen *second acidaffins* (A-2) mempunyai kestabilan yang lebih rendah. Kesimpulan itu didasarkan pada kenyataan sebagai berikut ini.

1. Komponen *acidaffins* bersifat tidak jenuh (mempunyai ikatan rangkap), sehingga lebih mudah teroksidasi dan terpolimerisasi. Sedangkan komponen parafinik adalah hidrokarbon jenuh, sehingga tahan terhadap reaksi oksidasi.

2. Komponen *acidaffins* mempunyai berat molekul yang lebih rendah, sehingga mempunyai kecenderungan untuk menguap lebih besar.

Proses penuaan (*aging*), dengan kata lain, dimulai oleh mutasi resin menjadi molekul kecil yang mudah menguap, sehingga menyebabkan penurunan fraksi malten. Mengingat bahwa fungsi senyawa tersebut adalah sebagai stabilisator koloid aspal, maka proses ini akan mengganggu kestabilan aspal dan menyebabkan aspal menjadi rapuh.

Selulosa dapat menunda proses penuaan (*aging*) melalui mekanisme sebagai berikut. Ditinjau dari segi campuran, aspal digolongkan sebagai koloid dari fasa kontinu minyak yang non polar dan fasa diskrit asphaltenes yang polar. Koloid tersebut menjadi stabil oleh adanya pengaruh berbagai macam resin (A-1), (A-2) dan (N), yang bersifat semi polar dan mengelilingi fraksi asphaltenes.

Selulosa bersifat semipolar (lebih kuat dari resin) yang mampu menyerap (ikatan hidrogen) fraksi - fraksi resin tersebut. Hal tersebut mampu memperlambat proses oksidasi dan polimerisasi. Pilihan (preferensi) pengikatan di antara ketiga fraksi resin dapat ditelusuri melalui probabilitas kinetis berikut ini.

Basa N mempunyai gugus aktif hidroksil sehingga bersifat tidak suka terhadap selulosa yang mempunyai gugus aktif yang sama. *Second acidaffins* (A-2) lebih suka terhadap selulosa dibandingkan dengan *first acidaffins* (A-1), sebab memiliki berat molekul lebih kecil (mobilitas lebih besar) dan letak gugus berada di ujung molekul.

Pilihan pengikatan/penstabilan oleh selulosa terjadi terhadap komponen *second acidaffins* (A-2). Pengikatan ini akan mampu mempertahankan komponen *second acidaffins* (A-2) lebih lama dalam sistem, sehingga akan mampu menunda proses penuaan (*aging*).(Arnold J. Hoiberg, 1965)[ 1 ].

## 2.6 Modulus Kekakuan

### 2.6.1 Modulus Kekakuan Bitumen (*Bitumen Stiffness*)

Modulus kekakuan bitumen adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada bitumen yang besarnya tergantung temperatur dan lama pembebanan yang diterapkan. Nilai modulus kekakuan bitumen dapat ditentukan dengan nomogram **Van der Poel**, yang penggunaanya memerlukan data sebagai berikut ini.

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

Untuk menghitung nilai modulus kekakuan aspal digunakan nomogram Van der Poel seperti terlihat pada Gambar 2.1 pada halaman berikut ini.

Gambar 2.2 Nomogram penentuan nilai Kekakuan Bitumen (S bit)

Sumber : Bituminous Mixtures in Road Construction (1994)[ 8 ].

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

$$t = \frac{l}{v} \qquad \text{.......................................} \quad (1)$$

dengan :

v = kecepatan kendaraan (km/jam)

l = panjang jejak roda kendaraan (meter)

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

$$PIr = \frac{1951{,}4 - 500 \log Pr - 20\ Spr}{50 \log Pr - Spr - 120{,}14} \quad \ldots\ldots (2)$$

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

$$Pr = 0{,}65\ Pi \quad \ldots\ldots (3)$$

$$Spr = 98{,}4 - 26{,}35 \log Pr \quad \ldots\ldots (4)$$

dengan :

Pi = Penetrasi bitumen dalam kondisi asli (0,1mm)

Pr = Penetrasi bitumen dalam kondisi dihamparkan (0,1 mm)

Spr = Temperatur titik lembek dari bitumen dalam kondisi dihamparkan (dalam $^{0}$C).

Karena kebanyakan hitungan perencanaan berdasarkan pada karakteristik bitumen terhadap penetrasi awalnya, maka subtitusi dari persamaan (3) dan (4) ke dalam (2) memberikan persamaan untuk *Penetration Index* dalam kondisi dihamparkan sebagai berikut :

$$Pir = \frac{27 \log Pi - 21{,}65}{76{,}35 \log Pi - 232{,}82} \quad \ldots\ldots (5)$$

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

$$Sb = 1{,}157 \times 10^{-7} \times t^{-0{,}368} \times 2{,}718^{PIr} \times (SPr\text{-}P)^5 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

dengan :

Sb = *Stiffness bitument* (Mpa)

t = waktu pembebanan (detik)

PI = *Penetration Index*

SPr = temperatur titik lembek ($^{o}$C)

T = temperatur perkerasan ($^{o}$C)

Persamaan diatas dapat dipergunakan jika memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$0{,}01 < t < 0{,}1$

$- < Pir < 1$

$20\ ^{o}C < (SPr) < 60^{o}C$

### 2.6.2 Modulus Kekakuan Campuran (*Mix Stiffness*)

Modulus kekakuan campuran adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada campuran bitumen yang besarnya tergantung dari temperatur dan lamanya pembebanan. Rumus atau metode yang diterapkan untuk menentukan ***Mix Stiffness*** (S Mix) diantaranya :

1) **Metoda Shell**. Untuk mencari modulus kekakuan campuran digunakan nomogram Shell. Pada metoda ini diperlukan data-data sebagai berikut ini.

a. Modulus kekakuan bitumen ($N/m^2$) dimana nilai modulus kekakuan bitumen ini didapatkan dari perhitungan atau dengan nomogram seperti telah tersebut diatas.

b. Volume bahan pengikat (%).

c. Volume mineral agregat.

Prosentase volume bahan pengikat dapat dihitung dengan persamaan :

$$Vb = \frac{(100 - Vv)\,(M_B/G_b)}{(M_B/G_b) + (M_A/G_a)} \quad \ldots\ldots (7)$$

Kadar pori dalam campuran padat dihitung dengan persamaan :

$$Vv = \frac{(\tau max - \tau m) \times 100}{\tau max} \quad \ldots\ldots (8)$$

dengan :

$$\tau max = \frac{100 \times \tau w}{(M_B/G_b) + (M_A/G_a)} \quad \ldots\ldots (9)$$

Selanjutnya dapat dihitung nilai *void in mixed* agregat dengan persamaan :

$$VMA = Vb + Vv \quad \ldots\ldots (10)$$

dan

$$Vv + Vb + Vg = 100\% \quad \ldots\ldots (11)$$

dengan :

$M_A$ = perbandingan berat agregat dengan total berat campuran (%).

$M_B$ = perbandingan berat bahan ikat bitumen dengan total berat campuran (%).

$G_a$ = berat jenis campuran agregat.

$G_b$ = berat jenis bahan ikat campuran.

$\tau m$ = berat volume campuran padat ($kg/m^3$).

$\tau w$ = berat volume air ($kg/m^3$).

Vg = prosentase volume agregat (%).

Vb = prosentase volume bitumen (%).

Vv = prosentase volume pori (%).

2) **Metoda Heukelom and Klomp (1964)**. Disini diberikan rumus untuk mencari modulus kekakuan campuran sebagai berikut :

$$S\ mix = S\ bit\ [\ 1 + 2{,}5/n \times Cv/(1-Cv)]^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

dengan :

$n = 0{,}83 \log 4 \times 10^{10} / S\ bit$

S mix = *mix modulus* ($N/m^2$).

S bit = *bitumen modulus* ($N/m^2$).

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

$$Cv = \frac{V_G}{V_G + V_B} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

dengan :

$V_G$ = prosentase volume agregat padat (%).

$V_B$ = prosentase volume bitumen (%).

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

$$Cv' = \frac{Cv}{1 + 0{,}01\,(Vv-3)} \quad \ldots\ldots (14)$$

dengan :

Cv' = modifikasi volume rongga agregat.

Vv = volume rongga udara dalam campuran (%).

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

$$Cb > 2/3\,(1-Cv') \quad \ldots\ldots (15)$$

Untuk menghitung nilai kekakuan campuran digunakan nomogram pada Gambar 2.2 berikut ini.

Gambar 2.2 Nomogram penentuan kekakuan campuran

Sumber : Bituminous Mixtures in Road Construction (1994)[ 8 ].

# BAB III

# LANDASAN TEORI

## 3.1 Konstruksi Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah suatu lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan perkerasan berfungsi untuk menerima dan meneruskan beban lalu lintas ke lapisan tanah dasar (*subgrade*), agar tanah tidak mendapat tekanan yang melebihi daya dukungnya.

Perkerasan terdiri dari beberapa lapis dengan kualitas bahan makin ke atas makin baik. Perkerasan dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu:

1. perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan ikat agregat,
2. perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan portland cement sebagai bahan ikat agregat, dan
3. perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku.

Tugas akhir ini hanya membahas perkerasan lentur. Lapis perkerasan lentur pada prinsipnya tersusun atas tiga bagian. Bagian-bagian tersebut yaitu lapis pondasi bawah (*sub base course*), lapis pondasi atas (*base course*), dan lapis

permukaan (*surface course*). Sebelum lapis permukaan biasanya terdapat lapis pengikat (*binder course*).

Fungsi struktural lapis perkerasan jalan adalah mendukung beban lalulintas dan menyalurkan ke tanah dasar secara merata. Fungsi tiap lapisan tersebut adalah sebagai berikut ini.

1. Lapis permukaan (*surface course*).

   Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis perkerasan adalah sebagai berikut ini.

   a. Fungsi struktural, yaitu memikul beban lalulintas secara langsung dan mendistribusikan beban tersebut ke lapisan di bawahnya.
   b. Fungsi non struktural, yaitu :
      1) lapis kedap air, mencegah masuknya air hujan ke lapis perkerasan yang ada di bagian bawah,
      2) membentuk permukaan yang tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dengan keamanan dan kenyamanan cukup, dan
      3) membentuk permukaan dengan kekesatan (skid resistance) yang aman.

2. Lapis pondasi atas (*base course*).

   Lapis pondasi atas adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah.

   Fungsi lapis pondasi atas, adalah :

   a. lapis pendukung bagi lapis permukaan dan ikut menahan gaya gesek akibat beban kendaraan, dan

b. lapis peresapan untuk lapisan pondasi bawah.

3. Lapis pondasi bawah (*subbase course*).

Lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Fungsi Lapis pondasi bawah, adalah :

a. menyebarkan beban roda kendaraan,
b. lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi,
c. mencegah tanah dasar masuk ke lapisan pondasi (akibat tekanan roda dari atas),
d. lapisan pertama untuk perkerasan, karena tanah dasar pada umumnya lemah, dan
e. lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.

4. Tanah dasar (*sub grade*).

Tanah dasar adalah permukaan tanah semula, permukaan galian dan atau timbunan yang dipadatkan. Tanah dasar yang telah dipadatkan merupakan lapisan dasar untuk meletakkan bagian-bagian perkerasan di atasnya.

## 3.2 Karakteristik Campuran *Split Masic Asphalt* dengan Bahan Tambah Serat Selulosa (SMA+S).

Karakteristik lapis perkerasan tidak bisa dilepaskan dari pemahaman yang baik terhadap sifat bahan penyusunnya. Khususnya perilaku bahan apabila telah berada dalam campuran *split mastic asphalt*. Karakteristik campuran yang harus

dimiliki campuran *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa adalah sebagai berikut ini.

### 3.2.1. Stabilitas.

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalulintas tanpa terjadi perubahan bentuk (deformasi) yang konsisten, seperti gelombang, alur maupun *bleeding*.

Kebutuhan pada stabilitas setingkat dengan jumlah lalulintas dan beban kendaraan yang akan menggunakan jalan tersebut. Volume lalulintas tinggi dan beban yang berat, menuntut stabilitas perkerasan yang lebih besar. Stabilitas dicapai dari hasil gesekan antar partikel agregat, penguncian antar partikel agregat dan daya ikat antar lapisan aspal.

Beberapa variabel yang berhubungan dengan stabilitas lapis perkerasan antara lain gesekan, kohesi dan inersia.

Gaya gesek tergantung pada tekstur permukaan, gradasi agregat, bentuk batuan, kerapatan campuran dan kadar aspal. Hal ini kemudian dikombinasikan antara gesekan dan kemampuan saling mengunci dari agregat dalam campuran.

Kohesi merupakan sifat daya lekat masing-masing partikel bahan perkerasan. Kohesi agregat dapat diamati pada sifat kekerasannya, sedangkan kohesi campuran sangat tergantung pada gradasi agregat, kerapatan campuran, disamping daya adhesi antara aspal dan agregat itu sendiri.

Inersia merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan perpindahan tempat (*resintance to displacement*) yang mungkin terjadi sebagai akibat beban lalu lintas, karena besar beban maupun jangka waktu pembebanan.

### 3.2.2. Keawetan/Daya Tahan (Durabilitas).

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan agar lapis perkerasan mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, keausan akibat gesekan dengan roda kendaraan, air dan perubahan suhu. Sifat aspal dapat berubah akibat oksidasi dan perubahan campuran yang disebabkan oleh air.

Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis *split mastic asphalt* adalah sebagai berikut ini.

1. Ketebalan selimut aspal (*bitument film thickness*).

   Selimut aspal yang tebal akan menghasilkan campuran panas yang memiliki durabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya kelelehan (*bleeding*) tinggi.

2. Rongga antar campuran yang relatif kecil menyebabkan 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 agregat kecil dan kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya bleeding besar. Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi terbuka (*open graded*).

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 lapis perkerasan adalah kemampuan lapis perkerasan mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang, tanpa mengakibatkan retak dan perubahan volume.

Fleksibilitas, dengan kata lain, adalah kemampuan campuran untuk bersesuaian terhadap gerakan lapis pondasi dalam jangka panjang, disamping mempunyai kemampuan untuk melekuk/melentur secara berulang tanpa terjadi patahan (*fatigue resistance)*.

Nilai fleksibilitas dapat dimaksimalkan dengan penggunaan aspal pada kadar yang tinggi dan menggunakan gradasi agregat terbuka (*open graded*).

### 3.2.4. Tahanan geser/kekesatan (*Skid Resistance*).

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh lapis perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami selip. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan roda kendaraan.

Tahanan geser yang tinggi dapat dicapai apabila :

1. penggunaan kadar aspal optimum, sehingga tidak terjadi kelebihan aspal yang dapat mengakibatkan terjadinya kelelahan (*bleeding*) pada lapis perkerasan,
2. penggunaan agregat kasar,
3. adanya rongga udara yang cukup dalam campuran, sehingga bila terjadi panas/suhu udara naik aspal tidak terdesak keluar ke permukaan jalan, dan

4. ketahanan terhadap kelelahan *(fatigue resistance)*.

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan lapis perkerasan selama menerima beban berulang tanpa terjadi kelelahan. Kelelahan pada lapis perkerasan berupa alur (*ruting*) dan retak. Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah:

a. rongga antar campuran yang relatif besar dan kadar aspal yang rendah akan cepat mengakibatkan kelelahan, dan
b. rongga antar butir agregat yang relatif besar dan kadar aspal yang tinggi mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

### 3.2.5. Kemudahan Pelaksanaan (*workability*)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran dihamparkan dan dipadatkan, sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang disyaratkan.

## 3.3. Bahan Penyusun Perkerasan *Split Mastic Asphlat* dengan Bahan Tambah Serat Selulosa (SMA+S).

Bahan utama perkerasan lentur *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa adalah agregat dan aspal. Aspal berfungsi sebagai bahan pengikat, sedangkan serat selulosa berfungsi menstabilisasi aspal (memperbaiki sifat-sifat aspal minyak). Serat selulosa tidak dikatagorikan sebagai bahan pengganti agregat. Perbandingan pemakaian agregat dan aspal tergantung pada kebutuhan dan jenis pekerjaan.

Kualitas agregat dan aspal sangat menentukan kualitas lapis perkerasan. Persyaratan untuk mendapatkan lapis permukaan *split mastic asphalt* berkualitas tinggi sebagai berikut :

1. gradasi agregat ideal (batas tengan spesifikasi),
2. kadar aspal optimum,
3. kadar serat selulosa optimum, dan
4. pelaksana aplikasi *split mastic asphalt* di AMP (*Asphalt Mixing Plant*) dan di lapangan dilakukan dengan benar.

### 3.3.1. Aspal Keras/ Semen (AC).

Aspal semen pada temperatur ruang (25° - 30°C) berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25°C ataupun berdasarkan nilai visositasnya.

Pemilihan aspal sebagai bahan pengikat pada campuran panas (hot mix) harus dipenuhi syarat-syarat sebagai berikut ini.

1. Kekakuan/kekerasan (*Stiffenes*).

   Aspal yang digunakan harus mempunyai kekerasan yang cukup, setelah berfungsi sebagai bahan jalan.

2. Sifat mudah dikerjakan (*Workability*).

   Sifat mudah dikerjakan terutama pada pelaksanaan penggelaran dan pemadatan. Untuk memperoleh lapis perkerasan yang padat. Sifat mudah dikerjakan dapat

dicapai dengan pemanasan (*heating*), penambahan pengencer dan penambahan bahan pengencer.

3. Kuat tarik (*Tensile Strength*) dan adhesi.

Sifat kuat tarik dan adhesi diperlukan agar lapis perkerasan yang dibuat akan tahan terhadap kerusakan, jika :

a. retak (*craking*), ditahan oleh kuat tarik,

b. pengelupasan (*fretting/stripping*), ditahan oleh adhesi, dan

c. goyah (*raveling*), ditahan oleh kuat tarik dan adhesi.

4. Tahan terhadap cuaca.

Ketahanan terhadap cuaca diperlukan agar perkerasan tetap memiliki tahanan gesek (*skid resistance*).

Sesuai dengan fungsi aspal sebagai lapis permukaan jalan, aspal harus dapat mengeras. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan aspal mengeras seiring dengan berjalannya waktu adalah sebagai berikut ini.

1. Oksidasi (*oxidation*).

Oksigen (O2) diserap aspal pada suhu rendah yang akan membentuk lapisan tipis yang keras. Jika lapisan tipis ini pecah, maka akan terjadi oksidasi lagi pada lapis yang ada di bawahnya, begitu seterusnya.

Ditinjau dari sifat kimia, peristiwa oksidasi ini akan membentuk komponen baru yang bersifat larut dalam air. jika bagian ini terkena air dalam waktu lama, maka bagian yang larut ini akan terbawa air. Akibatnya kadar aspal akan berkurang.

Lapis perkerasan tidak dapat bertahan sesuai umur rencana jika sering tergenang air. hal ini dapat terjadi karena kadar aspal berkurang, yang menyebabkan ikatan menjadi lemah dan sifat rapat air menurun.

*2. Volatilization.*

*Volatilization* adalah penguapan (evaporasi) bagian-bagian aspal yang memiliki berat molekul kecil. Jika aspal terlalu banyak kehilangan bagian yang memiliki berat molekul kecil, maka aspal akan mengeras seiring berjalannya waktu. Proses *Volatization* ini dipercepat dengan cara :

a. pemanasan aspal pada suhu tinggi,

b. pengadukan aspal pada keadaan panas, dan

c. pemanasan pada suhu tinggi pada rentang waktu lama.

*3. Polymerization.*

*Polymerization* adalah penggabungan molekul-molekul sejenis untuk membentuk molekul yang lebih besar. Berdasarkan hasil penelitian laboratrium, bagian labil yang cenderung membentuk molekul yang lebih besar adalah *resins*, yang berubah menjadi *asphaltenese*. Akibat perubahan ini aspal menjadi keras dan mudah mengalami retak-retak.

*4. Thixotrophy.*

*Thixotrophy* adalah perubahan viskositas aspal, jika aspal tidak mendapatkan tegangan, peristiwa ini berlangsung pada komposisi kimia yang sama. Hal ini dapat dihilangkan dengan cara memberikan beban pada aspal.

5. *Separation.*

*Separation* adalah pemisahan *resins* atau *oils* atau *asphaltenes* dari aspalnya. Peristiwa ini dapat terjadi pada waktu berlangsungnya proses pencampuran agregat dan aspal, yaitu saat penyerapan selektif aspal oleh agregat. Jadi jika yang diserap adalah *resins* atau *oil-nya*, aspal yang tertinggal akan mengeras. Sebaliknya apabila yang diserap *asphaltenese*-nya, aspal akan bertambah lunak.

6. *Synerisis.*

*Synerisis* adalah penampakan noda-noda pada permukaan aspal. Warna noda tidak homogen. Noda ini disebabkan oleh terjadinya pembentukan baru dalam aspal. Struktur baru tersebut ditampakkan pada permukaan aspal. Struktur baru tersebut pada umumnya merupakan bagian dengan berat molekul besar. Bagian ini menyebabkan aspal yang berada pada bagian permukaan menjadi keras.

Aspal yang telah mengeras oleh sebab apapun, kualitasnya sudah menurun. Daya tahan (*durability*), daya ikat (*adhesi*) dan kadar aspal telah menurun. aspal yang mengeras juga bersifat getas (*brittle*).

Bertambahnya kadar aspal dalam campuran *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa (SMA+S) akan memperbaiki kemampuan campuran tersebut, hal ini sangat dikehendaki di Indonesia. Kadar aspal yang tinggi pada campuran gradasi terbuka (*open graded*) pada *split mastic asphalt* menurut Bina Marga memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. bertahan lebih lama (aspal tidak cepat menjadi getas dan kurang mengalami oksidasi),

2. lebih fleksibel (lendutan lebih besar pada perkerasan dapat ditoleransi),
3. lebih tahan terhadap kemungkinan retak-retak akibat kelelahan,
4. lebih Kedap air, dan
5. lebih mudah mengerjakan dan memadatkannya.

Kadar aspal dalam campuran dapat dibagi dalam beberapa keadaan, yaitu :

1. keadaan pertama, aspal hanya sekedar menyelimuti permukaan butir saja, sehingga daya lekat kurang kuat. Bila ada gaya geser maka konstruksi akan mudah terlepas dan menjadi retak-retak,
2. keadaan kedua, selain menyelimuti butir-butir batuan aspal juga masih mempunyai cadangan dan berguna apabila konstruksi terkena gaya geser maka masih ada aspal yang dapat menahannya sehingga susunan buitran tidak akan mudah terlepas satu sama lain,
3. keadaan ketiga, aspal mengisi penuh seluruh rongga-rongga, keadaan ini tidak menguntungkan karena jalan menjadi licin. Hal ini disebabkan karena naiknya sebagaian aspal ke permukaan jalan apabila jalan tersenut terkena roda kendaraan atau akibat sinar matahari, dan
4. keadaan keempat, kadar aspal melebihi dari kebutuhan sehingga batuannya seolah - olah terapung dalam masa aspal. Keadaan ini menyebabkan kedudukan butiran menjadi tidak stabil dan mudah tergeser sehingga apabila ada gaya vertikal maupun gaya horisontal, konstruksi ini akan mudah bergelombang.

Pemakaian aspal yang banyak juga akan mempertinggi durability. Tetapi kadar aspal yang berlebihan akan berakibat aspal menjadi pelicin pada suhu tinggi. Untuk itulah perlu dicari kadar aspal optimium untuk lapisan keras beton aspal.

Jumlah aspal yang dibutuhkan di dalam campuran, dapat dicari dengan cara sebagai berikut ini.

1. Teori luas permukaan butir dan kekasaran permukaan butir (*surface area*).
2. Metode Marshall.

Penelitian ini menggunakan aspal semen AC 60-70 yaitu *Asphalt Cement* dengan penetrasi antara 60-70. Persyaratan aspal AC 60-70 diberikan pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Hasil Pemeriksaan Aspal AC 60-70

| No. | Jenis Pemeriksaan | Cara Pemeriksaan | Syarat *) | | Satuan |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min | Maks | |
| 1 | Penetrasi (25°C,5 detik) | PA. 0301 - 76 | 60 | 79 | 0,1 mm |
| 2 | Titik Lembek (Ring&Ball) | PA. 0302 - 76 | 48 | 58 | °C |
| 3 | Titik Nyala | PA. 0303 | 200 | - | °C |
| 4 | Kehilangan Berat (163°C,5 jam) | PA. 0304 | - | 0,8 | % berat |
| 5 | Kelarutan (Ccl4) | PA. 0305 - 76 | 99 | - | % berat |
| 6 | Daktilitas (25°C, 5 cm/manit) | PA.0306 - 76 | 100 | - | Cm |
| 7 | Penetrasi Setelah Kehilangan Berat | PA. 0301 - 76 | 54 | - | % awal |
| 8 | Daktilitas Setelah Kehilangan Berat | PA.0306 - 76 | 50 | - | Cm |
| 9 | Berat Jenis (25°C) | PA. 0307 - 76 | 1 | - | - |

*) Sumber : SNI No. 1737. 1989/F jo. SKBI - 2. 426. 1987, DPU.

### 3.3.2. Agregat.

Permeabilitas suatu campuran, yang sangat menentukan daya tahan lapis perkerasan, tidak saja tergantung pada kandungan volume rongga udara tetapi ditentukan pula oleh gradasi agregatnya. Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan

stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga udara antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan.

Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan satu set saringan. Saringan paling kasar diletakkan di atas dan saringan paling halus diletakkan paling bawah. Di bawah saringan terkecil diletakkan PAN. Satu set saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup.

Gradasi agregat dapat dibedakan sebagai berikut ini.

1. Gradasi seragam/terbuka (*uniform/ open graded*).

Gradasi seragam adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya, sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat.

Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang dan berat volume kecil.

2. Gradasi rapat/baik (*dense/ well graded*).

Gradasi rapat merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang.

Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapis perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, sifat drainasi jelek dan berat volume besar.

3. Gradasi buruk/senjang/celah (*poorly/gap graded*)

Agregat buruk merupakan campuran agregat yang tidak memenuhi dua jenis agregat di atas.

Agregat bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapis perkerasan lentur adalah gradasi celah (*gap graded*), merupakan agregat dengan satu fraksi hilang.

Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis di atas.

Gradasi agregat yang digunakan pada campuran *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa (SMA+S) berbeda dengan gradasi agregat pada AC dan HRS. Gradasi agregat *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa dalah gradasi terbuka (*open graded*), dengan prosentase agregat kasar (ukuran ≥ 2 mm) ≥ 75%. Gradasi agregat *split mastic asphalt* yang digunakan diberikan pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2. Gradasi Agregat *Split Mastic Asphalt* dengan Bahan Tambah Serat Selulosa Menurut Bina Marga

| No. | Ukuran Saringan (mm) | Lolos Saringan (%) | Ideal, batas tengah (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 12,70 | 100 | 100 |
| 2 | 11,20 | 90 - 100 | 95 |
| 3 | 8,00 | 50 - 75 | 62,5 |
| 4 | 5,00 | 30 - 50 | 40 |
| 5 | 2,00 | 20 - 30 | 25 |
| 6 | 0,71 | 13 - 25 | 19 |
| 7 | 0,25 | 10 - 20 | 15 |
| 8 | 0,09 | 8 - 13 | 10,5 |

Sumber : SNI No. 1737. 1989/F jo. SKBI - 2. 426. 1987, DPU.

Pemilihan agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain ukuran dan gradasi, kekuatan dan kekerasan, bentuk, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal, kebersihan dan sifat kimiawi.

Persyaratan mutu agregat adalah sebagai berikut :

1. kehilangan berat akibat abrasi mesin Los Angeles (PB.0206-76) maksimal 40%,
2. kelekatan agregat terhadap aspal (PB.0205-76) minimal 95%, dan
3. non plastis.

Secara umum agregat yang digunakan pada campuran aspal beton dibagi menjadi empat fraksi, yaitu :

1. agregat kasar, batuan yang tertahan saringan No. 8,
2. agregat halus, batuan yang lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 30,
3. bahan pengisi, bahan yang lolos saringan No. 30 dan tertahan saringan No. 200, dan
4. *filler*, fraksi agregat halus yang lolos saringan No. 200. (Silvia Sukirman, 1992) [ 11 ].

### 3.3.3. *Filler*

*Filler* sebagai bagian dari agregat penyusun lapis perkerasan jalan mempunyai peranan penting. Partikel pengisi efektif dalam mereduksi sifat kepekaan campuran perkerasan terhadap perubahan suhu.

*Filler* perlu ditambahkan pada campuran beton aspal yang kurang pada komposisi material lolos saringan No. 200 (0,074). Bahan pengisi yang dapat

digunakan antara lain debu batu, kapur, debu dolomit atau semen. Filler harus dalam keadaan kering (kadar air maksimal 1%).

*Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah debu batu. Bahan ini harus bebas dari gumpalan-gumpalan dan harus sesuai dengan spesifikasi dari SNI. No. 1737.1989/F jo. SKBI-2.426.1987. Debu batu merupakan hasil samping produksi pemecah batu (*stone crusher*).

*Filler* pada penelitian ini dihitung sebagai bagian dari agregat dalam campuran. Jumlah *filler* yang didapat dari agregat 0/2 mm dan abu batu adalah 10,5 % dari berat total campuran .

### 3.3.4. Bahan Tambah (*Additive*)

Serat selulosa yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis CF-31500. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, kadar bahan stabilisasi (serat selulosa) ditentukan tetap yaitu 0,3 % dari berat total campuran.

Persyaratan dari Bina Marga yang harus dipenuhi untuk serat selulosa agar dapat digunakan sebagai bahan tambah pada aspal beton campuran panas antara lain :

1. mudah terdistribusi secara merata dalam campuran kering aspal beton campuran panas pada temperatur 160°C-170°C,
2. dapat dipisahkan atau diekstraksi kembali dari aspal beton campuran panas,
3. tahan terhadap temperatur aspal beton campuran panas sampai 250°C minimum selama waktu pencampuran, dan
4. dengan kadar serat selulosa 0,3 % terhadap berat aspal beton campuran panas dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap titik lembek aspal.

Sifat - sifat serat selulosa CF-31500 yang digunakan sebagai bahan tambah pada campuran Split Mastic asphalt diuraikan pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3. Sifat - sifat Serat Selulosa CF-31500

| No | Karakteristik | Satuan | Syarat |
|---|---|---|---|
| 1 | Warna | - | abu - abu |
| 2 | pH | - | 7,5 ± 1 |
| 3 | Kadar Air | % | < 6,0 |
| 4 | Kadar Organik (Serat Selulosa) | % | > 75,0 |
| 5 | Berat Isi Gembur | gr/lt | > 25,0 |
| 6 | Panjang Serat | mikron | maks 5000 |
| 7 | Katahanan terhadap Asam dan Alkali | - | baik |
| 8 | Ketahanan terhadap Pemanasan sampai 250°C | - | baik |
| 9 | Distribusi dalam Campuran Kering, 170°C | - | merata |
| 10 | Hasil Ekstraksi Serat Selulosa dari Beton Aspal Campuran Panas | % | 100,0 |
| 11 | Titik Lembek Campuran Aspal Minyak pen 60/70 dengan Serat Selulosa | °C | ≥ 55,0 |

Sumber : PT. Saranaraya Reka Cipta Jakarta.

# BAB IV

# HIPOTESIS

*Split mastic asphalt* sebagai lapis permukaan jalan menggunakan gradasi terbuka dan kadar aspal yang cukup tinggi pada campuran, dengan tujuan agar film aspal relatif tebal sehingga tahan terhadap oksidasi.

Tujuan penggunaan *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa adalah memaksimalkan interaksi dan kontak di antara fraksi kasar dalam suatu campuran panas. Fraksi agregat kasar (limbah baja) memiliki stabilitas yang lebih tinggi dan tahan terhadap gaya geser, campuran pasir, abu batu/filler dan serat selulosa menjadi suatu mastik untuk menyatukan batuan secara kuat.

Bahan pengisi pada campuran panas adalah bagian dari gradasi *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa. Penelitian ini dihipotesiskan bahwa limbah baja dapat digunakan sebagai agregat kasar dalam campuran *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa.

# BAB V

# CARA PENELITIAN

## 5.1 Bahan

Tinjauan penggunaan bahan pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

### 5.2.1 Asal Bahan

Bahan-bahan yang digunakan antara lain :

1. Agregat

   Agregat yang digunakan adalah sebagai berikut :

   a. agregat kasar (limbah baja) berasal dari pabrik baja Krakatau Steel, Cilegon, Jawa Barat, dan

   b. agregat halus (pasir) dan abu batu (*filler*) hasil pemecah batu (*stone crusher*) PT Perwita Karya Yogyakarta.

2. Aspal

   Aspal yang digunakan adalah jenis AC 60-70 produksi Pertamina yang diperoleh dari PT. Perwita Karya Yogyakarta.

3. Serat selulosa

   Serat selulosa yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis CF-31500 (*Custom Fiber*) yang diimpor dari Amerika Serikat. Distributor di Indonesia adalah PT. Saranaraya Reka Cipta.





### 5.2.2 Persyaratan dan Pemeriksaan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebelum diuji di laboratrium untuk mendapatkan bahan penelitian yang berkualitas. Pengujian yang dilakukan antara lain sebagai berikut ini.

1. Pemeriksaan agregat.

Pemeriksaan agregat terdiri dari sebagai berikut ini.

a. Pemeriksaan keausan agregat.

Ketahanan agregat terhadap penghancuran diperiksa dengan percobaan abrasi dengan menggunakan mesin Los Angeles berdasarkan PB 0206-76. Nilai Abrasi menunjukkan banyaknya benda uji yang hancur akibat tumbukkan dan gesekan antar partikel dengan bola-bola baja pada saat terjadinya putaran. Nilai Abrasi > 40% menunjukkan agregat tidak mempunyai keausan yang cukup untuk digunakan sebagai bahan lapis perkerasan.

b. Pemeriksaan berat jenis (*specific grafity*).

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dengan volume agregat. Untuk mendapatkan volume agregat digunakan air suling. Pemeriksaan berat jenis mengikuti prosedur PB-0202-76 dengan persyaratan minimum 2,5. Besarnya berat jenis agregat penting untuk diketahui karena perencanaan campuran agregat dengan aspal berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori.

c. Pemeriksaan penyerapan agregat terhadap air.

Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui besarnya air yang terserap oleh agregat. Besarnya peresapan agregat yang diijinkan mempunyai nilai maksimum 3 %. Air yang telah diserap oleh agregat sukar dihilangkan seluruhnya walaupun melalui proses pengeringan, sehingga mempengaruhi daya lekat terhadap agregat.

d. Pemeriksaan kelekatan terhadap aspal.

Pemeriksaan dilakukan sesuai dengan prosedur PB-0205-76. Kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam prosentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap keseluruhan luas permukaan dan besarnya minimal 95%.

e. Pemeriksaan *sand equivalent.*

Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui kadar debu/bahan yang menyerupai lempung pada agregat halus. *Sand eqivalent test* dilakukan untuk agregat yang lolos saringan No. 4 sesuai prosedur PB-0203-76, nilai yang disyaratkan minimum 50%. Adanya lempung dapat mempengaruhi mutu campuran agregat dengan aspal, karena lempung membungkus partikel-partikel agregat sehingga ikatan antara agregat dengan aspal berkurang. Juga adanya lempung mengakibatkan luas permukaan yang harus diselimuti aspal bertambah.

2. Pemeriksaan aspal.

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa di laboratrium. Aspal yang telah memenuhi syarat-syarat

yang telah ditetapkan dapat digunakan sebagai bahan pengikat perkerasan. Pemeriksaan bahan ikat agregat adalah sebagai berikut ini.

a. Pemeriksaan penetrasi.

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Prosedur pemeriksaan adalah PA-0301-76. Besarnya angka penetrasi untuk aspal AC 60-70 adalah antara 60 - 70.

b. Pemeriksaan titik lembek (*softening point test*).

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mencari temperatur pada saat aspal mulai menjadi lunak. Pemeriksaan ini menggunakan cincin yang terbuat dari kuningan dan bola baja dengan diameter 9,53 mm seberat 3,5 gram. Titik lembek dan adalah suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin yang diletakkan horisontal didalam larutan air atau gliserin yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek dan jatuh pada ketinggian 1 inci (25,4 mm) dari pelat dasar. Pemeriksaan mengikuti PA-0302-76 dengan nilai yang disyaratkan 48°C sampai dengan 58°C.

c. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar.

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan suhu pada saat terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal (titik nyala) dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada suatu titik di atas permukaan aspal (titik bakar). Pemeriksaan ini mengikuti prosedur PA-0303-76, dengan besarnya nilai yang diisyaratkan minimum 200°C.

d. Pemeriksaan berat jenis aspal.

Perbandingan antara berat dan volume aspal. Alam penelitian ini mendapatkan volume aspal dipergunakan air suling. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0307-76 dengan nilai yang disyaratkan sebesar minimal 1. Berat jenis aspal diperlukan untuk perhitungan dalam analisa campuran.

f. Pemeriksaan kelarutan dalam CCL4 (*solubity test*).

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan jumlah bitumen yang larut dalam *carbon tetra chloroid.* Jika semua bitumen yang diuji larut dalam CCl4 maka bitumen tersebut adalah murni. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0305-76.

## 5.2 Perencanaan Campuran.

Perencanaan campuran meliputi beberapa kegiatan sebagai berikut ini.

### 5.2.1 Gradasi Agregat Campuran (*Split Mastic Asphalt*).

Gradasi agregat yang digunakan pada campuran *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa (SMA+S) adalah gradasi terbuka (*open graded*), dengan prosentase agregat kasar (ukuran ≥ 2 mm) ≥ 75%. Gradasi agregat *split mastic asphalt* yang digunakan diberikan pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1. Gradasi Agregat *Split Mastic Asphalt* dengan Bahan tambah Serat Selulosa menurut Bina Marga

| No. | Ukuran Saringan (mm) | Lolos Saringan (%) | Ideal, batas tengah (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 1/2" (12,70 mm) | 100 | 100 |
| 2 | 7/16" (11,20 mm) | 90 - 100 | 95 |
| 3 | 5/16" (8,00 mm) | 50 - 75 | 62,5 |
| 4 | No. 4 (5,00 mm) | 30 - 50 | 40 |

Lanjutan

| No. | Ukuran Saringan (mm) | Lolos Saringan (%) | Ideal, batas tengah (%) |
|---|---|---|---|
| 5 | No. 10 (2,0 mm) | 20 - 30 | 25 |
| 6 | No. 25 (0,71 mm) | 13 - 25 | 19 |
| 7 | No. 60 (0,25 mm) | 10 -20 | 15 |
| 8 | No. 170 (0,09 mm) | 8 - 13 | 10.5 |

Sumber : SNI No. 1737. 1989/F jo. SKBI - 2. 426. 1987, DPU.

### 5.2.2 Kadar Serat Selulosa Optimum.

Serat selulosa yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis CF-31500. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, kadar bahan stabilitas (serat selulosa) ditentukan tetap yaitu 0,3 % dari berat total campuran.

### 5.2.3 Kadar aspal Optimum.

Berdasarkan peraturan dan persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, untuk klasifikasi volume lalulintas berat, aspal yang digunakan adalah aspal keras (*Asphalt Cement*) pen 60 - 70. Persyaratan tersebut memenuhi ketentuan SNI No. 1737.1989-F, dengan variasi kadar aspal adalah 5,3%, 5,6%, 5,9%, 6,3%, dan 6,5%.

Penentuan kadar aspal optimum pada campuran *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa (SMA+S) berbeda dengan campuran AC dan HRS. Perbedaan ini terletak pada penggunaan parameter-parameter yang didapat dari hasil percobaan Marshall.

Parameter yang digunakan pada campuran *split mastic asphalt* dengan bahan tambah serat selulosa (SMA+S) untuk menentukan kadar aspal optimum antara lain sebagai berikut ini.

1. *Unit Weight/Density.*
2. *Stability.*
3. Kelelehan (*Flow*).
4. Rongga udara dalam campuran (*Air Void*).
5. *Effective Asphalt Content.*
6. *Bitument Film Thickness.*

Nilai parameter hasil pengujian kemudian dibuat grafik untuk disesuaikan dengan spesifikasi. Kadar aspal optimum dapat ditentukan dari grafik tersebut. Spesifikasi Uji Marshall dari Bina Marga untuk SMA+S diberikan pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2. Spesifikasi Bina Marga untuk uji Marshall SMA+S

| No | Parameter Marshall | Satuan | Spesifikasi |
|---|---|---|---|
| 1 | *Stability* | kg | min 750 |
| 2 | *Marshall Quotient* | kN/mm | 1,9 - 3,0 |
| 3 | *Air Void (VITM)* | % | 3,0 - 5,0 |
| 4 | *Effective Bitument Content* | % | min 6,0 |
| 5 | *Fibre Cellulose Content* | % | 0,3 |
| 6 | *Flow* | mm | 2,0 - 4,0 |
| 7 | *Absorbed Bitument* | % | max 1,5 |
| 8 | *Bitument* | mikron | min 10 mikron |
| 9 | *Void Filled Bitument (VFWA)* | % | min 75 |

Sumber : SNI No. 1737. 1989/F jo. SKBI - 2. 426. 1987, DPU.

## 5.3 Pelaksanaan Pengujian

Tahap pelaksanaan pengujian meliputi beberapa kegiatan sebagai berikut ini.

### 5.3.1 Pembuatan Benda Uji

Berat total campuran agregat dan aspal untuk satu jenis benda uji adalah 1300 gram, yang terdiri dari aspal, agregat kasar, agregat halus, *filler* dan bahan tambah. Benda uji dibuat masing-masing 4 buah. Untuk 5 macam kadar aspal dibuat benda uji sebanyak 5x4 =20 buah benda uji.

Tahap pembuatan benda uji antara lain sebagai berikut ini.

1. Agregat dibersihkan dari kotoran yang menempel dan dikeringkan sampai diperoleh berat tetap pada suhu 105 ± 5°C. Agregat-agregat tersebut kemudian disaring secara kering ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki.
2. Penimbangan untuk setiap fraksi dilakukan agar mendapatkan gradasi agregat ideal pada suatu takaran campuran.
3. Proses pencampuran (*mixing*) dilakukan sebagai berikut :
   a. panci pencampur dipanaskan beserta gradasi agregat rencana sampai suhu 160°C,
   b. agregat kering diaduk dengan 0,3% serat selulosa, agar distribusi serat dapat merata pada suhu 150°C,
   c. aspal AC 60 - 70 panas ditambahkan (agar mencapai tingkat kekentalan rencana) ke campuran agregat, sesuai dengan takaran pada *mix design*, dan
   d. campuran diaduk (*wet mixing*) selama 45 - 50 detik.

4. Proses pemadatan dilakukan sebagai berikut :

a. perlengkapan cetakan benda uji dan bagian muka penumbuk dibersihkan secara cermat dan dipanaskan suhu 93,3°C - 148,9°C,

b. cetakan benda uji ditimbang, tinggi dan diameternya diukur,

c. letakkan selembar kertas saring/ kertas penghisap, sesuai ukuran cetakan, kedalam dasar cetakan,

d. seluruh campuran dimasukkan ke cetakan pada suhu 140°C. Campuran ditusuk-tusuk dengan keras menggunakan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali di bagian tepi dan 10 kali dibagian tengah,

e. pemadatan dilakukan dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali (digunakan untuk lalulintas padat dengan muatan berat) dengan tinggi jatuh 45,7 cm. Palu padat selalu tegak lurus terhadap cetakan selama pemadat dilakukan,

f. plat alas dan leher sambung dilepas kembali dari cetakan benda uji. Cetakan tersebut dibalik, kemudian plat alas dan leher sambung dipasang kembali ke cetakan benda uji yang telah dibalik,

g. penumbukan dilakukan pada permukaan benda uji yang telah dibalik sebanyak 75 kali. Penimbangan dan pengukuran dilakukan kembali setelah plat alas dan leher sambung dilepaskan, dan

h. benda uji dikeluarkan dengan hati-hati dari cetakan dan diletakan di atas permukaan yang rata selama ± 24 jam.

### 5.3.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan antara lain sebagai berikut ini.

1. Sembilan cetakan benda uji lengkap dengan plat atas dan leher sambung.
2. Mesin penumbuk manual maupun elektrik.
3. Alat untuk mengeluarkan benda uji (*ejector*)
4. Alat Marshall lengkap, yaitu :
    a. kepala penekan *(breaking head)* berbentuk lengkung,
    b. cincin penguji (*proving ring*), dan
    c. arloji pengukur alir (*flow*)
5. Oven.
6. Bak perendam (*water bath*) dilengkapi dengan pengatur suhu mulai suhu 20°C - 60°C.
7. Timbangan.
8. Pengukur suhu dari logam (*metal thermometer*)
9. Perlengkapan lain-lain, antara lain :
    a. panci/kuali,
    b. sendok pengaduk dan *spatula*,
    c. kompor atau pemanas (*hot plate*),
    d. kantong plastik, gas elpiji, dan
    e. sarung tangan asbes dan karet.

### 5.3.3 Persiapan Pengujian

Tahap persiapan pengujian antara lain sebagai berikut ini.

1. Benda uji dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel, sebelum dilakukan penimbangan.
2. Setiap benda uji diberi tanda pengenal.
3. Tinggi dan diameter benda uji diukur dengan ketelitian 0,1 mm terhadap alat ukur.
4. Benda uji direndam dalam air selama ± 24 jam pada suhu ruang.
5. Benda uji ditimbang pada kondisi di dalam air. Tidak boleh ada benda uji lain di bawah benda uji yang sedang ditimbang.
6. Benda uji ditimbang dalam keadaan kering permukaan jenuh.

### 5.3.4 Cara Pengujian

Cara Pengujian benda uji dilakukan sebagai berikut ini.

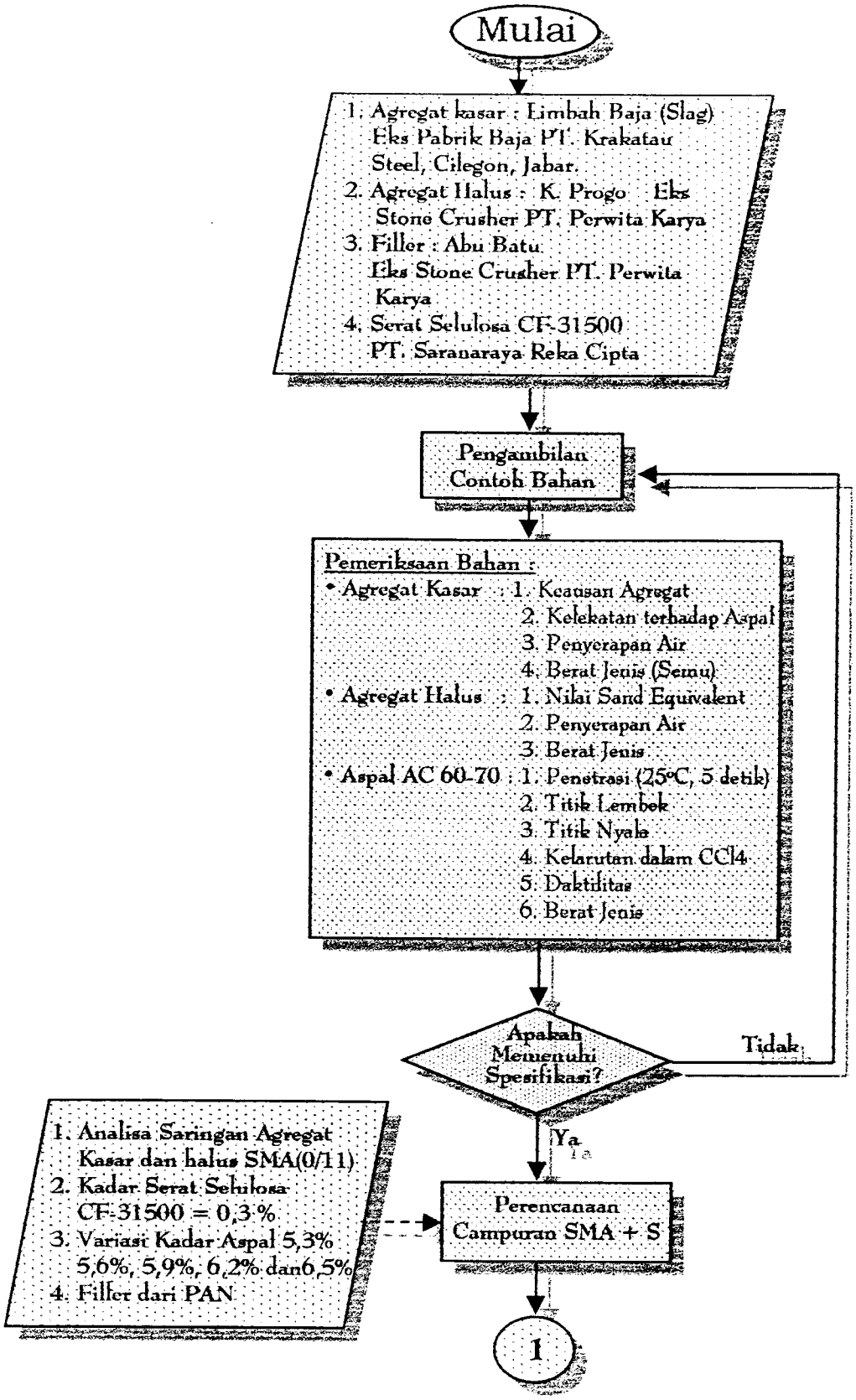
1. Benda uji direndam dalam bak perendam (*water bath*) selama ± 40 menit dengan suhu perendaman 60°C.
2. Kepala penekan alat Marshall dibersihkan dan permukaannya dilumasi dengan *vaseline* agar benda uji mudah dilepaskan. Benda uji diletakkan pada alat Marshall segera setelah benda uji dikeluarkan dari *water bath.*
3. Pembebanan dimulai dengan posisi jarum diatur sehingga menunjukkan angka nol, sementara selubung arloji dipegang kuat terhadap bagian atas kepala penekan.

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. Pembebanan maksimum yang terjadi pada *flow meter* dibaca pada saat itu.

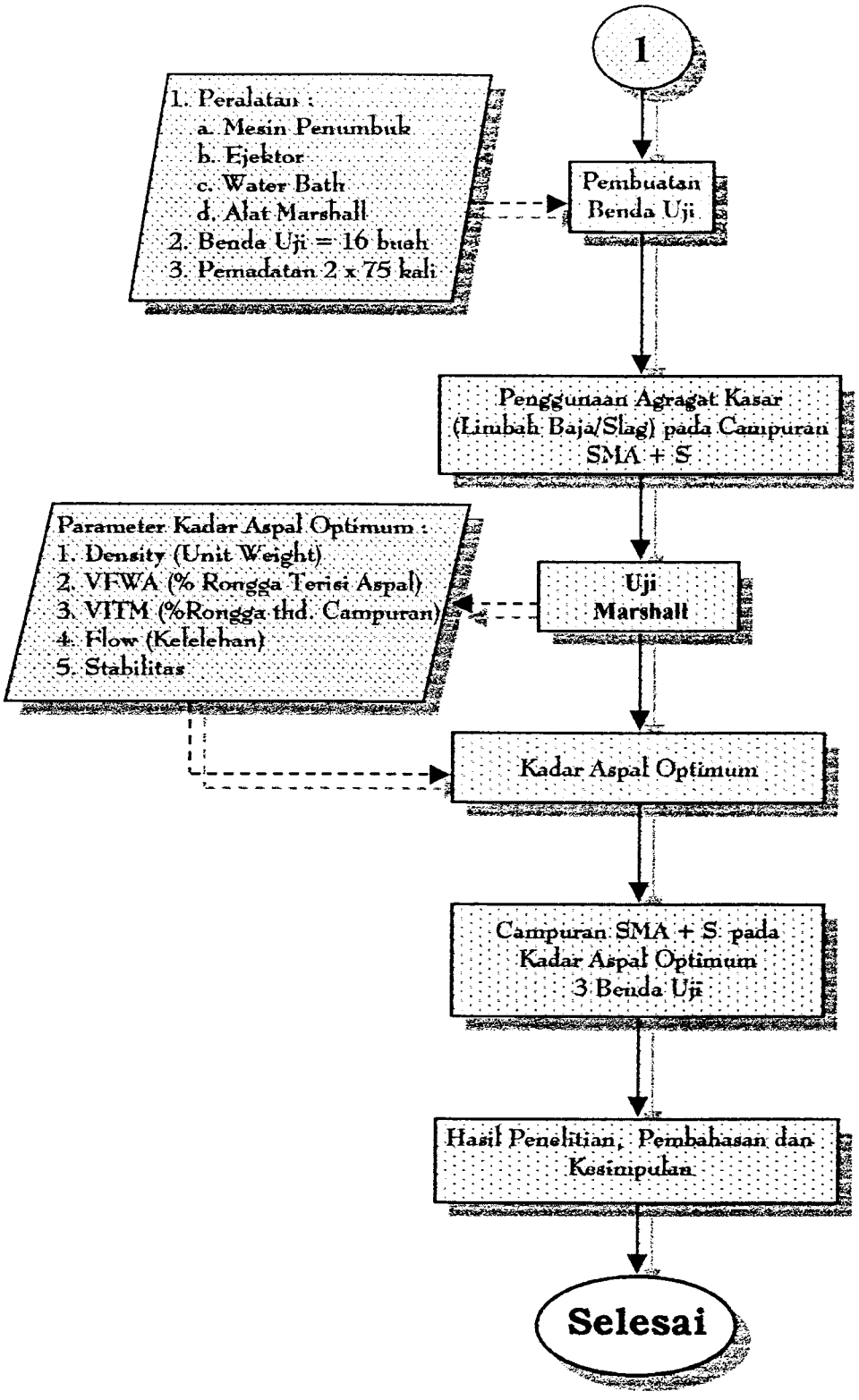
### 5.3.5 Anggapan Dasar

Penelitian ini bertujuan untuk penggunaan limbah baja sebagai agregat kasar terhadap spesifikasi yang disyaratkan untuk campuran *split mastic asphalt* ditambah serat selulosa. Berdasarkan hasil penelitian tersebut bahwa limbah baja jika digunakan sebagai agregat kasar untuk campuran *split mastic asphalt* ditambah dengan serat selulosa (SMA+S) dapat dimanfaatkan. Penelitian tersebut didasarkan pada nilai-nilai *density*, VFWA (*Void Filled With Asphalt*), stabilitas, *flow, Quotient Marshall* dan modulus kekakuan (E).

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini dianggap dalam keadaan standar. Selain itu variasi di dalam pekerjaan pembuatan benda uji dianggap relatif kecil atau dapat diabaikan. Bahan-bahan untuk penelitian ini, seperti agregat dan aspal dianggap memiliki kualitas yang homogen, seperti pada hasil pengujian bahan.




Gambar 5.1 Bagan Alir Penelitian Laboratorium


1
1. Peralatan :
a. Mesin Penumbuk
b. Ejektor
c. Water Bath
d. Alat Marshall
2. Benda Uji = 16 buah
3. Pemadatan 2 x 75 kali
Pembuatan Benda Uji
Penggunaan Agragat Kasar (Limbah Baja/Slag) pada Campuran SMA + S
Parameter Kadar Aspal Optimum :
1. Density (Unit Weight)
2. VFWA (% Rongga Terisi Aspal)
3. VITM (%Rongga thd. Campuran)
4. Flow (Kelelehan)
5. Stabilitas
Uji Marshall
Kadar Aspal Optimum
Campuran SMA + S pada Kadar Aspal Optimum 3 Benda Uji
Hasil Penelitian, Pembahasan dan Kesimpulan
Selesai

# BAB VI

# HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

## 6.1 Hasil Penelitian Laboratorium

### 6.1.1 Hasil Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaaan terhadap bahan-bahan campuran *Split Mastic Asphalt* diberikan pada Tabel 6.1 s.d. 6.3 berikut ini.

Tabel 6.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

| No. | Jenis Pemeriksaan | Syarat *) | Limbah Baja |
|---|---|---|---|
| 1 | Keausan Agregat (Los Angeles) | ≤ 40 % | 11,996 % |
| 2 | Kelekatan terhadap Aspal | ≥ 50 % | 100 % |
| 3 | Penyerapan Air | ≤ 3 % | 1 % |
| 4 | Berat Jenis Semu | ≥ 2,5 | 3,69 |

*) Sumber : SNI. No. 1737. 1989/F jo. SKBI-2.426.1987.

Hasil pemeriksaan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1, 3 dan 5.

Tabel 6.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

| No. | Jenis Pemeriksaan | Syarat *) | Eks. Stone Crusher |
|---|---|---|---|
| 1 | Nilai Sand Equivalent | ≥ 50 % | 70,04 % |
| 2 | Penyerapan Air | ≤ 3 % | 1,42 % |
| 3 | Berat Jenis Semu | ≥ 2,5 | 2,85 |

*) Sumber : SNI. No. 1737. 1989/F jo. SKBI-2.426.1987.

Hasil pemeriksaan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2, dan 4.

Tabel 6.3 Hasil Pemeriksaan Aspal AC 60-70

| No. | Jenis Pemeriksaan | Syarat *) | | Satuan | Hasil |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Min. | Maks. | | |
| 1 | Penetrasi (25°C, 5 detik) | 60 | 79 | 0,1 mm | 61,8 |
| 2 | Titik Lembek | 48 | 58 | °C | 48,25 |
| 3 | Titik Nyala | 200 | - | °C | 345 |
| 4 | Kelarutan dalam CCL4 | 99 | - | % Berat | 99,5 |
| 5 | Daktilitas | 100 | - | Cm | > 165 |
| 6 | Berat Jenis | 1 | - | - | 1,004 |

*) Sumber : SNI. No. 1737. 1989/F jo. SKBI-2.426.1987.

Hasil pemeriksaan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6, 7, 8, 9, 10 dan 11.

### 6.1.2 Hasil Pengujian Benda Uji

Berdasarkan pengujian Marshall diperoleh nilai VITM, *flow*, VFWA dan Stabilitas. Hasil pengujian tersebut diberikan pada Tabel 6.4 berikut ini.

Tabel 6.4 Hasil Uji Marshall pada Campuran SMA+S dengan Agregat Kasar Limbah Baja.

| Kadar Aspal | Kode | Density (gr/cc) | VITM (%) | Flow (mm) | VFWA (%) | Stabilitas (kg) | Marshall Quotient |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5,3 | A | 2,77355 | 5,7856 | 2,54 | 71,6764 | 1616,8 | 561,4173 |
| | B | 2,78149 | 5,516 | 3,048 | 72,6919 | 1519,02 | 433,3989 |
| | C | 2,77559 | 5,7161 | 2,794 | 71,936 | 1835 | 574,4452 |
| | D | 2,78078 | 5,5401 | 1,778 | 72,6004 | 2021,46 | 991,5636 |
| 5,6 | A | 2,72669 | 6,8105 | 2,032 | 69,0701 | 1120,04 | 500 |
| | B | 2,82348 | 3,5025 | 2,794 | 81,8059 | 1822,2 | 578,3822 |
| | C | 2,76923 | 5,3565 | 3,048 | 74,2506 | 1390,65 | 409,1207 |
| | D | 2,80879 | 4,0045 | 3,048 | 79,6429 | 2060,96 | 583,0052 |
| 5,9 | A | 2,7663 | 4,8814 | 3,429 | 76,9067 | 1789,24 | 453,7766 |
| | B | 2,79154 | 4,0136 | 2,794 | 80,3428 | 1694,27 | 524,3379 |
| | C | 2,78256 | 4,3224 | 3,302 | 79,0929 | 1422,26 | 378,8613 |
| | D | 2,76185 | 5,0344 | 3,81 | 76,3248 | 1615,91 | 377,1654 |

Tabel 6.4 Lanjutan

| Kadar Aspal | Kode | Density (gr/cc) | VITM (%) | Flow (mm) | VFWA (%) | Stabilitas (kg) | Marshall Quotient |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6,2 | A | 2,78357 | 3,7089 | 3,048 | 82,2528 | 1494,87 | 426,5092 |
| | B | 2,78416 | 3,6884 | 3,302 | 82,3367 | 1458,8 | 383,1012 |
| | C | 2,78491 | 3,6627 | 3,048 | 82,4418 | 1373,46 | 390,7480 |
| | D | 2,79434 | 3,3363 | 2,794 | 83,7982 | 1678,23 | 517,8955 |
| 6,5 | A | 2,7694 | 3,6234 | 4,572 | 83,1881 | 1430,03 | 269,6850 |
| | B | 2,75429 | 4,1491 | 5,334 | 81,124 | 1261,98 | 207,5366 |
| | C | 2,74573 | 4,4472 | 3,81 | 79,9888 | 1065,12 | 247,2441 |

Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 17.

### 6.1.3 Modulus Kekakuan

#### 6.1.3.1 Modulus Kekakuan Bitumen (S bit)

Pada pehitungan modulus kekakuan bitumen (*bitument stiffness*) dengan nomogram yang dikembangkan oleh Van der Poel dan rumus yang diturunkan oleh Ullidz. Penentuan nilai kekakuan aspal ini temperatur yang digunakan adalah temperatur perkerasan rata-rata di Indonesia yaitu $27^0$ C. Panjang jejak roda diambil 25 cm, dengan asumsi kecepatan kendaraan (V) = 50 km/jam.

Contoh perhitungan :

**a. <u>Modulus kekakuan bitumen (S bit) menggunakan nomogram Van der Poel</u>**

t = waktu pembebanan (detik)

V = kecepatan kendaraan (km/jam), diambil 50 km/jam

l = panjang jejak roda (cm), diambil 25 cm

T = temperatur rencana perkerasan ($^0$ C), diambil $27^0$ C

1. $t = \frac{l}{V}$ (detik)

$$= \frac{0{,}25 \cdot 3600}{50000}$$

= 0,018 detik

2. Titik lembek aspal (Trb) = 48,25 $^0$ C

3. Penetrasi aspal pada suhu 25$^0$ C (Pi) = 61,8 mm

4. Suhu antara (Trb – T) = 48,25$^0$ C - 27$^0$ C = 21,25$^0$ C

5. Penetrasi Indeks (Pir) :

$$Pir = \frac{27 \log Pi - 21{,}65}{76{,}35 \log Pi - 232{,}82}$$

$$= \frac{27 \log 61{,}8 - 21{,}65}{76{,}35 \log 61{,}8 - 232{,}82}$$

= - 0,278

Dari data no. (1), (4) dan (5) dengan nomogram Van der Poel (Gambar 2.1), maka didapat nilai kekakuan bitumen (S bit) sebesar = 3,90 x $10^6$ N/m$^2$.

**b. Modulus kekakuan (S bit) menggunakan formula Ullidz**

Penetrasi bitumen dihitung dengan rumus :

Pr = 0,65 . Pi

= 0,65 . 61,8

= 40,17 mm

Penetrasi index setelah dihamparkan dihitung dengan rumus:

$$PIr = \frac{27 \log Pi - 21{,}65}{76{,}35 \log Pi - 232{,}82}$$

$$= \frac{27 \log 61,8 - 21,65}{76,35 \log 61,8 - 232,82}$$

$= - 0,278$

Temperatur titik lembek dari bitumen dalam kondisi dihamparkan dihitung dengan rumus :

$Spr = 94,8 - 26,35 \log Pr$

$= 94,8 - 26,35 \log 40,17$

$= 52,54 \ ^{\circ}C$

Kekakuan bitumen dengan menggunakan persamaan Ullidz adalah :

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

$= 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-(-0,278)} \times (52,54 - 27)^5$

$= 4,017 \times 10^6 \ N/m^2$

Dari kedua cara tersebut di atas untuk mencari nilai kekakuan bitumen, baik yang menggunakan nomogram Van der Poel maupun dengan rumus Ullidz didapat nilai yang tidak begitu jauh berbada.

### 6.1.3.2 Modulus Kekakuan Campuran (S mix)

Pada penelitian ini dicari nilai modulus kekakuan campuran dengan menggunakan nomogram dari Shell dan rumus Heukelomp dan Klomp.

Contoh perhitungan

**a. <u>Modulus kekakuan campuran menggunakan nomogram Shell</u>**

Sebagai contoh diambil nilai S bit (nomogran Van der Poel) = 4,017 x $10^6$ N/$m^2$

Kadar aspal optimum (Mb) = 5,9%

Kadar agregat (Ma) = 100 – 5,9 = 94,1 %

Berat jenis agregat (Ga) = 3,3008

Berat jenis bitumen (Gb) = 1,004

Density ($\tau m$) = 2,789 kg/$m^3$

Kepadatan maksimum yang terjadi adalah :

$$\tau \text{ max} = \frac{100 \times \tau w}{(Mb/Gb) + (Ma/Ga)}$$

$$= \frac{100 \times 1}{(5,9/1,004) + (94,1/3,3008)}$$

= 2,908 kg/$m^3$.

Prosentase pori dalam campuran yang terjadi adalah :

$$Vv = \frac{(\tau \text{ max} - \tau m) \times 100}{\tau \text{ max}}$$

$$= \frac{(2,908 - 2,789) \times 100}{2,908}$$

= 4,106 %.

Prosentase volume bitumen yang terjadi adalah :

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

$$= \frac{(100 - 4{,}106) \,.\, (5{,}9/1{,}004)}{(5{,}9/1{,}004) + (94{,}1/3{,}3008)}$$

$$= 16{,}389\ \%.$$

Prosentase volume agregat yang terjadi adalah :

$$Vg = 100 - Vb - Vv$$

$$= 100 - 16{,}389 - 4{,}106$$

$$= 79{,}504\ \%.$$

Dari perhitungan di atas selanjutnya dicari nilai kekakuan campuran dari nomogram Shell didapat S mix = $6{,}5 \times 10^8$ N/m$^2$.

**b. <u>Modulus kekakuan campuran menggunakan rumus Heukelomp dan Klomp</u>**

$Vb = 16{,}389\ \%$

$Vv = 4{,}106\ \%$

$Vg = 79{,}504\ \%$

Konsentrasi volume agregat yang dihasilkan adalah :

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

$$= \frac{79{,}504}{79{,}504 + 16{,}389}$$

$= 0,829$

Karena Vv > 3 % maka dicari harga modifikasi volume rongga agregat (Cv') :

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

$$= \frac{0,829}{1 + 0,01(4,106 - 3)}$$

$= 0,820$

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

Untuk itu dapat dicari konsentrasi volume bitumen adalah :

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

$$= \frac{16,389}{16,389 + 79,504}$$

$= 0,171$

Jadi $Cb > 2/3(1 - 0,820) = 0,12$

$n = 0,83 \log [(4 \times 10^{10}) / (S\ bit)]$

$= 0,83 \log [(4 \times 10^{10}) / (4,017 \times 10^{6})]$

$= 3,3105$

Modulus kekakuan campuran yang terjadi adalah :

$S\ mix = S\ bit\ [1 + (2,5/n) + (Cv'/(1 - Cv'))]^{n}$

$= 4,107 \times 10^{6}\ [1 + (2,5/3,3105) \times (0,820/(1 - 0,820))]^{3,3105}$

$= 5,712 \times 10^{8}\ N/m^{2}$

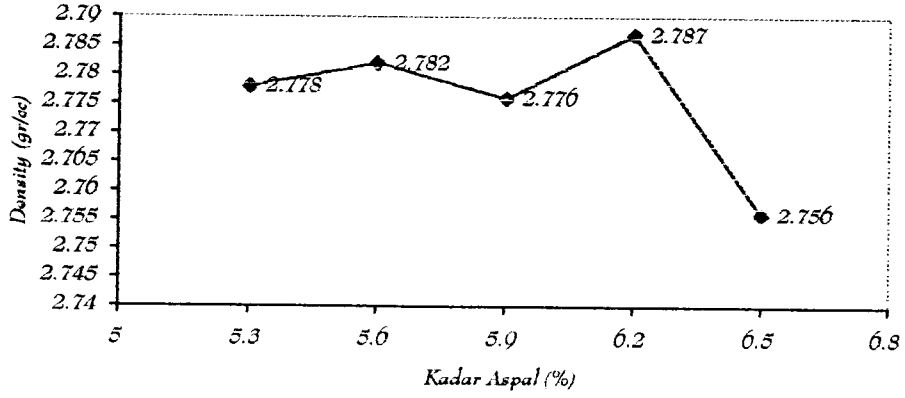
Dari hasil kedua hitungan di atas baik hitungan dengan nomogram Shell maupun dengan rumus Heukelomp dan Klomp didapat hasil yang tidak jauh berbeda.

## 6.2 Pembahasan

### 6.2.1 Tinjauan terhadap Kepadatan (*Density*)

Nilai kepadatan campuran (*density*) menunjukkan derajat kepadatan suatu campuran yang dipadatkan. Campuran dengan *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran ber-*density* rendah. Nilai *density* dipengaruhi oleh kualitas bahan dan cara pemadatan campuran tersebut. Campuran akan memiliki kepadatan tinggi apabila bentuk agregat tidak beraturan, porositas agregat rendah, kadar aspal cukup untuk menyelimuti permukaan agregat, pemadatan pada suhu tinggi (viskosotas aspal rendah) dan cara pengerjaan yang benar.

Nilai *density* yang dihasilkan pada penelitian ini diberikan pada Gambar 6.1 berikut ini.




Gambar 6.1 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Density*

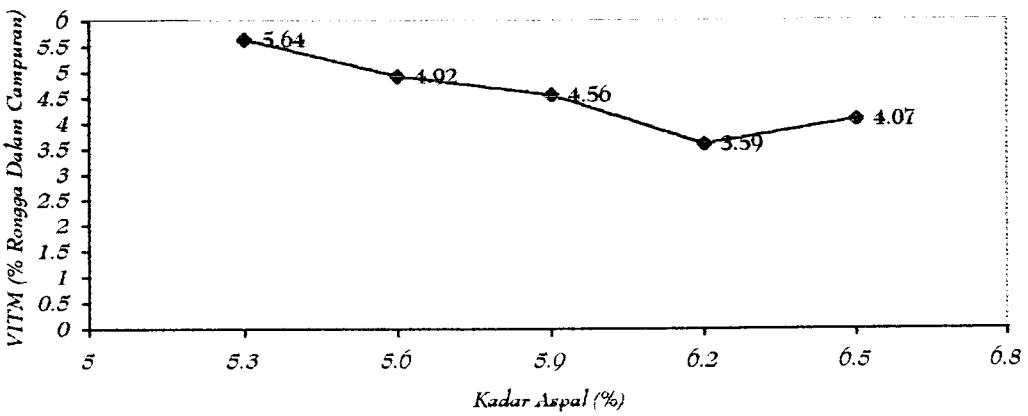
Berdasarkan Gambar 6.1 tersebut, terlihat bahwa nilai *density* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal, sampai batas tertentu nilai *density* kembali menurun seiring bertambahnya kadar aspal.

Mengacu pada Tabel 6.1 dan Tabel 6.2 tentang penyerapan air, nilai penyerapan air agregat kasarnya adalah 1% dan agregat halusnya adalah 1,42%. Angka ini menunjukan bahwa porositas kedua agregat tersebut relatif kecil, sehingga *density* campuran akan menghasilkan nilai yang tinggi.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan limbah baja sebagai agregat kasar sangat besar pengaruhnya dibandingkan dengan menggunakan batu biasa, yang mempunyai nilai rata-rata 2,36 gr/cc (Indra L dan Suharjono, TA-1997)[ 6 ] pada campuran SMA + S ini.

### 6.2.2 Tinjauan terhadap VITM (*Void In The Mix*)

Volume rongga dalam campuran (VITM) dinyatakan dalam persen rongga dalam campuran total. Nilai VITM dapat dilihat pada Gambar 6.2 sebagai berikut ini.




Gambar 6.2 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan VITM.

Berdasarkan Gambar 6.2 di atas terlihat bahwa nilai VITM berkurang seiring dengan meningkatnya kadar aspal dalam campuran.

Persentase rongga yang disyaratkan adalah 3 - 5%. Lapis keras yang mempunyai VITM kurang dari 3% mudah terjadi *bleeding*. Akibat tingginya temperatur perkerasan, aspal akan mencair dan pada saat perkerasan menerima beban, aspal mengalir di antara rongga agregat. Sebaliknya nilai VITM lebih besar dari 5% menunjukkan banyak terjadi rongga dalam campuran. Campuran tidak rapat dan tidak kedap terhadap udara dan air. Aspal mudah teroksidasi sehingga ikatan agregat terhadap aspal menjadi lemah. Aspal tidak lagi menjadi bahan pengikat, sehingga agregat akan saling lepas.

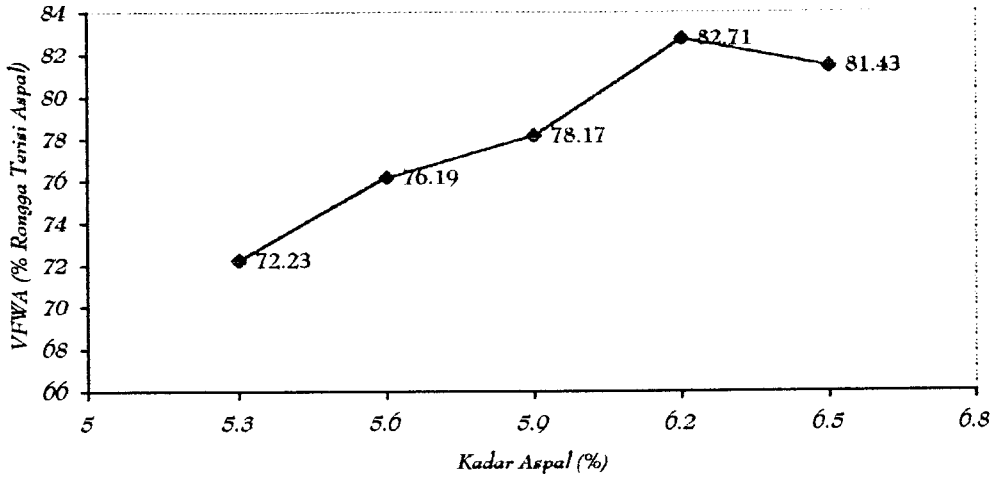
Limbah baja hasil *stone crusher* memiliki nilai kelekatan terhadap aspal 100%, sehingga selimut aspal relatif tipis dan sudah dapat saling mengikat. Hal itu juga menyebabkan keadaan rongga udara yang terbentuk pada campuran cukup besar.

Dari hasil tersebut terlihat bahwa VITM campuran antara limbah baja dan batu biasa untuk agregat kasarnya mempunyai nilai yang hampir sama. (Indra L dan Suharjono, TA-1997)[ 6 ].

### 6.2.3 Tinjauan terhadap VFWA (*Void Filled With Asphalt*)

Nilai VFWA menunjukkan persentase rongga yang terisi aspal. Nilai VFWA menentukan keawetan suatu perkerasan. Nilai VFWA dipengaruhi oleh kadar aspal yang digunakan. Jika kadar aspal terlalu banyak maka rongga udara yang tersisa semakin kecil.

Nilai VFWA yang dihasilkan pada penelitian ini diberikan pada Gambar 6.3 sebagai berikut ini.




Gambar 6.3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan VFWA

Berdasarkan Gambar 6.3 di atas terlihat bahwa nilai VFWA meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran. Bertambahnya kadar aspal dalam campuran, menyebabkan rongga antar agregat semakin terisi oleh aspal.

Nilai rata-rata VFWA campuran dengan agregat kasar menggunakan limbah baja hasil *stone crusher* adalah 77,9252 % (syarat VFWA > 75%). Nilai tersebut dicapai pada kadar aspal optimum 5,9%. Gambar 6.3 tersebut menunjukkan juga bahwa nilai VFWA campuran dengan agregat kasar menggunakan limbah baja memenuhi persyaratan ( > 75%) pada variasi kadar aspal yang digunakan, yaitu 5,6%, 5,9%, 6,2%, 6,5%.

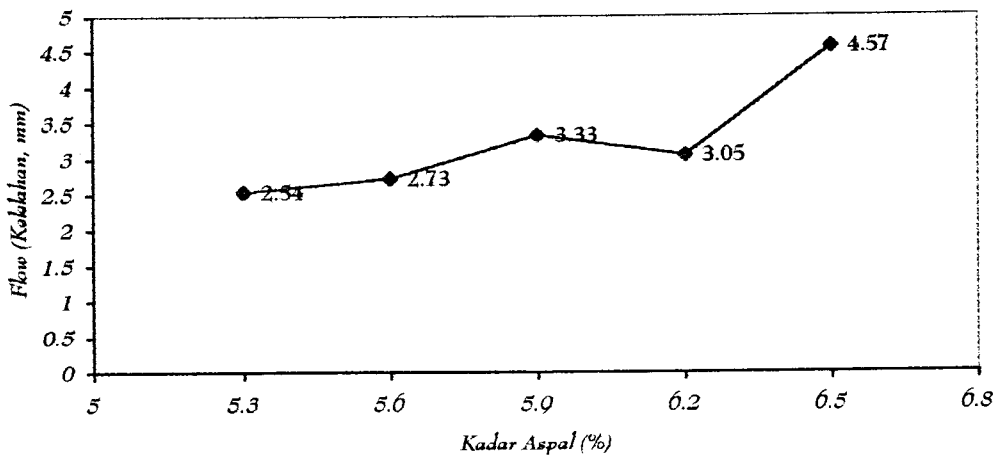
Nilai VFWA berhubungan erat dengan nilai VITM. Dengan bertambahnya kadar aspal pada campuran seperti pada bagian 6.2.2 Tinjauan terhadap VITM

menunjukkan bahwa nilai VITM menurun. Sebaliknya dengan bertambahnya kadar aspal pada campuran, nilai VFWA semakin besar. Hal tersebut juga terlihat pada campuran yang menggunakan batu biasa dan menghasilkan nilai yang hampir sama. (Indra L dan Suharjono, TA-1997)[ 6 ].

### 6.2.4 Tinjauan terhadap Flow

Kelelehan (*flow*) menunjukkan besarnya deformasi campuran panas benda uji beton aspal akibat beban yang bekerja padanya. Campuran yang memiliki nilai *flow* sangat rendah dan nilai stabilitas *Marshall* yang tinggi menunjukkan perkerasan tersebut bersifat kaku. Sebaliknya nilai *flow* yang tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk akibat beban lalu lintas.

Nilai flow yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.4 sebagai berikut ini.




Gambar 6.4 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Flow*

Berdasarkan Gambar 6.4 di atas terlihat bahwa nilai *flow* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai *flow* pada campuran dengan agregat kasar menggunakan limbah baja memenuhi spesifikasi (2 s.d. 4 mm) pada kadar aspal 5,3%, 5,6%, 5,9% dan 6,2%.

Pembebanan terhadap benda uji menimbulkan tekanan pada susunan agregat. Tekanan pada susunan agregat menyebabkan terjadinya gerakan antar agregat dan menimbulkan deformasi. Gerakan agregat dipengaruhi oleh adanya lapisan aspal yang menyeliputi agregat itu sendiri. Semakin tebal lapisan aspal yang menyelimuti permukaan agregat semakin besar deformasi yang terjadi.

Melihat hasil penelitian tersebut di atas dapat dikatakan bahwa prosentase aspal yang digunakan pada campuran relatif lebih kecil, karena dengan prosentase aspal tersebut dapat dihasilkan nilai *flow* yang memenuhi spesifikasi. Dengan kata lain, nilai flow yang semakin tinggi menyebabkan adanya perubahan bentuk akibat beban lalu lintas, sehingga digunakan aspal dengan prosentasi yang relatif kecil, yaitu kadar aspal di bawah 6,5 %.

Dibandingkan dengan batu biasa, menggunakan limbah baja memiliki nilai yang hampir sama (Indra L dan Suharjono, TA-1997)[ 6 ].

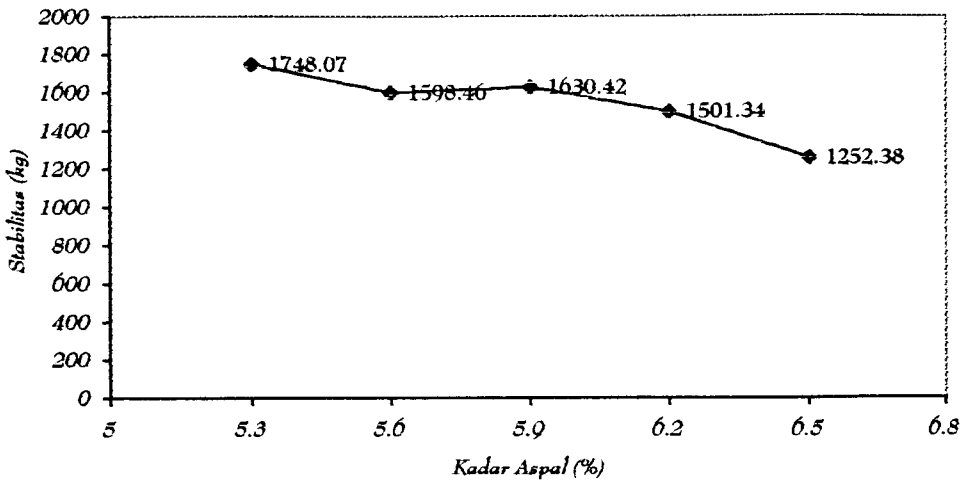
### 6.2.5 Tinjauan terhadap Stabilitas

Stabilitas menunjukkan kemampuan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalulintas. Deformasi yang terjadi berbentuk gelombang atau alur.

Stabilitas pada pengujian Marshall adalah kemampuan suatu campuran *(Split*

*Mastic Asphalt)* untuk menerima beban hingga terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam satuan kilogram (kg).

Nilai stabilitas yang dihasilkan pada penelitian ini diberikan pada Gambar 6.5 sebagai berikut ini.




Gambar 6.5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas.

Berdasarkan Gambar 6.5 di atas terlihat bahwa nilai stabilitas menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran dengan agregat kasar menggunakan limbah baja pada kadar aspal otimum 5,9% adalah 1607,45 kg dan apabila digunakan batu biasa mempunyai nilai stabilitas rata-rata masing-masing hampir sama. (Indra L dan Suharjono, TA-1997)[ 6 ].

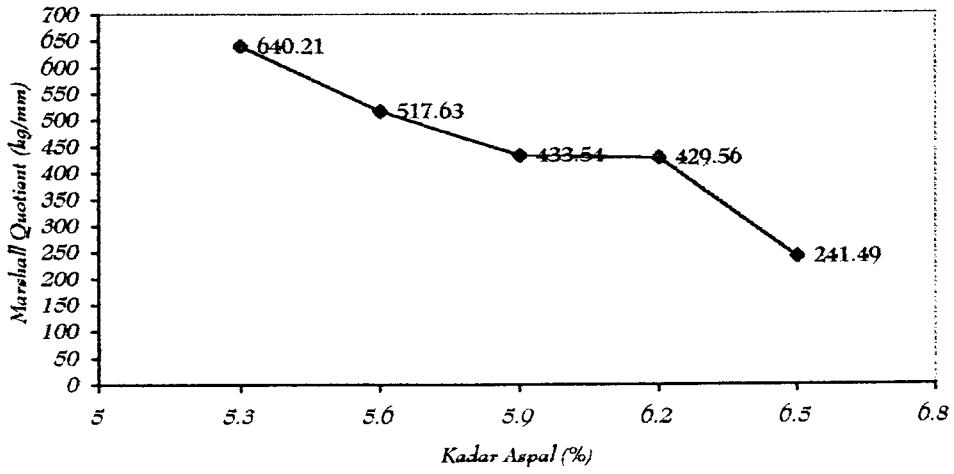
Beberapa hal yang mempengaruhi nilai stabilitas terdiri atas ketahanan terhadap gesekan antar agregat yang ditentukan oleh bentuk permukaan agregat, kemampuan saling mengunci (*interlocking)* antar agregat ditentukan oleh bentuk agregat, ikatan aspal pada agregat dan kepadatan (*density*) campuran.

Agregat kasar (limbah baja) memiliki bentuk tidak beraturan dan memiliki tekstur permukaan halus. Tekstur permukaan agregat tersebut akan mengurangi kemampuan gesekan antar agregat.

### 6.2.6 Tinjauan terhadap MQ (*Marshall Quotient*)

*Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil bagi dari stabilitas dengan kelelehan (*flow*) yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan suatu campuran. Stabilitas tinggi yang disertai dengan kelelehan (*flow*) rendah akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku, sehingga menghasilkan campuran yang kaku dan getas. Sebaliknya stabilitas yang rendah dengan kelelehan (*flow*) yang tinggi menjadikan campuran terlalu plastis berakibat perkerasan akan mengalami deformasi yang besar bila menerima beban lalu lintas.

Nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan pada penelitian ini ditunjukan pada Gambar 6.6 berikut ini.




Gambar 6.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient*

Berdasarkan Gambar 6.6 terlihat bahwa nilai *Marshall Quotient* menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal.

Nilai *Marshall Quotient* berdasarkan speifikasi teknis SMA dari *Heavy Loaded Road Improvement Project* (Bina Marga) adalah 190 - 300 kg/mm. Sedangkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran dengan agregat kasar menggunakan limbah baja pada kadar aspal optimum 5,9% memiliki nilai 375.165 kg/mm.

Tingginya nilai *Marshall Quotient* yang dicapai pada penelitian ini (>300 kg/mm) dipengaruhi oleh nilai stabilitas yang dicapai, yaitu antara 1120 - 2061 kg. Nilai tersebut memang lebih besar dari 750 kg, sebagaimana nilai stabilitas yang disyaratkan. Sedangkan nilai kelelehan *(flow)* yang disyaratkan berada antara 2 - 4 mm. Dengan kata lain campuran tersebut juga memiliki nilai kekakuan yang cukup tinggi.

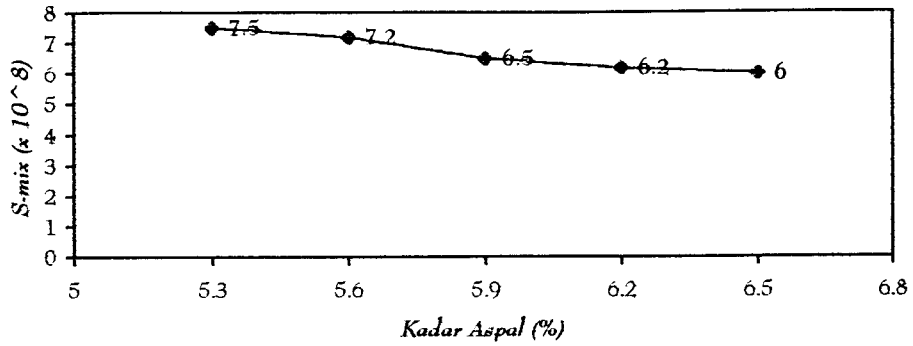
Dari hasil tersebut terlihat bahwa *Marshall Quotient* campuran menggunakan limbah baja mempunyai nilai yang sedikit lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan batu biasa untuk agregat kasarnya sama. (Indra L dan Suharjono, TA-1997)[ 6 ].

### 6.2.7 Tinjauan Terhadap Modulus Kekakuan

Modulus kekakuan adalah parameter yang menunjukkan tingkat pelayanan untuk suatu campuran. Nilai modulus kekakuan dapat dilihat pada Tabel 6.5 dan Gambar 6.7 berikut ini.

Tabel 6.5 Nilai Modulus Kekakuan untuk masing-masing Kadar Aspal

| No. | Kadar Aspal | Berat isi gr/cc | τ maks | Vv | Vb | Vg | S bit x $10^6$ | S mix x $10^8$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 5,3 % | 2,778 | 2,945 | 5,671 | 14,638 | 79,691 | 4,017 | 7,5 |
| 2. | 5,6 % | 2,782 | 2,926 | 4,921 | 15,518 | 79,561 | 4,017 | 7,2 |
| 3. | 5,9 % | 2,776 | 2,908 | 4,539 | 16,314 | 79,147 | 4,017 | 6,5 |
| 4. | 6,2 % | 2,787 | 2,891 | 3,597 | 17,209 | 79,194 | 4,017 | 6,2 |
| 5. | 6,5 % | 2,756 | 2,874 | 4,106 | 17,840 | 78,054 | 4,017 | 6 |




Gambar 6.7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Modulus Kekakuan

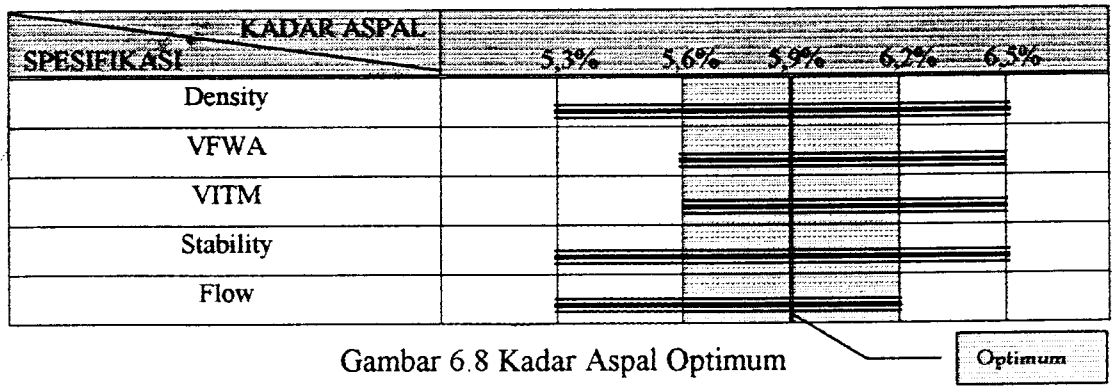
Berdasarkan Gambar 6.7 di atas terlihat bahwa nilai modulus kekakuan campuran berkurang seiring dengan meningkatnya kadar aspal dalam campuran. Nilai modulus kekakuan campuran dipengaruhi oleh perubahan nilai modulus kekakuan bitumen pada masing-masing kadar aspal.

Pada penelitian ini penggunaan limbah baja sebagai agregat kasar mempunyai nilai modulus kekakuan campuran yang hampir sama jika dibandingkan dengan menggunakan batu pecah biasa. (Indra L dan Suharjono, TA-1997)[ 6 ].

### 6.2.8 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agar dapat mencapai persyaratan berdasarkan *density*, VITM, *flow*, VFWA dan stabilitas.

Penentuan kadar aspal otimum pada campuran menggunakan metoda Bina Marga. Nilai kadar aspal optimum diperoleh dengan cara sebagai berikut ini. Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi berdasarkan nilai *density*, VITM (3%-5%), flow (2mm-4mm), VFWA (>75%) dan stabilitas (>750 kg) diplotkan pada Tabel *spec*-kadar aspal. Nilai-nilai tersebut diambil dari grafik pada Gambar 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 dan 6.5. Berdasarkan garis yang telah diplotkan pada Tabel *spec*-kadar aspal, dicari batas terdalam dari kanan maupun dari kiri tabel tersebut. Nilai tengah di antara kedua batas tersebut merupakan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum yang dihasilkan pada penelitian ini diberikan pada Gambar 6.8 sebagai berikut ini.




Gambar 6.8 Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 6.8 terlihat bahwa kadar aspal optimum untuk campuran dicapai pada 5,9%. Kadar aspal optimum yang telah dicapai pada penelitian ini adalah

kadar aspal terhadap campuran total, sehingga kadar aspal optimum ini merupakan kadar aspal disain pada campuran panas.

Kadar aspal optimum yang telah didapatkan ini menjadi acuan disain campuran panas yang memenuhi nilai parameter Marshall.

Tabel. 6.6 Tabel Hasil Uji Marshall pada Campuran SMA+S dengan Agregat Kasar menggunakan Limbah Baja pada Kadar Aspal Optimum 5,9%

| Kadar Aspal | Kode | Density (gr/cc) | VITM (%) | Flow (mm) | VFWA (%) | Stabilitas (kg) | Marshall Quotient |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5,9% | A | 2,79085 | 4,03738 | 3,048 | 80,2455 | 1369,5309 | 390,748 |
| | B | 2,78355 | 4,28838 | 4,318 | 79,2289 | 1790,9196 | 359,657 |
| | C | 2,79154 | 4,01363 | 3,81 | 80,3428 | 1661,8905 | 377,165 |

Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 18.

# BAB VII

# KESIMPULAN DAN SARAN

## 7.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa hasil penelitian dan perhitungan dari karakteristik campuran SMA + S dengan agregat kasar menggunakan limbah baja maka didapat kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Nilai kelekatan terhadap aspal yang dimiliki limbah baja 100 %, penyerapan air 1 % dan keausan 11,996 % memiliki nilai yang lebih menguntungkan daripada menggunakan batu pecah biasa, jika di gunakan pada daerah yang berair (lembek).
2. Kepadatan campuran (*density*) dengan agregat kasar menggunakan limbah baja menghasilkan nilai yang tinggi dibandingkan dengan menggunakan batu pecah biasa.
3. Persentase rongga yang dihasilkan pada campuran tersebut kecuali pada kadar aspal 5,3 % dengan nilai masing-masing (4,92 %, 4,56 %, 3,59 % dan 4,07 %) dapat memenuhi spesifikasi Bina Marga (3 s.d. 5 %). Hal tersebut disebabkan oleh agregat kasar yang menggunakan limbah baja hasil *stone*

*crusher* memiliki bentuk yang tidak beraturan, sehingga luas permukaan yang harus terselimuti oleh aspal menjadi lebih besar.

4. Persentase rongga terisi aspal menghasilkan nilai yang dapat memenuhi spesifikasi Bina Marga (>75%) untuk masing-masing kadar aspal, kecuali pada benda uji yang mempunyai kadar aspal 5,3 %. Hal tersebut disebabkan oleh kadar aspal yang digunakan terlalu kecil dan dengan kadar aspal yang kecil agregat telah terselimuti untuk saling mengikat, namun rongga yang terisi oleh aspal menjadi kurang.
5. Stabilitas dari benda uji dengan kadar aspal 5,3 % (1656,93 kg), 5,6 % (1757,93 kg), 5,9 % (1630,42 kg), 6,2 % (1501,34 kg) dan 6,5 % (1252,19 kg) dengan nilai *flow* masing-masing (2,54 mm, 2,7306 mm, 3,048 mm, 3,1327 mm dan 4,265 mm) kecuali nilai *flow* dengan kadar aspal 6,5 %, secara umum menunjukkan bahwa penggunaan limbah baja sebagai agregat kasar memenuhi spesifikasi (SMA + S , Bina Marga).
6. Nilai *Marshall Quotient* yang didapat pada penelitian ini mencapai nilai diatas spesifikasi Bina Marga (300 kg/mm), hal itu disebabkan oleh nilai stabilitas yaitu antara 1065,12 kg – 2021,456 kg dan nilai *flow* yaitu antara 2 mm – 4 mm.
7. Berat jenis yang dimiliki limbah baja lebih besar dibandingkan batu pecah biasa. Hal tersebut mengakibatkan volume campuran menggunakan limbah baja lebih kecil daripada menggunakan batu pecah biasa pada berat yang

sama. Hal tersebut juga mengakibatkan penggunaan prosentase aspal yang lebih sedikit (5,9 %, optimum) bahkan kurang dari spesifikasi (6 % - 7,1 %).

8. Limbah baja dapat digunakan sebagai alternatif agregat pada campuran dan lebih ekonomis jika digunakan di daerah dekat lokasi pabrik (Cilegon, Jawa Barat).

## 7.2 Saran-saran

Berdasarkan hasil-hasil pada penelitian mengenai penggunaan material limbah baja sebagai agregat kasar pada campuran *Split Mastic Aspahalt* ditambah serat selulosa ini, maka ada beberapa hal yang perlu disampaikan antara lain sebagai berikut ini.

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai topik ini untuk mendapatkan data karakteristik campuran (dengan menggunakan limbah baja) yang lebih banyak dan akurat. Penelitian lanjutan tersebut misalnya penggunaan variasi penetrasi aspal yang digunakan, perencanaan tebal lapis perkerasan, proporsi agregat, pengukuran workabilitas campuran dan sifat kimia dari limbah tersebut.
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai variasi penggunaan *filler* untuk meningkatkan kepadatan, kekuatan dan karakteristik campuran.
3. Perlu dilakukan penelitian penggunaan limbah baja untuk jenis campuran lainnya. Misalnya jenis campuran AC, HRS, ATB dan lain sebagainya.

4. Perlu dilakukan studi kelayakan untuk menentukan nilai ekonomis dari penggunaan limbah baja ini dalam bahan perkerasan dan pemanfaatannya sebagai limbah industri.

# DAFTAR PUSTAKA


1. *Arnold J. Hoiberg*, **Bituminous Materials Asphalts, Tars and Pitches**, Volume II : Asphalt Part One, Interscience Publishers, 1965.

2. *Asphalt Institute*, **Asphalt Technology and Construction Practices**, Educational Series No.1 (ES-1) 2 nd edition, January 1983.

3. *D. U. Sudarsono*, **Konstruksi Jalan Raya**, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta, 1987.

4. *D. U. Sudarsono*, **Rencana Campuran (Mix Design)**, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta, 1985.

5. *E. J. Yoder and Matthew W. Witczak*, **Principles of Pavement Design**, John Wiley & Sons, Inc., 1959.

6. *Indra L dan Suharjono*, **Tugas Akhir Penelitian Laboratorium Perbandingan Penggunaan Agregat Halus Kali Krasak dan Agregat Halus Kali Progo Hasil Stone Crusher pada Campuran Split Mastic Asphalt Ditambah Serat Selulosa,** Yogyakarta, 1997.

7. *Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan*, Universitas Islam Indonesia, **Panduan Praktikum Jalan Raya IV**, Yogyakarta, 1984.

8. *Robert N. Hunter*, **Bituminous Mixtures in Road Construction,** February 1994.

9. *SHELL*, **Bitumen Testing,** Laboratorium Amsterdam,

10. *Silvia Sukirman*, **Perkerasan Lentur Jalan Raya**, Bandung,1992.

11. *Suprapto Totomiharjo, Ir, Msc*, **Bahan dan Struktur Jalan Raya,** Biro Penerbit HMTS-UGM, Yogyakarta, 1995.

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


## PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (ABRASI TEST)

## AASTHO T 96 – 77

Contoh dari : PT. Krakatau Steel, Cilegon, Jawa Barat

Jenis Agregat : Limbah Baja (*Slag*)

Diuji Tgl. : 24 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

| SARINGAN | | BENDA UJI | |
|---|---|---|---|
| JENIS GRADASI | | | |
| 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 (3/4") | | |
| 19,0 mm (3/4") | 12,5 mm (0,5 ") | 2500 gr | |
| 12,5 mm (0,5 ") | 9,50 mm (3/8") | 2500 gr | |
| 9,50 mm (3/8") | 6,30 mm (1/2") | | |
| 6,30 mm (1/2") | 4,75 mm (No. 4) | | |
| 4,75 mm (No. 4) | 2,36 mm (No. 8) | | |
| Jumlah benda uji (A) | | 5000 gr | |
| Jumlah tertahan di sieve 12 (B) | | 4400,2 gr | |
| Keausan = $\frac{(A-B)}{A}$ x 100 % | | 11,996 % | |

Yogyakarta, 24 Maret 1997

FTSP LAB. JALAN RAYA

Sukamto

Catatan :

Agregat kasar digunakan Limbah Baja tertahan saringan 7/16" (11,20 mm), 5/16 " (8,00 mm) dan No. 4, Agregat halus digunakan dari PT. Perwita Karya hasil *stone crusher* tertahan saringan No. 10, No. 25, No. 60 dan No. 170, sedang untuk *filler* digunakan abu batu (lolos saringan No. 170/ PAN).

# LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


## PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS
## AASHTO T 84 – 74 ; ASTM C – 128 -68

Contoh dari : PT. Perwita Karya
Jenis Agregat : Agregat halus eks. *Stone crusher*
Diuji Tgl. : 17 Maret 1997
Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :
1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :
Sukamto

| KETERANGAN | BENDA UJI | |
|---|---|---|
| | I | II |
| Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (SSD) | 500 gr. | |
| Berat piknometer + air (B) | 662 gr. | |
| Berat piknometer + air + benda uji (BT) | 982 gr | |
| Benda uji kering ovem (BK) | 493 gr. | |
| Berat Jenis = $\frac{BK}{(B + 500 - BT)}$ | 2,74 | |
| Berat SSD = $\frac{500}{(B + 500 - BT)}$ | 2,78 | |
| BJ Semu = $\frac{BK}{(B + BK - BT)}$ | 2,85 | |
| Berat Jenis = $\frac{(500 - BK)}{BK}$ x 100 % | 1,42 % | |

Yogyakarta, 17 Maret 1997

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


## SAND EQUIVALENT DATA
## AASHTO T 176 - 73

Contoh dari : PT. Perwita Karya
Jenis Agregat : Agregat halus eks. *Stone crusher*
Diuji Tgl. : 19 Maret 1997
Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :
1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)
Diperiksa Oleh :
Sukamto

| TRIAL NUMBER | | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| Seaking (10,1 min) | Start | 09.20 | 09.25 | |
| | Stop | 09.30 | 09.35 | |
| Sedimentation Time (20 Min – 15 Sec) | Start | 09.40 | 09.45 | |
| | Stop | 10.00 | 10.05 | |
| Clay Reading | | 4,4 | 4,45 | |
| Sand Reading | | 3,1 | 3,1 | |
| SE = $\frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100\ \%$ | | 70,45 % | 69,63 % | |
| Avarange Sand Equivalent | | 70,04 % | | |
| Remark : | | | | |
| Nilai Sand Equivalent = 70,04 % > 50 % *) , memenuhi syarat. | | | | |
| *) Sumber : Laston, SKBI 2.4.26.1987, UDC : 625.75(02), halaman 5 | | | | |

Yogyakarta, 19 Maret 1997

LAB. JALAN RAYA

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


## PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

## AASTHO T – 182

Contoh dari : PT. Krakatau Steel, Cilegon, Jawa Barat

Jenis Agregat : Limbah Baja (*Slag*)

Diuji Tgl. : 18 – 19 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

| PEMANASAN SAMPLE | PEMBACAAN SUHU | PEMBACAAN WAKTU |
|---|---|---|
| Mulai Pemanasan | 140$^0$ C | 13.00 WIB |
| Selesai Pemanasan | 140$^0$ C | 14.00 WIB |
| Didiamkan pada suhu ruang | | |
| Mulai | 140$^0$ C | 14.20 WIB |
| Selesai | 25$^0$ C | 14.28 WIB |
| Diperiksa | | |
| Mulai | 25$^0$ C | 14.30 WIB |
| Selesai | 25$^0$ C | 08.30 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| BENDA UJI | PROSEN YANG DISELIMUTI ASPAL |
|---|---|
| I | 100 % |
| II | |
| RATA-RATA | 100 % |

Yogyakarta, 19 Maret 1997

FTSP LAB. JALAN RAYA

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


## PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

## AASHTO T 228 – 68 ; ASTM D – 70 – 72

Contoh dari : PT. Perwita Karya

Jenis Agregat : AC 60 – 70

Diuji Tgl. : 19 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

| No. | Urutan Pemeriksaan | Berat |
|---|---|---|
| 1 | Berat piknometer kosong | 29,47 gr. |
| 2 | Berat piknometer + aquadest | 79,47 gr. |
| 3 | Berat air (2 – 1) | 50,00 gr. |
| 4 | Berat piknometer + aspal | 31,76 gr. |
| 5 | Berat aspal (4 – 1) | 2,29 gr. |
| 6 | Berat piknometer + aspal + aquadest | 79,48 gr. |
| 7 | Berat airnya saja (6 – 4) | 47,72 gr. |
| 8 | Volume aspal (3 – 7) | 2,28 cc. |
| 9 | Berat jenis aspal = berat / volume ( 5/8 ) | 1,004 |

Yogyakarta, 19 Maret 1997

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584

## PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL
## AASHTO T 49-68 ; ASTM D – 5 – 71

Contoh dari : PT. Perwita Karya

Jenis Agregat : AC 60 – 70

Diuji Tgl. : 19 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

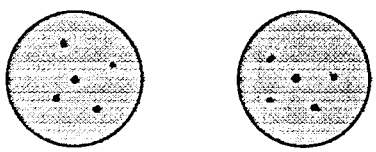
1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

| PEMANASAN SAMPLE | PEMBACAAN SUHU | PEMBACAAN WAKTU |
|---|---|---|
| MULAI PEMANASAN | 25$^0$ C | 11.00 WIB |
| SELESAI PEMANASAN | 100$^0$ C | 11.30 WIB |
| DIDIAMKAN PADA SUHU 25$^0$ C | | |
| MULAI | 100$^0$ C | 11.30 WIB |
| SELESAI | 28$^0$ C | 12.30 WIB |
| DIRENDAM AIR DENGAN SUHU 25$^0$ C | | |
| MULAI | 28$^0$ C | 12.30 WIB |
| SELESAI | 26$^0$ C | 13.30 WIB |
| DIPERIKSA | | |
| MULAI | 26$^0$ C | 13.30 WIB |
| SELESAI | 26$^0$ C | 13.45 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| No. | CAWAN (I) | CAWAN (II) | SKET HASIL PEMERIKSAAN |
|---|---|---|---|
| 1 | 66 | 62 |  |
| 2 | 64 | 63 | |
| 3 | 65 | 60 | |
| 4 | 63 | 61 | |
| 5 | 65 | 63 | I II |

Yogyakarta, 19 Maret 1997

LAB. JALAN RAYA

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


## PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN TITIK BAKAR ASPAL

## AASHTO T 48 – 74 ; ASTM D 92 – 52

Contoh dari : PT. Perwita Karya

Jenis Agregat : AC 60 – 70

Diuji Tgl. : 19 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

| PEMANASAN SAMPLE | PEMBACAAN SUHU | PEMBACAAN WAKTU |
|---|---|---|
| MULAI PEMANASAN | $27^0$ C | 10.30 WIB |
| SELESAI PEMANASAN | $90^0$ C | 10.45 WIB |
| DIDIAMKAN PADA SUHU RUANG | | |
| MULAI | - | |
| SELESAI | - | |
| DIPERIKSA | | |
| MULAI | $90^0$ C | 11.00 WIB |
| SELESAI | $375^0$ C | 11.37 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| CAWAN | TITIK NYALA | TITIK BAKAR |
|---|---|---|
| I | $345^0$ C | $375^0$ C |
| II | | |
| RATA-RATA | | |

Yogyakarta, 19 Maret 1997

LAB. JALAN RAYA

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


## PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

## AASHTO 53 – 74 ; ASTM D 36-70

Contoh dari : PT. Perwita Karya

Jenis Agregat : AC 60 – 70

Diuji Tgl. : 19 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

| PEMANASAN SAMPLE | PEMBACAAN SUHU | PEMBACAAN WAKTU |
|---|---|---|
| MULAI PEMANASAN | $27^0$ C | 10.30 WIB |
| SELESAI PEMANASAN | $90^0$ C | 10.45 WIB |
| DIDIAMKAN PADA SUHU RUANG | | |
| MULAI | $90^0$ C | 10.50 WIB |
| SELESAI | $27^0$ C | 11.50 WIB |
| DIPERIKSA | | |
| MULAI | $5^0$ C | 14.18 WIB |
| SELESAI | $50^0$ C | 14.35 WIB |

## HASIL PENGAMATAN

| No. | SUHU YANG DIAMATI | WAKTU (DETIK) | | TITIK LEMBEK | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | I | II | I | II |
| 1 | 5 | 0 | 0 | $48,5^0$ C | $48^0$ C |
| 2 | 10 | 74 | 74 | | |
| 3 | 15 | 138 | 138 | | |
| 4 | 20 | 79 | 79 | | |
| 5 | 25 | 71 | 71 | | |
| 6 | 30 | 74 | 74 | | |
| 7 | 35 | 82 | 82 | | |
| 8 | 40 | 68 | 68 | | |
| 9 | 45 | 67 | 67 | | |
| 10 | 50 | 67 | 67 | | |
| 11 | 55 | | | | |

Yogyakarta, 19 Maret 1997

a/n

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


## PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY) / RESIDUE

## AASHTO T 51 – 74 ; ASTM D 113 - 69

Contoh dari : PT. Perwita Karya

Jenis Agregat : AC 60 – 70

Diuji Tgl. : 20 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

| | | | |
|---|---|---|---|
| Persiapan benda uji | Contoh dipanaskan | 15 menit | Pembacaan suhu oven ± 135$^0$ C |
| Mendinginkan benda uji | Didiamkan pada suhu ruang | 60 menit | Jam 13.35 s.d. 14 35 |
| Perendaman benda uji | Direndam pada suhu dalam Water Bath pada suhu 25$^0$ C | 30 menit | Jam 14.35 s.d. 15.05<br>Pembacaan suhu Water Bath ± 25$^0$ C |
| Pemeiksaan | Daktilitas pd 25$^0$ C<br>5 cm per menit | 20 menit | Pembacaan suhu alat<br>± 25$^0$ C |

| DAKTILITAS pada suhu 25$^0$ C<br>5 menit per menit | Pembacaan pengukur pada alat |
|---|---|
| Pengamatan I | > 165 cm |
| Pengamatan II | > 165 cm |
| Rata-rata (I + II) | > 165 cm |

Yogyakarta, 20 Maret 1997

FTSP LAB. JALAN RAYA

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


## PEMERIKSAAN KELARUTAN DALAM CCl4 (SOLUBILITY)
## AASHTO T 44 – 70 ; ASTM D 165 – 42

Contoh dari : PT. Perwita Karya
Jenis Agregat : AC 60 – 70
Diuji Tgl. : 19 Maret 1997
Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :
1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :
Sukamto

| Pembukaan contoh | DIPANASKAN | | Pembacaan Waktu | Pembacaan Suhu |
|---|---|---|---|---|
| | Mulai | jam | | |
| | Selesai | jam | | |
| PEMERIKSAAN | | | | |
| 1. Penimbangan | Mulai | jam | 11.45 | |
| 2. Pelarutan | Mulai | jam | 11.50 | $25^0$ C |
| 3. Penyaringan | Mulai | jam | 14.00 | |
| | Selesai | jam | 14.05 | |
| 4. Di Oven | Mulai | jam | 14.15 | $30^0$ C |
| 5. Penimbangan | Selesai | jam | | |

| | | |
|---|---|---|
| 1. | Berat botol Erlenmeyer kosong | = 74,00 gr. |
| 2. | Berat erlenmeyer + aspal | = 76,00 gr. |
| 3. | Berat aspal (2 – 1) | = 2,00 gr. |
| 4. | Berat kertas saring bersih | = 0,55 gr. |
| 5. | Berat kertas saring + endapan | = 0,56 gr. |
| 6. | Berat endapannya saja (5 – 4) | = 0, 01 gr. |
| 7. | Persentase endapan (6/3 x 100 %) | = 0,50 gr. |
| 8. | Bitumen yang larut (100 % - 7) | = 99,5 % |

Yogyakarta, 19 Maret 1997

a/n LAB. JALAN RAYA

Sukamto

Lampiran 11

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584

Contoh dari : Agregat kasar (limbah baja) dari PT. Krakatau steel, Cilegon, Jawa Barat & Agregat halus dari PT. Perwita Karya, Yogyakarta.

Jenis Agregat : Agregat Kasar & Agregat Halus

Pekerjaan : Analisa Saringan untuk Kadar Aspal 5,3 %

Dikerjakan Tgl.: 21 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

## ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

| No. SARINGAN | | BERAT TERTAHAN | | JUMLAH PERSEN (%) | | SPESIFIKASI | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | inci | tertahan | jumlah | tertahan | Lolos | minimum | maksimum |
| 12,70 | ½ | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 11,20 | 7/16 | 61,36 | 61,36 | 5 | 95 | 90 | 100 |
| 8,00 | 5/16 | 398,84 | 460,20 | 37,5 | 62,5 | 50 | 75 |
| 5,00 | No. 4 | 276,12 | 736,32 | 60 | 40 | 30 | 50 |
| 2,00 | No. 10 | 184,08 | 920,40 | 75 | 25 | 20 | 30 |
| 0,71 | No. 25 | 73,63 | 994,03 | 81 | 19 | 13 | 25 |
| 0,25 | No. 60 | 49,09 | 1043,12 | 85 | 15 | 10 | 20 |
| 0,029 | No. 170 | 55,22 | 1098,34 | 89,5 | 10,5 | 8 | 13 |
| PAN | - | 128,85 | 1227,2 | 100 | - | - | - |

Berat aspal : 5,3 % x 1300 gr. = 68,9 gr.

Berat serat selulosa : 0,3 % x 1300 gr. = 3,9 gr.

Berat agregat total : = 1227,2 gr. +

Berat benda uji = 1300,0 gr.

Yogyakarta, 21 Maret 1997

a/n

SUKAMTO

# LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


Contoh dari : Agregat kasar (limbah baja) dari PT. Krakatau steel, Cilegon, Jawa Barat & Agregat halus dari PT. Perwita Karya, Yogyakarta.
Jenis Agregat : Agregat Kasar & Agregat Halus
Pekerjaan : Analisa Saringan untuk Kadar Aspal 5,6 %
Dikerjakan Tgl.: 21 Maret 1997
Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :
1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)
Diperiksa Oleh :
Sukamto

## ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

| No. SARINGAN | | BERAT TERTAHAN | | JUMLAH PERSEN (%) | | SPESIFIKASI | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | inci | tertahan | jumlah | tertahan | lolos | minimum | maksimum |
| 12,70 | ½ | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 11,20 | 7/16 | 61,17 | 61,17 | 5 | 95 | 90 | 100 |
| 8,00 | 5/16 | 397,57 | 458,74 | 37,5 | 62,5 | 50 | 75 |
| 5,00 | No. 4 | 275,24 | 733,98 | 60 | 40 | 30 | 50 |
| 2,00 | No. 10 | 183,5 | 917,48 | 75 | 25 | 20 | 30 |
| 0,71 | No. 25 | 73,39 | 990,87 | 81 | 19 | 13 | 25 |
| 0,25 | No. 60 | 48,94 | 1039,81 | 85 | 15 | 10 | 20 |
| 0,029 | No. 170 | 55,04 | 1094,85 | 89,5 | 10,5 | 8 | 13 |
| PAN | - | 128,45 | 1223,3 | 100 | - | - | - |

Berat aspal : 5,6 % x 1300 gr. = 72,8 gr.
Berat serat selulosa : 0,3 % x 1300 gr. = 3,9 gr.
Berat agregat total : = 1223,3 gr. +
Berat benda uji = 1300,0 gr.

Yogyakarta, 21 Maret 1997

FTSP LAB. JALAN RAYA

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


Contoh dari : Agregat kasar (limbah baja) dari PT. Krakatau steel, Cilegon, Jawa Barat & Agregat halus dari PT. Perwita Karya, Yogyakarta.

Jenis Agregat : Agregat Kasar & Agregat Halus

Pekerjaan : Analisa Saringan untuk Kadar Aspal 5,9 %

Dikerjakan Tgl.: 21 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

## ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

| No. SARINGAN | | BERAT TERTAHAN | | JUMLAH PERSEN (%) | | SPESIFIKASI | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | inci | tertahan | jumlah | tertahan | lolos | minimum | maksimum |
| 12,70 | ½ | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 11,20 | 7/16 | 60,97 | 60,97 | 5 | 95 | 90 | 100 |
| 8,00 | 5/16 | 396,31 | 457,28 | 37,5 | 62,5 | 50 | 75 |
| 5,00 | No. 4 | 274,37 | 731,64 | 60 | 40 | 30 | 50 |
| 2,00 | No. 10 | 182,91 | 914,55 | 75 | 25 | 20 | 30 |
| 0,71 | No. 25 | 73,16 | 987,71 | 81 | 19 | 13 | 25 |
| 0,25 | No. 60 | 48,78 | 1036,49 | 85 | 15 | 10 | 20 |
| 0,029 | No. 170 | 54,87 | 1091,36 | 89,5 | 10,5 | 8 | 13 |
| PAN | - | 128,04 | 1219,4 | 100 | - | - | - |

Berat aspal : 5,9 % x 1300 gr. = 76,7 gr.

Berat serat selulosa : 0,3 % x 1300 gr. = 3,9 gr.

Berat agregat total : = 1219,4 gr. +

Berat benda uji = 1300,0 gr.

Yogyakarta, 21 Maret 1997

a/n

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584

Contoh dari : Agregat kasar (limbah baja) dari PT. Krakatau steel, Cilegon, Jawa Barat & Agregat halus dari PT. Perwita Karya, Yogyakarta.

Jenis Agregat : Agregat Kasar & Agregat Halus

Pekerjaan : Analisa Saringan untuk Kadar Aspal 6,2 %

Dikerjakan Tgl.: 21 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

## ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

| No. SARINGAN | | BERAT TERTAHAN | | JUMLAH PERSEN (%) | | SPESIFIKASI | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | inci | tertahan | jumlah | tertahan | lolos | minimum | maksimum |
| 12,70 | ½ | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 11,20 | 7/16 | 60,78 | 60,78 | 5 | 95 | 90 | 100 |
| 8,00 | 5/16 | 395,03 | 455,81 | 37,5 | 62,5 | 50 | 75 |
| 5,00 | No. 4 | 273,49 | 729,30 | 60 | 40 | 30 | 50 |
| 2,00 | No. 10 | 182,33 | 911,63 | 75 | 25 | 20 | 30 |
| 0,71 | No. 25 | 72,93 | 984,56 | 81 | 19 | 13 | 25 |
| 0,25 | No. 60 | 48,62 | 1033,18 | 85 | 15 | 10 | 20 |
| 0,029 | No. 170 | 54,69 | 1087,87 | 89,5 | 10,5 | 8 | 13 |
| PAN | - | 127,63 | 1215,50 | 100 | - | - | - |

Berat aspal : 6,2 % x 1300 gr. = 80,6 gr.

Berat serat selulosa : 0,3 % x 1300 gr. = 3,9 gr.

Berat agregat total : = 1215,5 gr. +

Berat benda uji = 1300,0 gr.

Yogyakarta, 21 Maret 1997

LAB. JALAN RAYA

Sukamto

# LABORATORIUM JALAN RAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp.95330 Yogyakarta 55584


Contoh dari : Agregat kasar (limbah baja) dari PT. Krakatau steel, Cilegon, Jawa Barat & Agregat halus dari PT. Perwita Karya, Yogyakarta.

Jenis Agregat : Agregat Kasar & Agregat Halus

Pekerjaan : Analisa Saringan untuk Kadar Aspal 6,5 %

Dikerjakan Tgl.: 21 Maret 1997

Untuk Proyek : Tugas Akhir Mahasiswa

Dikerjakan Oleh :

1. Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)
2. Maman Setiawan (89 310 112)

Diperiksa Oleh :

Sukamto

## ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR DAN HALUS

| No. SARINGAN | | BERAT TERTAHAN | | JUMLAH PERSEN (%) | | SPESIFIKASI | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | inci | tertahan | jumlah | tertahan | lolos | minimum | maksimum |
| 12,70 | ½ | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 11,20 | 7/16 | 60,58 | 60,58 | 5 | 95 | 90 | 100 |
| 8,00 | 5/16 | 393,73 | 454,31 | 37,5 | 62,5 | 50 | 75 |
| 5,00 | No. 4 | 272,59 | 726,90 | 60 | 40 | 30 | 50 |
| 2,00 | No. 10 | 181,73 | 908,63 | 75 | 25 | 20 | 30 |
| 0,71 | No. 25 | 72,69 | 981,32 | 81 | 19 | 13 | 25 |
| 0,25 | No. 60 | 48,46 | 1029,78 | 85 | 15 | 10 | 20 |
| 0,029 | No. 170 | 54,51 | 1084,29 | 89,5 | 10,5 | 8 | 13 |
| PAN | - | 127,21 | 1211,50 | 100 | - | - | - |

Berat aspal : 6,5 % x 1300 gr. = 84,6 gr.

Berat serat selulosa : 0,3 % x 1300 gr. = 3,9 gr.

Berat agregat total : = 1211,5 gr. +

Berat benda uji = 1300,0 gr.

Yogyakarta, 21 Maret 1997

a/n

Sukamto

Asal material : *Ag*
Jenis Campuran : *Si*
Di kerjakan Oleh : *I.*
*2*

Kadar Aspal OPTIMUI

| Sample | t (mm) | |
|---|---|---|
| A | 58.43 | 6.: |
| B | 58.27 | 6.: |
| B | 58.23 | 6.: |

t = Tebal Benda Uji
a = % Aspal terhadap
b = % Aspal terhadap
c = Berat kering (sebe
d = Berat basah jenuh
e = Berat didalam air
f = Volume (isi) d-e
g = Berat isi c/f
h = B.J Maksimum {10

Asal mater
Jenis Cam
Di kerjakar

| Sample | 1 |
|---|---|
| A | 5 |
| B | 5 |
| C | 5 |
| D | 5 |
| A | 5 |
| B | 5 |
| C | 5 |
| D | 5 |
| A | 5 |
| B | 5 |
| C | 5 |
| D | 5 |
| A | 5 |
| B | 5 |
| C | 5 |
| D | 5 |
| A | 5 |
| B | 5 |
| C | 5 |

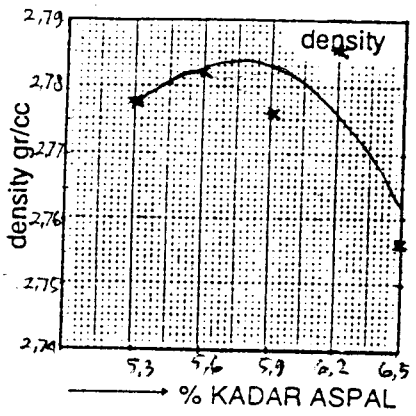
t = Tebal be
a = % Aspa
b = % Aspa
c = Berat ke
d = Berat ba
e = Berat di
f = Volume
g = Berat isi
h = B.J Mak

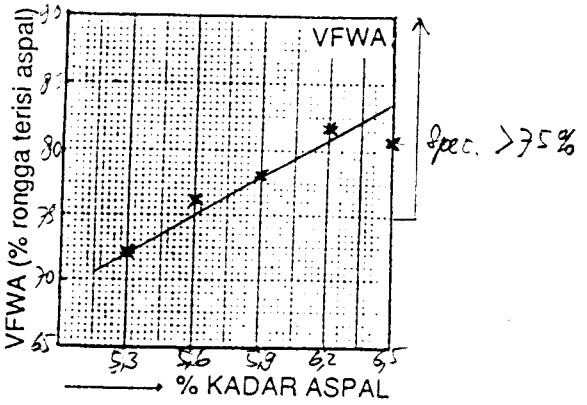
# LABORATORIUM JALAN RAYA

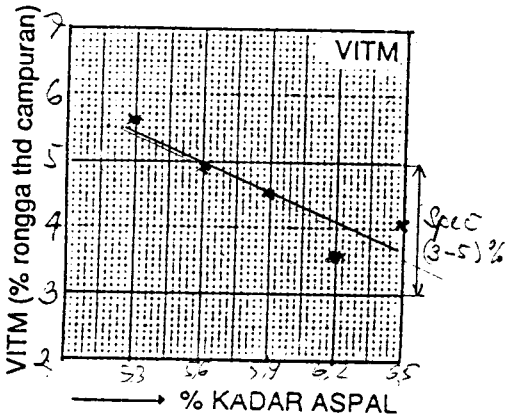
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

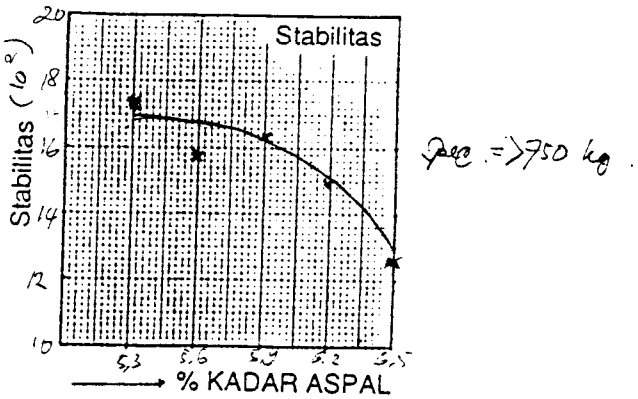
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta 55584

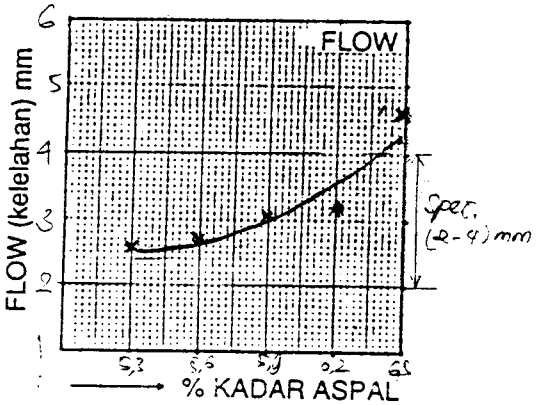

## GRAFIK III :KADAR ASPAL DESIGN

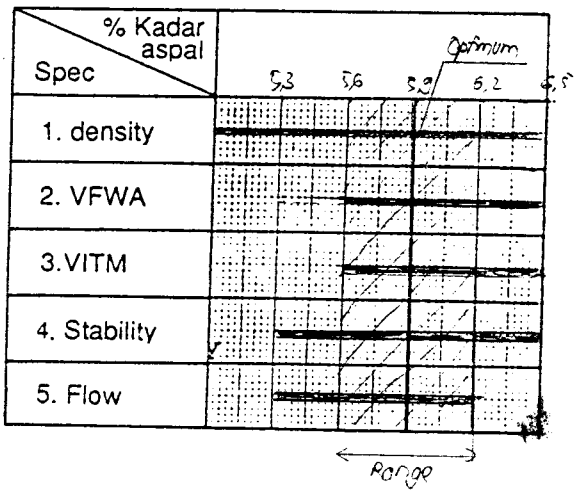



Kadar Aspla Design = 5,9 ..... % (a)

Kadar Aspal terhadap Campuran = $\frac{(a)}{100+a}$ X 100 %= 5,57 ..... %

Diperiksa,

LAB. JALAN RAYA

SUKAMTO

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
## FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl. Kaliurang Km 14,4, Telp. 895042, 895707, Fax. 895330, Yogyakarta 55584


Nomor : 396/C.08.03/JTS/I/97 Yogyakarta, 22 Jan 1997
Lamp. : -
H a l : BIMBINGAN TUGAS AKHIR.

Kepada Yth. :
Bapak *Ir. H. Wardhani Sartano, MSc*
di -
**YOGYAKARTA.**

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu agar mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan tersebut dibawah ini :

1. N a m a : **Marsudi Agus Setyawan**
   No. Mhs. : **89 310 076**
   N.I.R.M. : **89 0051013114120 074**
   Bidang Studi : **Transportasi**
   Tahun Akademi : **1996-1997**

2. N a m a : **Maman Setiawan**
   No. Mhs. : **89 310 112**
   N.I.R.M. : **89 0051013114120 ...**
   Bidang Studi : **Transportasi**
   Tahun Akademi : **1996-1997**

Dapat diberikan petunjuk - petunjuk, pengarahan serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas Akhir.
Kedua mahasiswa tersebut merupakan satu kelompok, dengan dosen Pembimbing sbb. :

Dosen Pembimbing I : **Ir. H. Wardhani Sartono, MSc**
Dosen Pembimbing II : **Ir. Subarkah, MT**

Dengan mengambil topik:

"**Penggunaan Limbah Baja Sebagai Agregat Kasar pada Campuran Split Mastic Asphalt 0/11 dengan bahan Tambah Serat Selulosa.**"

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

an. Dekan
Ketua Jurusan Teknik Sipil.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN YOGYAKARTA

*( IR. RAMBANG SULISTIONO, MSCE. )*

**Tembusan Kepada Yth. :**
- Mahasiswa ybs.
- Arsip.

# UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
## FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Jl. Kaliurang Km 14,4, Telp. 895042, 895707, Fax. 895330, Yogyakarta 55584


Nomor : 396/C.08.03/JTS/I/97
Lamp. : -
H a l : BIMBINGAN TUGAS AKHIR.

Yogyakarta, 22 Jan 1997

Kepada Yth. :
Bapak *Ir. Subarkah, MT*
di -
**YOGYAKARTA.**

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak / Ibu agar mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan tersebut dibawah ini :

1. N a m a : **Marsudi Agus Setyawan**
   No. Mhs. : **89 310 076**
   N.I.R.M. : **89 0051013114120 074**
   Bidang Studi : **Transportasi**
   Tahun Akademi : **1996-1997**

2. N a m a : **Maman Setiawan**
   No. Mhs. : **89 310 112**
   N.I.R.M. : **89 0051013114120 ...**
   Bidang Studi : **Transportasi**
   Tahun Akademi : **1996-1997**

Dapat diberikan petunjuk - petunjuk, pengarahan serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas Akhir.
Kedua mahasiswa tersebut merupakan satu kelompok, dengan dosen Pembimbing sbb. :

Dosen Pembimbing I : **Ir. H. Wardhani Sartono, MSc**
Dosen Pembimbing II : **Ir. Subarkah, MT**

Dengan mengambil topik:

"**Penggunaan Limbah Baja Sebagai Agregat Kasar pada Campuran Split Mastic Asphalt 0/11 dengan bahan Tambah Serat Selulosa.**"

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

an. Dekan
Ketua Jurusan Teknik Sipil,

*( IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE. )*

**Tembusan Kepada Yth. :**
- Mahasiswa ybs.
- Arsip.

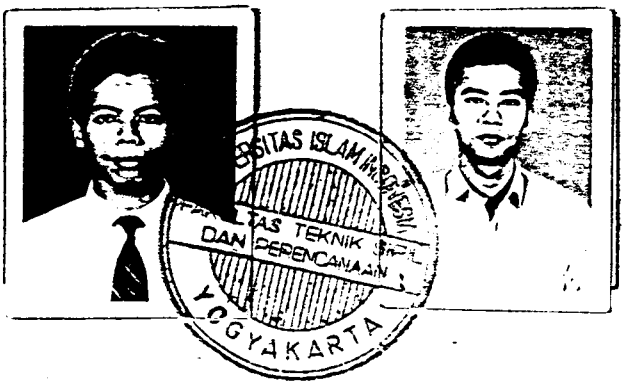
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

# KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

| No. | N a m a | No. Mhs. | N.I.R.M. | Bidang Studi |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Marsudi Agus Setyawan | 89310076 | | Transportasi |
| 2. | Maman Setiawan | 89310112 | | Transportasi |

Dosen Pembimbing I : : Ir. H. Wardhani Sartono, MSc
Dosen Pembimbing II : : Ir. Subarkah, MT

1 2



Yogyakarta, 22 Januari 1997
An. Dekan.
Ketua Jurusan Teknik Sipil.

ISTIONO, MSCE

# CATATAN - KONSULTASI

| No. | Tanggal | Konsultasi ke: | KETERANGAN | Paraf |
|---|---|---|---|---|
| 1. | | | - Perbaiki tulisan yg diberi tanda pd halaman ybs.<br>- Lakukan pembandingan → dg hasil penelitian lain yg menggunakan bahan baku →<br>- lengkapi dg kesimpulan & saran | |
| 2 | | | Parameter Marshall dpt dibandingkan dengan nilai nya → shg tahu lebih besar/kecil nilai bandingnya<br>Kesimpulan → menemukan hipotesa dari hasil penelitian | |
| 3 | | 17/5 97 | - Perbaiki bag. kesimpulan dan saran<br>- lengkapi dg lampiran. | |
| 4 | | 13/5 97 | Dapat dilanjutkan konsultasi ke Pembimbing I | |
| 5. | | 23/5 97 | Perbaikan sesuai petunjuk | |
| 6 | | 28/5 97 | acc untuk sidang meja | |

# PR TUGAS AKHIR

*Disusun oleh :*
1. *Marsudi Agus Setyawan (89 310 076)*
2. *Maman Setiawan (89 310 112)*

Penilaian Daya Layan (Metode AASTHO)

Para insinyur jalan-uji mengembangkan konsep " Penilaian daya layan" (Serviceability rating) yang merupakan kunci kehalusan dan kemampuan untuk dijalani dari berbagai ruas perkerasan.

Sebuah panel pemakaian jalan raya secara individual mencatat sebanyak 74 ruas jalan raya berbitumen dan 64 ruas perkerasan beton berada dalam berbagai tingkat perbaikan. Masing-masing mereka kendaraan di sepanjang ruas jalan tersebut pada kecepatan tinggi, dan apabila dikehendaki, dapat menilai perkerasan itu secara kritis. Mereka secara bebas menilai setiap ruas jalan pada skala yang berkisar dari 0 sampai 5, disain tingkatan yang lebih rendah diberikan pada jenis perkerasan yang lebih jelek. Pada saat yang sama, para insinyur jalan uji mengukur deformasi jalan dan kerusakan permukaan seperti retak (cracking), melengkungnya bagian tepi jalan (slope variance) dan penambalan (patching). Kemudian, dengan menggunakan prosedur statistik berupa analisis regresi linier berganda, dibuat suatu persamaan untuk menyatakan penilaian pemakai jalan secara subyektif dalam hubungannya dengan siafat-sifat yang diukur, untuk perkerasan lentur, persamaan penilaian akhir, yang dinamakan "Indeks Daya Layan Sekarang" (Present Serviceability Index, PSI dan p) adalah :

$$p = 5{,}03 - 1{,}91 \log (1 + \overline{SV}) - 1{,}38\,\overline{RD} - 0{,}01\,\sqrt{(C + P)}$$

dengan

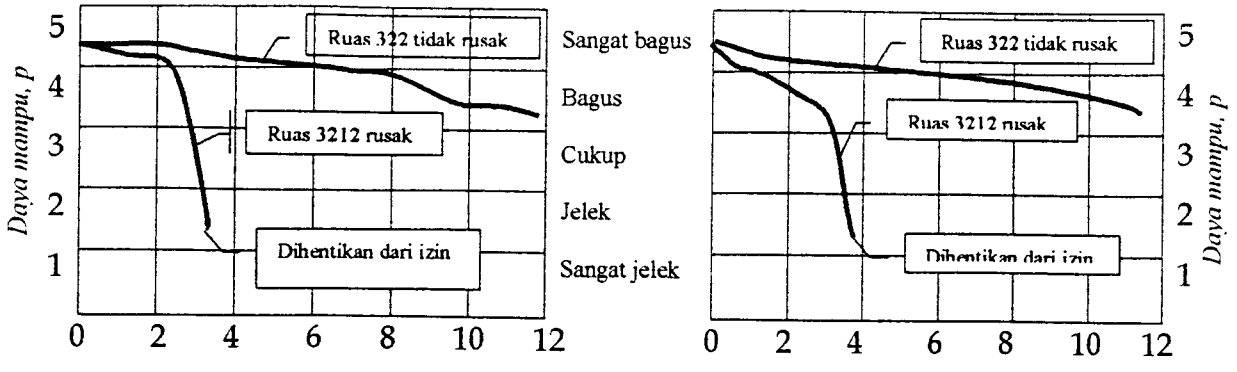
p = indeks daya layan sekarang (present serviceability).

$\overline{SV}$ = varian kemeringan sepanjang lintasan roda (sebagai yang digunakan pada pondasi setebal 9 in. oleh uji atau profilometer CHLOE).

$\overline{RD}$ = dalam jejak roda dalam inci yang diukur dari sisi lurus 4 ft.

C = luas retak dalam ft $^2$ / 1000 ft$^2$ luas perkerasan

P = luas tambalan (patching) dalam ft $^2$ / 1000 ft$^2$ luas perkerasan




Gambar hubungan antara pengulangan beban gambar dan untuk daya layan untuk dua jenis ruas jalan-izin AASHTO : (a) penampilan aktual ; (b) penampilan yang dipertimbangkan untuk mencerminkan efek cuaca.

Besar harga p pada ruas perkerasan lentur yang umum pada jalan uji adalah 4,2, pada saat jatuh sampai 1,5, pengujian dihentikan. Besar harga p disarankan pada saat perkerasan jalan raya perlu dilapis ulang, biasanya adalah 2,5 untuk jalan primer dan 2,0 untuk jalan sekunder.

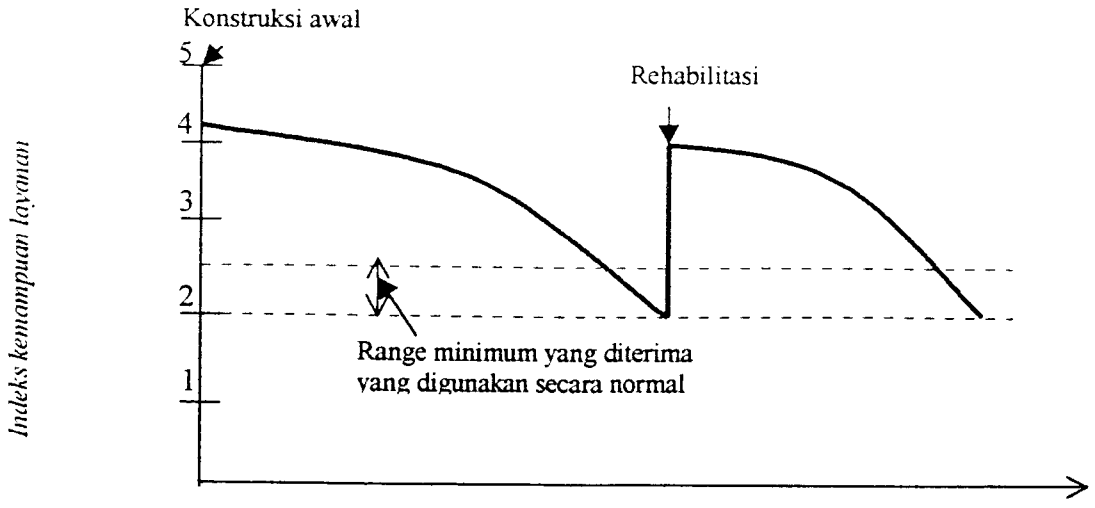
Sebagaimana yang diperkirakan, indeks daya layan sekarang (present serviceability index), p akan terus berkurang selama berlangsungnya pengujian (lihat gambar di atas). Kurva di sebelah kiri adalah gambar yang dihaluskan dari setiap harga p yang diukur setiap dua minggu. Kurva pada grafik sebelah kanan telah dipertimbangkan untuk mencerminkan kerusakan yang lebih besar per muatan persamaan-persamaan eksponensial yang menyatakan bentuk kurva yang berhubungan dengan beban roda dan harga p awal serta akhir.

Pemakaian Data Keadaan Perkerasan :

Ada tiga pemakaian khusus data perkerasan. Semuanya itu hampir sama dengan manajemen perkerasan tetapi agak berbeda pada bagian yang lain. Yaitu

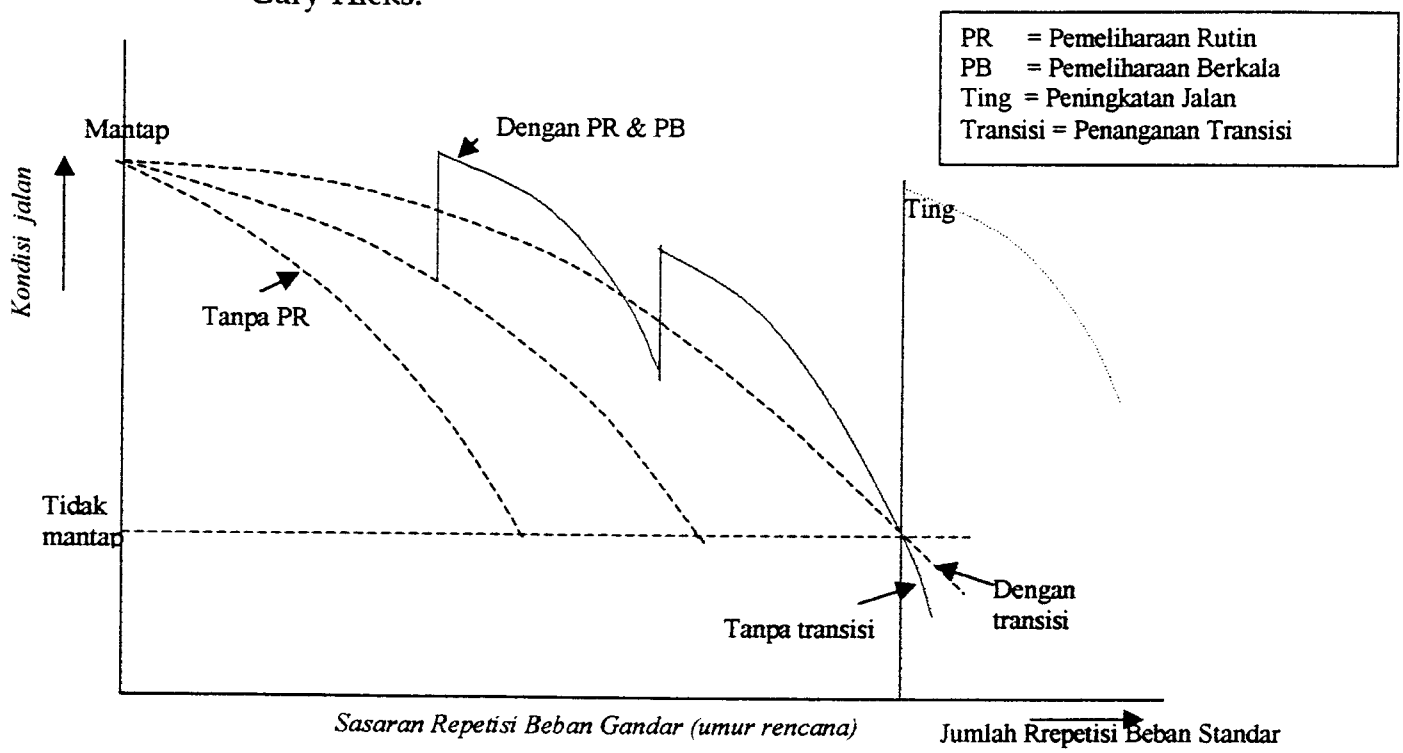
1. *Menentukan Prioritas.* Data perjalanan, keadaan yang berbahaya, gesekan permukaan dan penyimpangan dipakai untuk menentukan proyek mana yang paling memerlukan perawatan dan perbaikan. Seringkali perjalanan dan keadaan yang berbahaya digabung dalam satu kesatuan tanpa atau dengan mempertimbangkan volume lalulintas yang ada sekarang. Sekali ditentukan, proyek dengan nilai rendah lebih mudah dievaluasi untuk menentukan strategi perbaikan.
2. *Menentukan strategi perbaikan.* Data seperti jenis, tingkat dan kemampuan suatu kondisi yang berbahaya seringkali digunakan untuk menentukan "rencana tindakan" normalnya setiap tahun. Hal ini digunakan untuk menentukan strategi sistematik perawatan dan perbaikan (perbaikan berupa perlindungan permukaan, pelapisan ulang dan jenis metode daur ulang) paling tetap untuk keadaan yang ada.
3. *Proyek Bentuk Perkerasan di masa yang akan datang.* Beberapa bentuk proyek perwakilan berusaha untuk menentukan keadaan yang akan datang dari sistem perkerasaan atau jaringan kerjanya. Dari sini anggaran belanja diperlukan untuk merawat sistem perkerasan pada tingkat pelayanan (lihat gambar di bawah) atau tingkat pelayanannya dengan anggaran belanja yang diberikannya.

Dari semua penerapan di atas, diambil kesimpulan bahwa apapun sistem manajemen perkerasaan yang dipakai, yang merupakan alat kerja bagi si pembuat keputusan mereka tidak dapat menggantikannya.




Gambar Grafik hubungan Indeks Kemampuan Layanan dengan Lalulintas (ekivalen beban gandar atau waktu).

Sumber : Teknik Jalan Raya (jilid 2, edisi keempat,1996), Clarkson H. Oglesby dan R. Gary Hicks.




Gambar Kurva Penurunan Kondisi Jalan.

Sumber : Sistem Pengembangan Jalan, *Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia, Bina Marga*, Puslitbang & Pengembangan Jalan