

877/FT.01/SKRIP/07/2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL BETON DALAM
KONDISI TERENDAM AIR HUJAN DAN BEBAN STATIS
DENGAN VARIASI WAKTU RENDAMAN**

SKRIPSI

**FERNANDO NAPITUPULU
0404010244**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2009**

877/FT.01/SKRIP/07/2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL BETON DALAM
KONDISI TERENDAM AIR HUJAN DAN BEBAN STATIS
DENGAN VARIASI WAKTU RENDAMAN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

**FERNANDO NAPITUPULU
0404010244**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN TRANSPORTASI
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Fernando Napitupulu

NPM : 0404010244

Tanda tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Fernando Napitupulu
NPM : 0404010244
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Karakteristik Campuran Aspal Beton dalam Kondisi Terendam Air Hujan dan Beban Statis dengan Varisai Waktu Rendaman

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Sigit Pranowo Hadiwardoyo, DEA ()
Pembimbing : Ir. Heddy R. Agah, M.Eng ()
Penguji : Dr. Ir. Jachrizal Sumabrata ()
Penguji : Ir. Martha Leni Siregar, MSc ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal :

KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- 1) Dr. Ir. Sigit Pranowo Hadiwardoyo, DEA, selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- 2) Ir. Heddy R. Agah, M.Eng, selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- 3) Bapak Syamsudin, Bang Jaelani, Kusnendar, dan segenap staf laboratorium Bahan Departemen Sipil, yang senantiasa menemani dan menjadi teman berdiskusi selama pengerjaan skripsi ini;
- 4) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- 5) Teman-teman Sipil 2004 yang selalu memberikan dukungan kepada saya;
- 6) Inca, Erlin, Desi, Wicul, Fia atas dukungan yang diberikan kepada saya;
- 7) Adrian Salman dan Purwadi Nugroho, atas kerjasamanya selama penelitian ini berlangsung.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2009

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fernando Napitupulu
NPM : 0404010244
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Karakteristik Campuran Aspal Beton dalam Kondisi Terendam Air Hujan dan
Beban Statis dengan Varisai Waktu Rendaman

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal :

Yang menyatakan

(Fernando Napitupulu)

ABSTRAK

Nama : Fernando Napitupulu
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Karakteristik Campuran Aspal Beton dalam Kondisi Terendam Air Hujan dan Beban Statis dengan Varisai Waktu Rendaman

Perkerasan jalan harus dapat memberikan kenyamanan kepada para pengguna jalan, berupa kondisi jalan yang baik sehingga tidak ada gangguan pada saat berkendara. Kerusakan pada badan jalan dapat mengurangi *level of service* dari jalan tersebut. Pada saat ini, terdapat banyak sekali kasus kerusakan jalan faktor penyebab kerusakan jalan ini ada bermacam-macam, di antaranya beban yang berlebih, kesalahan pada saat pengerjaan, juga akibat adanya genangan air pada badan jalan.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mempelajari pengaruh yang diberikan oleh air hujan terhadap konstruksi perkerasan lentur, khususnya pada Lapis Aspal Beton (Laston) tipe IV. Metode yang digunakan adalah dengan studi literatur dan pengujian di laboratorium. Kondisi perkerasan yang terendam disimulasikan dengan merendam benda uji di dalam air hujan dengan variasi waktu rendaman 15 menit, 30 menit, 60 menit, 120 menit, 360 menit dan diberikan repetisi beban statis sebagai pengganti beban lalu lintas. Beban yang digunakan diberikan batasan sebesar 20% dari nilai stabilitas dengan kadar aspal optimum tanpa direndam dalam *waterbath*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran aspal jenis Laston tipe IV, setelah direndam dan dibebani pada saat yang bersamaan, mengalami penurunan kualitas dari stabilitas awal sebesar 3342,57 kg, kelelahan 3,5 mm, dan MQ 964,70 kg/mm. Semakin lama proses pembebanan dan perendaman, maka penurunan kinerja campuran aspal akan semakin besar. Untuk waktu pembebanan yang singkat, pembebanan statis berulang menyebabkan campuran aspal mengalami pemadatan yang berakibat nilai kelelahan menjadi lebih kecil dan nilai MQ menjadi lebih besar. Untuk waktu pembebanan terendam yang lebih lama, stabilitas campuran aspal menjadi semakin kecil, dan sampel menjadi semakin lentur yang ditandai dengan nilai MQ yang semakin kecil dan kelelahan semakin besar. Perubahan terjadi secara fluktuatif yang membentuk pola menurun dengan nilai kinerja terendah terjadi pada waktu rendaman 360 menit, yaitu stabilitas menurun sebesar 33,99 %, kelelahan menurun sebesar 13,57 %, dan MQ menurun sebesar 23,16 %.

Kata Kunci :

Repetisi beban statis, terendam, laston, air hujan, *marshall test*

ABSTRACT

Name : Fernando Napitupulu
Study Program: Civil Engineering
Topic : The Characteristic of Asphalt Concrete on Soaked Condition
Affected by Repetitive Static Load with Various Soaking Time

Road paving should give comfortability to its user, such as good road condition to prevent disturbance in riding condition. Damage on road pavement can decrease its level of service from the road itself. At this moment there are many cases of road damage with many causes, such as overweight, inappropriate construction process, and rainwater effects.

This research has been done in order to study the influence caused by the rainwater to flexible pavement construction, especially to Type IV Asphalt Concrete. Literature study and laboratory testing are used as the method of this research. Soaked paving condition is simulated by soaking the material in the rainwater with soaking time variation of 15, 30, 60 120, 360 minutes and it was been given repetitive static load as substitute of the traffic load. The load has been given a standard of 20 % from the maximum stability value of designed asphalt concrete without being soaked in waterbath.

The result shown that the type IV asphalt concrete, after being soaked and loaded at the same time, is having a decreasing quality from the initial stability value of 3342,57 kg, 3,5 mm flow, and initial MQ of 964,70 kg/mm. The longer the sample is being soaked and loaded simultaneously, the worse degradation happened. On short loading period, such as in 15 minutes test period, the repetitive static load cause the asphalt concrete become more dense. It causes the stability value decrease 7,09%, flow decrease 40,71%, and MQ decrease 78,2%. In the longer test period, stability value become lower, and the asphalt concrete become more flexible that can be seen in the degradation of flow and MQ value. The performance of asphalt concrete is decreasing fluctuately with the trend moving downward until the lowest value happened in 360 test period, with stability decrease 33,99%, flow decrease 13,57%, and MQ decrease 23,16%.

Key words : Repetitive static load, soaked, Asphalt Concrete (AC), rainwater, Marshall Test

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR ISTILAH.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
1.6 Laboratorium Uji.....	5
BAB 2 STUDI LITERATUR	6
2.1 Gambaran Umum Struktur Jalan.....	6
2.2 Material Perkerasan Jalan.....	8
2.3 Air Hujan.....	17

2.4	Laston	18
2.5	Marshall Test.....	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		22
3.1	Rencana Penelitian	22
3.2	Pelaksanaan	26
3.3	Tahap Analisa dan Pembahasan.....	45
BAB 4 DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN.....		47
4.1	Pemeriksaan Material Aspal dan Agregat.....	47
4.2	Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	52
4.3	Pengujian Terhadap Campuran Dengan Kadar Aspal Optimum	57
4.4	Pengaruh Perendaman Disertai Pembebanan Laston Di Dalam Air Hujan	69
BAB 5 KESIMPULAN dan SARAN		75
5.1	Kesimpulan.....	75
5.2	Saran	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Syarat Pemeriksaan Aspal Keras.....	10
Tabel 2.2	Syarat gradasi untuk filler.....	17
Tabel 2.3	Syarat Gradasi Untuk Berbagai Tipe Laston.....	19
Tabel 4.1	Perbandingan hasil percobaan dengan standar.....	46
Tabel 4.2	Sebaran butiran agregat kasar.....	47
Tabel 4.3	Sebaran butiran agregat medium.....	48
Tabel 4.4	Sebaran butiran agregat halus.....	49
Tabel 4.5	Perhitungan persentase agregat.....	51
Tabel 4.6	Komposisi campuran aspal untuk menentukan kadar aspal optimum.....	52
Tabel 4.7	Hasil pengujian Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum.....	53
Tabel 4.8	Komposisi campuran aspal dengan kadar aspal optimum.....	56
Tabel 4.9	Hasil pengujian Marshall dengan kadar aspal optimum.....	57
Tabel 4.10	Hasil pengujian Marshall dengan kadar aspal optimum tanpa perendaman dalam <i>waterbath</i>	57
Tabel 4.11	hasil pengujian Marshall untuk waktu perendaman 15 menit.....	59
Tabel 4.12	hasil pengujian Marshall untuk waktu perendaman 30 menit.....	60
Tabel 4.13	hasil pengujian Marshall untuk waktu perendaman 60 menit.....	62
Tabel 4.14	hasil pengujian Marshall untuk waktu perendaman 120 menit....	64
Tabel 4.15	hasil pengujian Marshall untuk waktu perendaman 360 menit....	66
Tabel 4.16	pengaruh perendaman dan pembebanan dalam air hujan terhadap stabilitas.....	69
Tabel 4.17	pengaruh perendaman dan pembebanan dalam air hujan terhadap kelelahan.....	69
Tabel 4.18	pengaruh perendaman dan pembebanan dalam air hujan terhadap kelenturan.....	70
Tabel 4.19	persentase perubahan kinerja lapis aspal beton akibat pembebanan dan perendaman dalam air hujan.....	70

Tabel 5.1 Hasil pemeriksaan material.....73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kerusakan Badan Jalan Yang Tergenang Air Hujan Di Depan Halte Balairung Universitas Indonesia.....	1
Gambar 2.1	Perkerasan Lentur.....	7
Gambar 2.2	Distribusi Beban Pada Struktur Jalan.....	8
Gambar 2.3	Peta Tingkat Keasaman Air Hujan Di Indonesia.....	18
Gambar 2.4	Syarat gradasi untuk LASTON tipe IV.....	19
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian.....	24
Gambar 3.2	Pemeriksaan Penetrasi Aspal.....	27
Gambar 3.3	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal.....	28
Gambar 3.4	Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar.....	29
Gambar 3.5	Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal.....	30
Gambar 3.6	Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam Karbon Tetraklorida.....	31
Gambar 3.7	Pemeriksaan Daktilitas Aspal.....	32
Gambar 3.8	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus.....	37
Gambar 3.9	Analisa Saringan Agregat.....	38
Gambar 3.10	Form Grafik Analisa Butiran.....	38
Gambar 3.11	Proses Pencampuran Aspal.....	39
Gambar 3.12	Pemadatan Benda Uji.....	40
Gambar 3.13	Pengujian Keasaman Air Hujan.....	41
Gambar 3.14	Pembebanan Dan Perendaman Benda Uji.....	42
Gambar 3.15	Pengujian Dengan Alat Marshall.....	44
Gambar 4.1	Grafik Sebaran Butiran Agregat Kasar.....	48
Gambar 4.2	Grafik Sebaran Butiran Agregat Medium.....	49
Gambar 4.3	Grafik Sebaran Butiran Agregat Halus.....	50
Gambar 4.4	Grafik Sebaran Butiran Gabungan.....	50
Gambar 4.5	Grafik Kadar Aspal vs Stabilitas.....	53
Gambar 4.6	Grafik Kadar Aspal vs VMA.....	54
Gambar 4.7	Grafik Kadar Aspal vs VIM.....	54

Gambar 4.8	Grafik Kadar Aspal vs Kelelahan.....	55
Gambar 4.9	Penentuan kadar aspal optimum.....	56
Gambar 4.10	Grafik Pembebanan Rata-Rata Untuk Waktu Perendaman 15 Menit.....	60
Gambar 4. 11	Grafik hubungan deformasi dan pembebanan sampel 15 menit....	60
Gambar 4.12	Grafik Pembebanan Rata-Rata Untuk Waktu Perendaman 30 Menit.....	61
Gambar 4. 13	Grafik hubungan deformasi dan pembebanan sampel 30 menit....	62
Gambar 4.14	Grafik Pembebanan Rata-Rata Untuk Waktu Perendaman 60 Menit.....	63
Gambar 4. 15	Grafik hubungan deformasi dan pembebanan sampel 60 menit....	64
Gambar 4.16	Grafik Pembebanan Rata-Rata Untuk Waktu Perendaman 120 Menit.....	65
Gambar 4. 17	Grafik hubungan deformasi dan pembebanan sampel 120 menit...	66
Gambar 4.18	Grafik Pembebanan Rata-Rata Untuk Waktu Perendaman 360 Menit.....	67
Gambar 4. 19	Grafik hubungan deformasi dan pembebanan sampel 360 menit...	68
Gambar 4.20	Grafik Pembebanan Gabungan.....	68
Gambar 4.21	Grafik Pengaruh Waktu Pembebanan Dan Perendaman Dalam Air Hujan Terhadap Stabilitas Laston.....	71
Gambar 4.22	Grafik Pengaruh Waktu Perendaman Dalam Air Hujan Terhadap Kelelahan Laston.....	71
Gambar 4.23	Grafik Pengaruh Waktu Perendaman Dalam Air Hujan Terhadap <i>Marshall Quotient</i> Laston.....	72

DAFTAR ISTILAH

LASTON	: Lapis Aspal Beton
Stabilitas	: kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis
VIM	: persen rongga terhadap campuran
VMA	: persen rongga terhadap agregat
Flow (kelelahan)	: perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat adanya beban sampai batas runtuh
Marshall Quotient (MQ)	: kelenturan campuran aspal (stabilitas / kelelahan)
pH	: tingkat keasaman
pH-meter	: alat untuk mengukur tingkat keasaman

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Lampiran 2 Pemerksaan Titik Lembek Aspal

Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Lampiran 4 Penurunan Berat Minyak dan Aspal

Lampiran 5 Kelarutan Aspal dalam Karbon Tetraklorida

Lampiran 6 Daktilitas Bahan Bitumen

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen

Lampiran 8 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Lampiran 9 Analisa Butiran Agregat

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan raya ialah jalan utama yang menghubungkan satu kawasan dengan kawasan yang lain. Perkerasan jalan harus dapat memberikan kenyamanan kepada pengguna jalan, berupa kondisi jalan yang baik sehingga tidak ada gangguan pada saat berkendara. Saat ini sering ditemukan badan jalan yang rusak/berlubang. Hal ini tentu saja menjadi gangguan bagi para pengguna jalan. Sehingga pengguna jalan tidak dapat lagi merasakan kenyamanan ketika menggunakan fasilitas jalan.



Gambar 1.1 Kerusakan badan jalan yang tergenang air hujan di depan halte Balairung Universitas Indonesia

Jalan yang rusak, seperti lubang pada badan jalan dan lain-lain, dapat menjadi penyebab kecelakaan lalu lintas.

Dari data penelitian transportasi disebutkan, 40 % penyebab kerusakan jalan adalah karena air, 30 % karena kelebihan muatan, dan sisanya karena bencana alam. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa air menyebabkan kerusakan pada sebagian besar badan jalan di Indonesia.

Tingginya curah hujan di Indonesia, yaitu dengan rata-rata 2000 - 3000 mm/tahun (<http://klastik.wordpress.com>, 3 Desember 2006), ditambah dengan tidak adanya sistem drainase di sisi jalan, memungkinkan terjadinya genangan air di badan jalan. Jika kondisi seperti ini terus berlangsung, akan semakin banyak badan jalan yang akan rusak dan berlubang. Berangkat dari masalah tersebut, dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh yang diberikan oleh air hujan terhadap kinerja dari aspal, khususnya lapis aspal beton (Laston) dengan material aspal Pertamina.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai melalui penelitian ini adalah:

- Mempelajari karakteristik Laston dan bahan pembentuknya
- Mempelajari karakteristik aspal secara umum dan secara khusus pada aspal Pertamina
- Menganalisa pengaruh perendaman dan pembebanan Laston di dalam air hujan terhadap kinerja campuran aspal

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini akan dibahas tentang perubahan kekuatan pada Lapis Aspal Beton (Laston) yang telah terpengaruh oleh air hujan. Sebagai pendekatan dilakukan penelitian di Laboratorium Bahan dan Laboratorium Lingkungan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

Ruang lingkup dalam penelitian ini antara lain:

- Aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70.

- Agregat yang digunakan adalah agregat bergradasi menerus untuk lapis antara (Laston) tipe IV.
- Pengujian dengan beberapa kadar aspal
 - 60 gram (5%)
 - 66 gram (5,5%)
 - 72 gram (6%)
 - 78 gram (6,5%)
- Beban yang digunakan sebesar 20 % dari nilai stabilitas campuran dengan kadar aspal 6,15%
- Bahan pembentuk Laston
 - Aspal : pen 60/70 merk Pertamina
 - Agregat kasar : batu pecah (split) maksimum 20 mm
 - Agregat halus : abu batu
 - Filler : semen
- Jenis pengujian

Adapun jenis-jenis pengujian yang akan dilakukan, antara lain:

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal
2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar
4. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal
5. Pemeriksaan Kelarutan Bitumen Aspal
6. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen

7. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen
8. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar
9. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus
10. Analisa Butiran
11. Analisa Campuran Agregat (*Blending*)
12. *Marshall Test*

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menggunakan material aspal Pertamina pada lapisan Laston
- Tidak memberikan tambahan zat aditif dalam benda uji
- Air hujan yang digunakan adalah air hujan untuk wilayah Depok dan sekitarnya
- Menggunakan variasi waktu sebagai variabel bebas, kinerja lapisan aspal sebagai variabel tak bebas, dan beban sebagai variabel tetap.
- Pengujian dilakukan dengan alat uji Marshall.
- Kinerja yang diukur adalah stabilitas Marshall, kelelahan, dan Marshall Quotient.
- Tidak dilakukan penelitian terhadap perubahan sifat kimia dari material.
- Benda uji yang digunakan untuk pembebanan dan perendaman dalam air hujan, tidak direndam dalam *waterbath* sebelum pengujian Marshall.
- Penelitian hanya dilakukan di laboratorium, tidak dilakukan penelitian lapangan.

1.5 Sistematika Penulisan

Bab 1 Pendahuluan

Bagian ini berisi latar belakang penelitian terhadap kekuatan campuran Laston yang dipengaruhi oleh air hujan.

Bab 2 Studi Literatur

Bagian ini berisi dasar teori mengenai Laston dan bahan pembentuknya, serta gambaran umum mengenai pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dengan studi literatur dari internet dan Perpustakaan Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Bagian ini berisi langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam meneliti Laston yang dipengaruhi oleh air hujan.

BAB 4 Data dan Analisa Hasil Penelitian

Bagian ini berisi penyajian data hasil pengujian berupa tabel dan grafik serta analisa data tersebut.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Bagian ini berisi kesimpulan hasil penelitian yang menjawab tujuan penelitian dan usulan yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Laboratorium Uji

Seluruh aktivitas pengujian dalam percobaan ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia Depok.

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1 Gambaran Umum Struktur Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti (Sukirman, 2007). Agar perkerasan memiliki daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis. Lapisan paling atas disebut juga sebagai lapisan permukaan, merupakan lapisan yang paling baik mutunya. Di bawahnya terdapat lapisan pondasi, yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan.

Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dibedakan menjadi:

- Perkerasan lentur
Perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
- Perkerasan kaku
Perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat.
- Perkerasan komposit
Lapisan perkerasan yang menggabungkan perkerasan kaku dan perkerasan lentur.

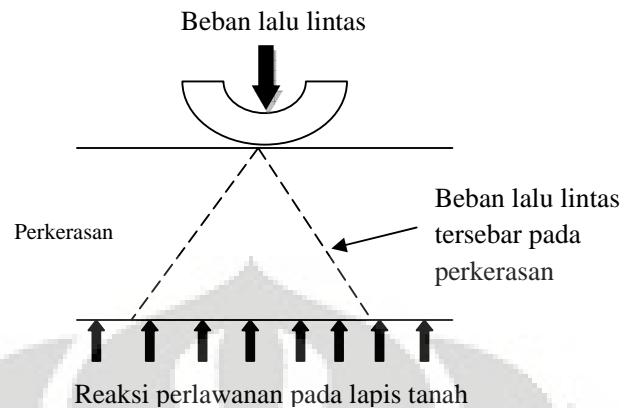


Gambar 2.1 Perkerasan lentur

Karena sifat penyebaran gaya, maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin ke bawah semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh gaya yang bekerja, lapisan pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima gaya vertikal saja.

Kendaraan pada posisi diam di atas struktur yang diperkeras menimbulkan beban langsung (tegangan statis) pada perkerasan yang terkonsentrasi pada bidang kontak yang kecil antara roda dan perkerasan. Distribusi beban yang diterima oleh perkerasan berbentuk piramid yang dapat diasumsikan mempunyai sudut 45° terhadap bidang horizontal.

Karena tegangan (beban per satuan luas) akibat beban lalu lintas makin besar ke arah permukaan, maka material yang lebih kuat lebih diperlukan di permukaan daripada di lapisan lain di bawahnya.



Gambar 2.2 Distribusi beban pada struktur jalan

Beban yang bekerja pada perkerasan lentur dalam bentuk gaya-gaya:

- Gaya vertikal yang merupakan berat dari beban kendaraan
- Gaya horizontal yang merupakan gaya geser dari rem
- Gaya getaran akibat pukulan roda

2.2 Material Perkerasan Jalan

Material dasar pembentuk lapisan perkerasan jalan, khususnya perkerasan lentur, adalah agregat dan aspal. Agregat merupakan material dengan komposisi terbesar dalam suatu lapisan perkerasan jalan. Daya dukung lapisan perkerasan ditentukan dari sifat butir-butir agregat dan gradasi agregatnya. Sedangkan aspal berfungsi sebagai material pengikat agregat.

2.2.1 Aspal

Aspal ialah material perekat berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen (Sukirman, 2007).

Aspal adalah bahan perekat yang berwarna coklat tua sampai hitam dengan kandungan utama hidrokarbon (Laboratorium Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009).

Secara garis besar komposisi kimia aspal:

- Carbon : 82-88%
- Hydrogen : 8-11%
- Sulfur : 0-16%
- Nitrogen : 0-1%
- Oksigen : 0-1,5%

Berdasarkan asalnya, aspal dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

- Aspal alam:
 - Lake asphalt (aspal danau)
 - Rock asphalt (aspal batu)
- Aspal minyak:
 - Asphalt cement
 - Liquid asphalt/cutback asphalt/aspal cair
 - Emulsified asphalt/aspal emulsi

Berdasarkan penggunaannya, aspal dibagi dalam beberapa jenis, antara lain:

1. Aspal Keras (Asphalt Cement/AC)

Aspal keras (Asphalt Cement/AC) adalah jenis aspal minyak yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan hampa udara, yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat (Laboratorium Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009). Terdapat beberapa persyaratan aspal keras, antara lain:

- a. Persyaratan Umum
 - Berasal dari hasil minyak bumi

- Mempunyai sifat sejenis
- Kadar paraffin tidak melebihi 7%
- Tidak mengandung air dan tidak berbusa jika dipanaskan sampai 175 °C

b. Berdasarkan pemeriksaan sesuai dengan syarat pada table berikut:

Tabel 2.1 Syarat Pemeriksaan Aspal Keras

Jenis Pemeriksaan	Pen 40/50		Pen 60/70		Pen 80/100		Satuan
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Penetrasi 25 °C, 100 gram, 5 detik	40	59	60	79	80	99	0.1 mm
Titik Lembek 5 °C (<i>Ring and Ball</i>)	51	63	48	58	46	54	Derajat Celcius
Titik Nyala (<i>Cleveland Open Cup</i>)	232	-	232	-	232	-	Derajat Celcius
Kehilangan Berat (<i>Thick Film Oven Test</i>)	-	0.4	-	0.4	-	0.4	% Berat
Kelarutan dalam CCl ₄	99	-	99	-	99	-	% Berat
Daktilitas	100	-	100	-	100	-	Cm
Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	75	-	75	-	% Semula
Berat jenis 25 °C	1	-	1	-	1	-	Gr/Cc

Sumber : *Pedoman Praktikum Bahan Perkerasan Jalan*, Laboratorium Bahan Jurusan Sipil Universitas Indonesia.

2. Aspal Cair

Aspal cair adalah aspal minyak yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair, terdiri dari aspal keras yang diencerkan dengan bahan pelarut (Laboratorium Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009).

Terdapat beberapa persyaratan aspal cair, antara lain:

- Kadar paraffin tidak lebih dari 2 %

- Tidak mengandung air dan jika dipakai tidak menunjukkan pemisahan atau penggumpalan

Aspal cair dikelompokkan berdasarkan pengencernya, yaitu:

- Bila ditambahkan benzene dinamakan *Rapid Curing* (RC)
- Bila ditambahkan kerosene dinamakan *Medium Curing* (MC)
- Bila ditambahkan minyak berat dinamakan *Slow Curing* (SC)

3. Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah suatu jenis aspal yang terdiri dari aspal keras, air, dan bahan pengemulsi, dimana pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair (Laboratorium Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009).

Aspal Emulsi dikelompokkan sebagai berikut:

- Emulsi Cathionic, terdiri dari aspal keras, air, dan larutan basa sehingga akan bermuatan positif (+).
- Emulsi Anionic, terdiri dari aspal keras, air, dan larutan asam sehingga bermuatan negative (-).

2.2.2 Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. Berdasarkan ASTM, agregat merupakan suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen.

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan.

Agregat adalah material dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi yang dipergunakan dalam pembuatan beton semen dan beton aspal (Somayaji, 2001).

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Gradasi agregat merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan.

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa pemeriksaan dengan menggunakan 1 set saringan. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase lolos, atau persentase tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat. Sifat ini sangat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Agregat campuran yang terdiri dari agregat berukuran sama akan berongga atau berpori banyak, karena tak terdapat agregat berukuran lebih kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi. Sebaliknya, jika campuran agregat terdistribusi dari agregat berukuran besar sampai kecil secara merata, maka rongga atau pori yang terjadi sedikit. Gradasi agregat dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk.

- Agregat bergradasi baik

Agregat bergradasi baik adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam suatu rentang ukuran butir. Campuran agregat bergradasi baik mempunyai pori sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Berdasarkan ukuran butiran yang dominan menyusun campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas:

1. Agregat bergradasi kasar, yaitu agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar.
2. Agregat bergradasi halus, yaitu agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus.

- Agregat bergradasi buruk

Agregat bergradasi buruk adalah agregat yang tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Agregat bergradasi buruk dapat dikelompokkan menjadi:

1. Agregat bergradasi seragam, yaitu agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama.
2. Agregat bergradasi terbuka, yaitu agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik.
3. Agregat bergradasi senjang, yaitu agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.

Agregat dapat dibedakan berdasarkan kelompok terjadinya, pengolahan, ukuran butiran, dan bentuknya.

Berdasarkan proses terjadinya, agregat dapat dibedakan atas :

- Agregat beku (*igneous rock*)

Agregat beku adalah agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Contoh agregat beku : batu apung, andesit, basalt, gabbro, diorit, syenit, dan lain-lain.

- Agregat sedimen (*sedimentary rock*)

Agregat sedimen merupakan agregat yang berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut, dan sebagainya. Contoh agregat sedimen : batu pasir, batu lempung, batu gamping, batu bara, garam, gips, dan lain-lain.

- Agregat metamorfik (*metamorphic rock*)

Agregat metamorfik adalah agregat sedimen maupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi. Contoh agregat metamorfik : marmer, kuarsit, batu sabak, filit, sekis.

Berdasarkan pengolahannya, agregat dapat dibedakan atas:

- Agregat siap pakai

Agregat siap pakai adalah agregat yang dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana diperoleh di lokasi asalnya, atau dengan sedikit proses pengolahan. Contoh agregat siap pakai adalah kerikil dan pasir.

- Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai

Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai adalah agregat yang diperoleh di bukit-bukit, di gunung-gunung, ataupun di sungai-sungai. Agregat jenis ini memerlukan proses pengolahan, misalnya pemecahan dengan mesin pemecah batu, terlebih dahulu sebelum digunakan. Contoh agregat ini adalah semen, kapur, abu terbang, dan lain-lain.

Berdasarkan bentuknya, agregat dapat dibedakan menjadi:

- Agregat bulat (*rounded*)

Agregat yang biasanya dapat ditemui di sungai yang telah mengalami erosi sehingga berbentuk bulat dan licin. Bidang kontak antar agregat berbentuk bulat sangat sempit, hanya berupa titik singgung, sehingga menghasilkan penguncian antar agregat yang tidak baik, dan menghasilkan kondisi kepadatan lapisan perkerasan yang kurang baik.

- Agregat kubus (*cubical*)

Agregat kubus pada umumnya merupakan agregat hasil pemecahan batu masif, atau hasil pemecahan mesin pemecah batu. Bidang kontak agregat ini luas, sehingga mempunyai daya saling mengunci yang baik. Kestabilan yang diperoleh lebih baik dan lebih tahan terhadap deformasi.

- Agregat lonjong (*elongated*)

Agregat berbentuk lonjong dapat ditemui di sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya lebih besar dari 1,8 kali diameter rata-rata. Sifat agregat berbentuk lonjong hampir sama dengan agregat berbentuk bulat.

- Agregat pipih (*flaky*)

Agregat berbentuk pipih dapat merupakan hasil produksi dari mesin pemecah batu, dan biasanya agregat ini memang cenderung pecah dengan bentuk pipih. Agregat pipih adalah agregat yang ketebalannya lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata.

- Agregat tak beraturan (*irregular*)

Agregat tak beraturan adalah agregat yang bentuknya tidak mengikuti salah satu bentuk di atas.

Berdasarkan ukuran butirnya, agregat dapat dibagi menjadi 3, yaitu agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*).

2.2.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm (RSNI, 2002).

Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet dan bebas dari bahan lain yang mengganggu serta memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Keausan pada 500 putaran maksimum 40%
2. Kelekatan dengan aspal minimum 95%
3. Jumlah berat butiran tertahan saringan no. 4 yang mempunyai paling sedikit dua bidang pecah (visual) minimum 50% (untuk kerikil pecah)
4. Indeks kepipihan/kelonjongan butiran tertahan 9,5 mm atau 3/8" maksimum 25%
5. Penyerapan air maksimum 3%
6. Berat jenis curah (bulk) minimum 2,5
7. Bagian lunak maksimum 5%

2.2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran sebesar 5 mm (RSNI, 2002).

Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran atau bahan lain yang mengganggu. Agregat halus harus terdiri dari pasir alam atau pasir buatan atau gabungan dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering. Agregat halus harus memenuhi persyaratan:

1. Nilai Sand Equivalent minimum 50
2. Berat jenis curah (bulk) minimum 2,5
3. Peresapan agregat terhadap air maksimum 3%
4. Pemeriksaan Atterberg Limit harus menunjukkan bahan adalah non plastis

2.2.2.3 Filler

Filler merupakan material pengisi yang terdiri dari abu batu, abu batu kapur, semen (pc) atau bahan non plastis lainnya. Filler atau bahan pengisi harus

kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu dan apabila dilakukan pemeriksaan analisa saringan secara basah, harus memenuhi gradasi sebagai berikut :

Tabel 2.2 Syarat gradasi untuk filler

Ukuran Saringan	Persen Lolos
No. 30	100
No. 50	95 – 100
No. 100	90 – 100
No. 200	65 - 100

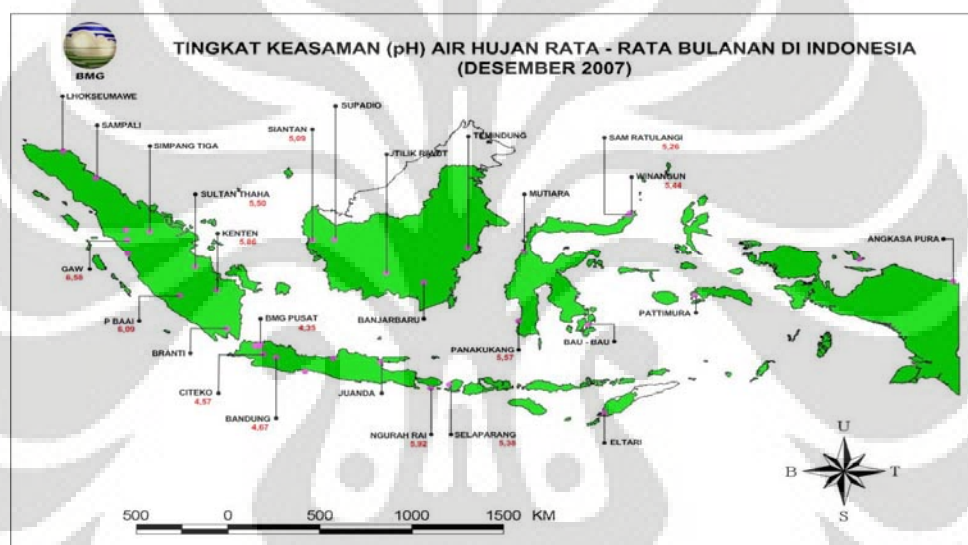
Sumber : *Pedoman Praktikum Bahan Perkerasan Jalan – Laboratorium Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia*

2.3 Air Hujan

Hujan merupakan satu bentuk presipitasi, atau turunan cairan dari angkasa, seperti salju, hujan es, embun dan kabut. Hujan terbentuk apabila titik air yang terpisah jatuh ke bumi dari awan. Hujan memainkan peranan penting dalam siklus hidrologi di mana air dari laut menguap, bertukar menjadi awan, terkumpul menjadi awan, lalu turun kembali ke bumi, dan akhirnya kembali ke laut melalui sungai dan anak sungai. Batas nilai rata-rata pH air hujan adalah 5.6, merupakan nilai yang dianggap normal atau hujan alami seperti yang telah disepakati secara internasional. Apabila pH air hujan lebih rendah dari 5.6 maka hujan bersifat asam, atau sering disebut dengan hujan asam dan apabila pH air hujan lebih besar 5.6 maka hujan bersifat basa. Dampak hujan yang bersifat asam dapat mengikis bangunan/gedung atau bersifat korosif terhadap bahan bangunan, merusak kehidupan biota di danau-danau, dan aliran sungai.

Hingga Desember 2007, BMG mempunyai 27 (duapuluh tujuh) stasiun pemantauan kualitas air hujan tersebar diseluruh Indonesia. Dari setiap stasiun tersebut, sampel air hujan akan dikirim ke Laboratorium Kualitas Udara Badan

Meteorologi dan Geofisika, di Jakarta, untuk dianalisis lebih lanjut. Parameter yang dihasilkan meliputi tingkat keasaman (pH), daya hantar listrik (*conductivity*), konsentrasi kation meliputi Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Amonium (NH_4), Natrium (Na) dan Kalium (K), serta konsentrasi Anion meliputi Sulphat (SO_4), Nitrat (NO_3), dan Klorida (Cl). Hingga periode tersebut, diketahui bahwa untuk daerah Jakarta, tingkat keasaman (pH) air hujan telah mencapai 4,35. Hal tersebut menandakan bahwa daerah Jakarta dan sekitarnya telah mengalami hujan asam.



Gambar 2.3 Peta tingkat keasaman air hujan di Indonesia

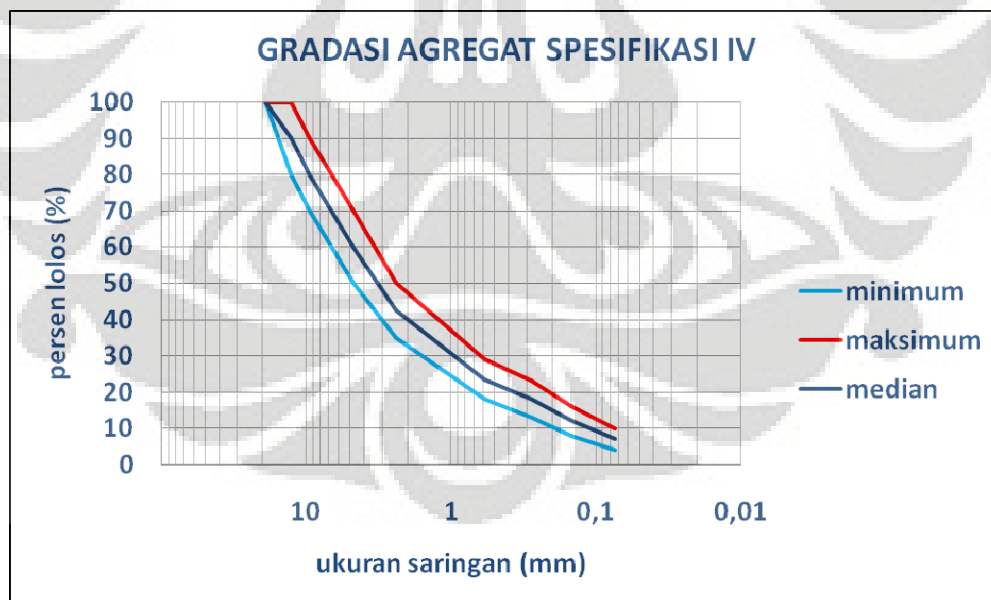
2.4 Laston

Laston (lapisan aspal beton) adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal pula dengan nama AC (*Asphalt Concrete*). Menurut Binamarga, LASTON dibagi menjadi 11 tipe berdasarkan sebaran butirannya. Dalam penelitian ini digunakan LASTON dengan tipe IV yang digunakan untuk lapis permukaan. Adapun gradasi agregat untuk berbagai tipe LASTON dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Syarat Gradasi Untuk Berbagai Tipe Laston

No. Campuran	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Gradasi/Tekstur	Kasar	Kasar	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat
Tebal padat (mm)	20-40	25-50	20-40	25-50	40-65	50-75	40-50	20-40	40-65	40-65	40-50
Ukuran Saringan	% BERAT YANG LOLOS SARINGAN										
1 1/2" (38,1 mm)	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
1" (25,4 mm)	-	-	-	-	100	90-100	-	-	100	100	-
3/4" (19,1 mm)	-	100	-	100	80-100	82-100	100	-	85-100	85-100	100
1/2" (12,7 mm)	100	75-100	100	80-100	-	72-90	80-100	100	-	-	-
3/8" (9,52 mm)	75-100	60-85	80-100	70-90	60-80	-	-	-	65-85	56-78	74-92
No. 4 (4,76 mm)	35-55	35-55	55-75	50-70	48-65	52-70	54-72	62-80	45-65	38-60	48-70
No. 8 (2,38 mm)	20-35	20-35	35-50	35-50	35-50	40-56	42-58	44-60	34-54	27-47	33-53
No. 30 (0,59 mm)	10-22	10-22	18-29	18-29	19-30	24-36	26-38	28-40	20-35	13-28	15-30
No. 50 (0,279 mm)	6-16	6-16	13-23	13-23	13-23	16-26	18-28	20-30	16-26	9-20	10-20
No. 100 (0,149 mm)	4-12	4-12	8-16	8-16	7-15	10-18	12-20	12-20	10-18	-	-
No.200 (0,074 mm)	2-8	2-8	4-10	4-10	1-8	6-12	6-12	6-12	5-10	4-8	4-9

Sumber : *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya-*
Departemen Pekerjaan Umum.



Gambar 2.4 Syarat gradasi untuk LASTON tipe IV

2.5 Marshall Test

Pengujian Marshall adalah suatu metoda pengujian untuk mengukur stabilitas dan kelelahan plastis campuran beraspal dengan menggunakan alat Marshall. Konsep metode marshall untuk campuran laston dirumuskan oleh Bruce Marshall dengan The Mississippi State Highway Departement. Pertama kali pengujian harus dilakukan untuk meyakinkan bahwa:

- Kualitas bahan yang digunakan memenuhi syarat spesifikasi bahan
- Kombinasi campuran agregat memenuhi persyaratan spesifikasi gradasi

Kedua persyaratan di atas adalah persyaratan yang telah ditetapkan oleh departemen pekerjaan umum berdasarkan Petunjuk Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) dari campuran aspal.

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kg atau pound. Nilai ini diperoleh dengan mengalikan nilai jarum pada arloji penunjuk stabilitas pada alat uji Marshall dengan faktor kalibrasi alat dan faktor korelasi benda uji. Nilai yang diperoleh ini akan menunjukkan kekuatan struktural suatu campuran aspal yang dipengaruhi oleh kandungan aspal, susunan gradasi, dan kualitas agregat dalam campuran.

Kelelahan adalah perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat adanya beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 *inch*. Pengukuran kelelahan plastis dilakukan bersamaan dengan pengukuran stabilitas dimana nilai kelelahan dibaca pada arloji pada saat benda uji mengalami keruntuhan.

Pada dasarnya, untuk mengetahui kinerja dari campuran aspal yang digunakan pada struktur perkerasan jalan, faktor-faktor yang harus diperhatikan sangat banyak. Akan sangat sulit mencari metode pengujian yang dapat meneliti semua faktor tersebut hanya dalam satu cara. Tetapi sebagian besar dari faktor-faktor tersebut dapat diuji dengan menggunakan alat Marshall. Hasil yang diperoleh dari pengujian dengan alat Marshall, antara lain:

- Stabilitas
- *Marshall Quotient* (MQ)
- Kelelahan



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rencana Penelitian

Penelitian akan dilakukan pada campuran Laston dengan aspal pen 60/70.

Penelitian dilakukan dalam dua tahap, yaitu:

- Pengujian dengan beberapa kadar aspal
- Pengujian dengan kadar aspal optimum

Pada tahap pertama, dilakukan persiapan material yang digunakan. Material yang dipersiapkan antara lain aspal dan agregat untuk membuat benda uji serta air hujan yang digunakan untuk merendam benda uji. Setelah semua material terkumpul, maka akan dilakukan pengujian standar untuk material tersebut. Untuk material aspal dilakukan beberapa pengujian, sebagai berikut:

- Pemeriksaan Penetrasi Aspal
- Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
- Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar
- Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal
- Pemeriksaan Kelarutan Bitumen Aspal
- Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen
- Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen

Untuk mengetahui karakteristik dari agregat dilakukan beberapa pengujian, sebagai berikut:

- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Sedangkan untuk air hujan hanya dilakukan pengujian terhadap tingkat keasamannya. Pemeriksaan ini akan digunakan di Laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pengujian yang dilakukan hanya berupa pengujian sederhana menggunakan kertas lakmus.

Setelah pemeriksaan terhadap material selesai dilakukan, data yang diperoleh akan dibandingkan dengan spesifikasi. Jika material tersebut tidak memenuhi standar, maka akan dilakukan pemeriksaan ulang. Pengujian ini akan dilakukan terus sampai diperoleh material yang memenuhi spesifikasi. Jika material telah memenuhi spesifikasi, maka dapat dilanjutkan dengan pembuatan benda uji. Pada proses ini, akan digunakan 4 variasi kadar aspal, yaitu 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Pembuatan benda uji dapat dilaksanakan setelah kita memperoleh hasil analisa saringan agregat. Setelah diperoleh persentase dari masing-masing agregat, maka kita dapat menghitung komposisi campuran.

Setelah benda uji selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan alat Marshall. Dari pengujian ini diperoleh data-data mengenai kinerja campuran aspal. Data kinerja campuran aspal tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan kadar aspal optimum.

Pada tahap berikutnya, akan dilakukan kembali perancangan dan pembuatan benda uji. Yang berbeda, pada tahap ini hanya digunakan satu jenis kadar aspal, yaitu dengan kadar aspal optimum. Pengujian terhadap benda uji yang dibuat dengan menggunakan kadar aspal optimum ini dibagi menjadi 2 kategori, yaitu :

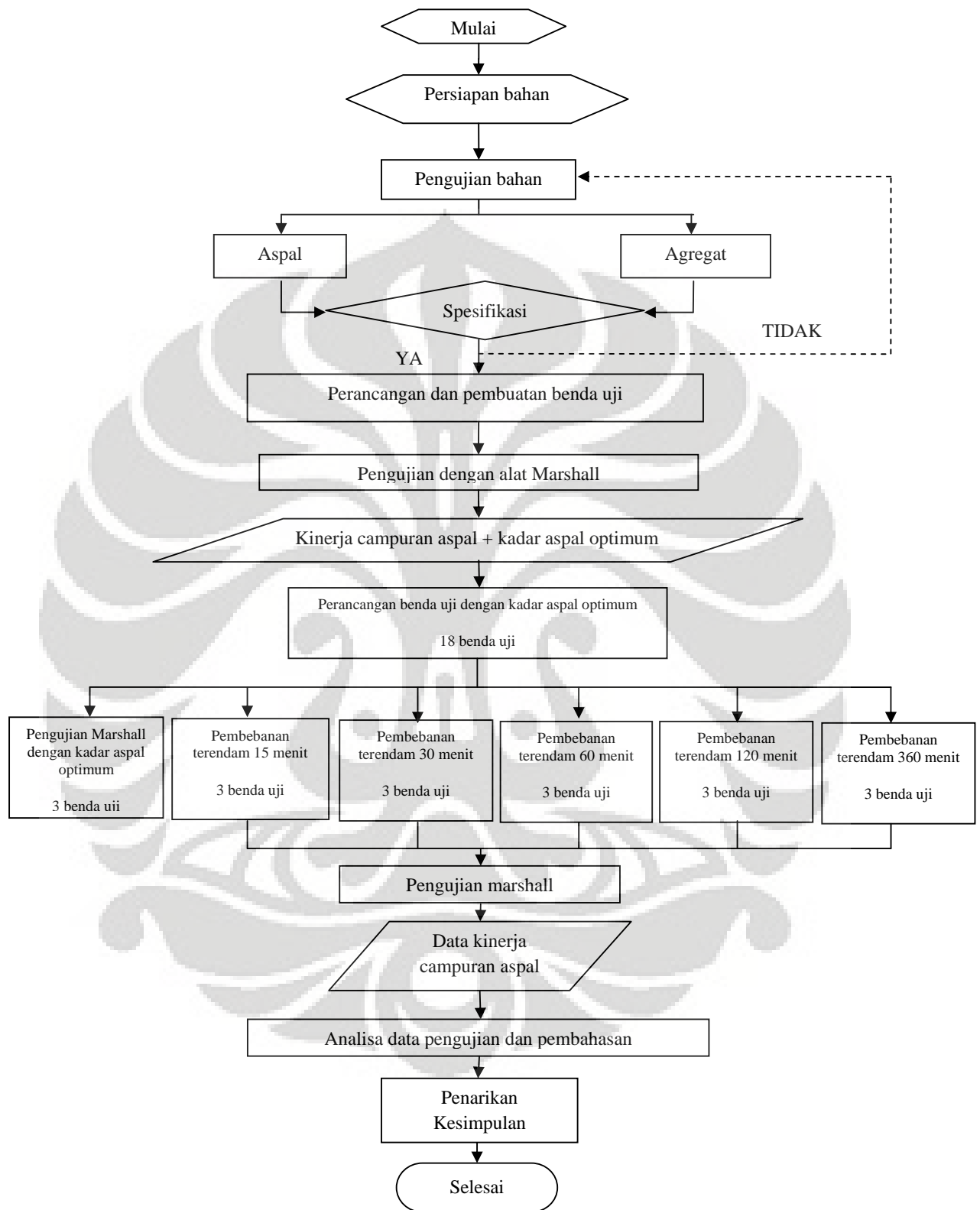
- Pengujian dengan alat Marshall tanpa *waterbath* sebanyak 3 sampel. Hasil pengujian ini kemudian digunakan sebagai pembanding terhadap pengujian selanjutnya.
- Pengujian dengan pemberian repetisi beban statis sebesar 20% dari nilai stabilitas tanpa *waterbath* dan direndam di dalam air hujan sebanyak 15 sampel dengan masing-masing 3 sampel untuk tiap variasi waktu pembebanan. Beban yang diberikan merupakan asumsi dari beban lalu

lintas. Pemberian beban dilakukan secara konvensional, yaitu dengan menggunakan alat Marshall. campuran aspal di letakkan dalam wadah berisi air hujan dan kemudian beban sesuai target (20 % dari nilai stabilitas). Setiap 2 menit dilakukan pembacaan terhadap *proving ring* dan pemberian beban kembali hingga batas beban sesuai target. Hal ini dilakukan karena sifat elastis aspal yang memungkinkan terjadinya pemadatan pada saat diberi beban sehingga beban efektif yang terjadi tidak sebesar beban rencana. Oleh karena itu setiap 2 menit dilakukan penambahan beban agar kembali ke beban rencana. Perendaman akan dilakukan dengan beberapa variasi waktu perendaman, yaitu 15 menit, 30 menit, 60 menit, 120 menit, dan 360 menit. Setelah waktu perendaman tercapai, maka dilakukan pengujian dengan alat Marshall untuk memperoleh data kinerja campuran aspal setelah pembebanan terendam.

Berikut merupakan jumlah benda uji yang dibutuhkan:

➤ Pengujian dengan beberapa kadar aspal			
kadar aspal 5%	3x1	=	3
kadar aspal 5,5%	3x1	=	3
kadar aspal 6%	3x1	=	3
kadar aspal 6,5%	3x1	=	3
➤ Pengujian dengan kadar aspal 6,15%			
Tanpa perendaman + pembebanan	3x1	=	3
Direndam dengan air hujan + pembebanan			
waktu 1/4 jam	3x1	=	3
waktu 1/2 jam	3x1	=	3
waktu 1 jam	3x1	=	3
waktu 2 jam	3x1	=	3
waktu 6 jam	3x1	=	3

Total = 30 benda uji.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.2 Pelaksanaan

3.2.1 Bahan Baku Penelitian

Bahan baku penelitian meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus, dan air hujan.

- Aspal

Merk : Aspal Pertamina

- Agregat Halus

Tipe : Abu batu

Ukuran : 0,075 mm – 4,75 mm

Berat Jenis : minimum 2500 kg/m³

- Agregat Kasar

Tipe : Batu Pecah (*Split*)

Ukuran : maksimum 20 mm

Berat Jenis : minimum 2500 kg/m³

- Air Hujan

3.2.2 Standar Pengujian

Dalam penelitian di laboratorium dilakukan pemeriksaan bahan-bahan pembentuk Laston. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar, pengujian terhadap material aspal, serta pengujian terhadap aspal keras/laston. Beberapa metode standar yang digunakan, antara lain:

a) Metode Standar untuk Pengujian Material Aspal

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Tujuan : Untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid).

Prosedur :

- a. Letakkan benda uji dalam tempat air yang kecil dan masukkan tempat air tersebut ke dalam bak perendam yang telah berada pada suhu yang telah ditetapkan (25°C). Diamkan dalam bak tersebut selama 1 sampai 1,5 jam untuk benda uji kecil dan 1,5 sampai 2 jam untuk benda uji besar.
- b. Periksalah pemegang jarum agar jarum dapat dipasang dengan baik dan bersihkan jarum penetrasi dengan toluene atau pelarut lain kemudian keringkan jarum tersebut dengan lap bersih dan pasanglah jarum pada pemegang jarum.
- c. Letakkan pemberat 50 gram di atas jarum untuk memperoleh beban sebesar $(100 \pm 0,1)$ gram.
- d. Pindahkan tempat air dan benda uji dari bak perendam ke bawah alat penetrasi.
- e. Turunkan jarum perlahan-lahan sehingga jarum tersebut menyentuh permukaan benda uji. Kemudian aturlah angka 0 (nol) di arloji penetrometer, sehingga jarum penunjuk berimpit dengan angka 0 (nol).
- f. Lepaskan pemegang jarum dan serentak jalankan stopwatch selama jangka waktu $(5 \pm 0,1)$ detik.
- g. Putarlah arloji penetrometer dan bacalah angka penetrasi yang berimpit dengan jarum penunjuk. Bulatkan hingga angka 0,1 mm terdekat.
- h. Lepaskan jarum dari pemegang jarum dan siapkan alat penetrasi untuk pekerjaan berikutnya.

- i. Lakukan pekerjaan a sampai g di atas tidak kurang dari 3 kali untuk benda uji yang sama dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan berjarak satu sama lainnya dari tepi dinding lebih dari 1 cm.



Gambar 3.2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

Tujuan : Untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30°C sampai 200°C.

Prosedur :

- a. Pasang dan aturlah kedua benda uji di atas dudukannya dan letakkan pengarah bola di atasnya. Kemudian masukkan seluruh peralatan tersebut ke dalam bejana gelas. Isilah bejana dengan air suling baru, dengan suhu $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$ sehingga tinggi permukaan air berkisar antara 101,6 mm sampai 108 mm. Letakkan termometer yang sesuai pekerjaan ini diantara kedua benda uji (kurang lebih 12,7 mm dari tiap cincin).
- b. Letakkan bola-bola baja yang bersuhu $5 ^\circ\text{C}$ di atas dan ditengah permukaan masing-masing benda uji yang bersuhu $5 ^\circ\text{C}$ menggunakan penjepit dengan bantuan pengarah bola.

- c. Panaskan bejana dengan kecepatan pemanasan $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ per menit. Kecepatan pemanasan ini tidak boleh diambil dari kecepatan pemanasan rata-rata dari awal dan akhir pekerjaan ini. Untuk 3 (tiga) menit berikutnya perbedaan kecepatan pemanasan permenit tidak boleh melebihi $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3.3 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Tujuan : Untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua jenis hasil minyak bumi kecuali minyak bakar dan bahan lainnya yang mempunyai titik nyala open cup kurang dari $79\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Prosedur :

- a. Letakkan cawan di atas pelat pemanas dan aturlah sumber pemanas sehingga terletak di bawah titik tengah cawan.
- b. Letakkan nyala penguji dengan poros jarak $7,5\text{ cm}$ dari titik tengah cawan.
- c. Tempatkan termometer tegak lurus di dalam benda uji dengan jarak $6,4\text{ mm}$ di atas dasar cawan dan terletak pada satu garis yang menghubungkan titik tengah cawan dan titik poros nyala penguji. Kemudian aturlah sehingga poros termometer terletak pada jarak $\frac{1}{4}$ diameter cawan tepi.
- d. Tempatkan penahan angin di depan nyala penguji.
- e. Nyalakan sumber pemanas dan aturlah pemanasan sehingga kenaikan suhu menjadi $(15 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ per menit sampai benda uji mencapai suhu $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ dibawah titik nyala perkiraan.

- f. Kemudian aturlah kecepatan pemanasan $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ per menit sampai $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ di bawah titik nyala perkiraan.
- g. Nyalakan nyala penguji dan aturlah agar diameter nyala penguji tersebut menjadi 3,2 sampai 4,8 mm.
- h. Putarlah nyala penguji sehingga melalui permukaan cawan (dari tepi ke tepi cawan) dalam waktu satu detik. Ulang pekerjaan tersebut setiap kenaikan $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- i. Lanjutkan pekerjaan f dan h sampai terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan benda uji. Bacalah suhu pada termometer dan catat.
- j. Lakukan pekerjaan i sampai terlihat nyala yang agak lama sekurang-kurangnya 5 detik di atas permukaan benda uji (aspal). Bacalah suhu pada termometer dan catat.



Gambar 3.4 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

4. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal

Tujuan : Untuk menetapkan kehilangan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu, yang dinyatakan dalam persen berat semula.

Prosedur :

- a. Letakkan benda uji di atas piringan setelah oven mencapai suhu $(163 \pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- b. Pasanglah termometer padauduknya sehingga terletak pada jarak 1,9 cm dari pinggir pinggan dengan ujung 6 mm di atas pinggan.
- c. Ambil benda uji dari oven setelah 5 (lima) jam sampai 5 jam 15 menit.
- d. Dinginkan benda uji pada suhu ruang, kemudian timbanglah dengan ketelitian 0,01 gram (B).

Penurunan berat pada minyak dan aspal dihitung dari jumlah kehilangan berat aspal setelah pemanasan dibagi dengan berat aspal semula (sebelum pemanasan) :

$$\text{Penurunan Berat (\%)} = \frac{(A - B)}{A} \times 100 \%$$

Dimana : A = Berat aspal sebelum pemanasan (gram)

B = Berat aspal setelah pemanasan (gram)



Gambar 3.5 Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal

5. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam Karbon Tetraklorida

Tujuan : Untuk menentukan kadar bitumen yang larut dalam Karbon Tetra Klorida (CCl₄).

Prosedur :

- a. Timbang gelas ukur (A).
- b. Benda uji dimasukkan ke gelas ukur, kemudian ditimbang (B).
- c. Kertas penyaring yang akan digunakan ditimbang (C).
- d. Masukkan cairan karbon tetra klorida ke dalam gelas ukur hingga 1/3 tinggi gelas ukur, dan diaduk perlahan-lahan hingga melarutkan benda uji.
- e. Larutan bitumen disaring dengan cara menuangkan ke dalam erlemeyer melalui corong yang di atasnya diletakkan kertas penyaring.
- f. Setelah kertas penyaring kering, ditimbang (D).

$$\text{Kadar Kelarutan} = \frac{(B - A) - (D - C)}{(B - A)} \times 100 \%$$

Dimana : A = berat gelas ukur (gram)

B = berat benda uji pada gelas ukur (gram)

C = berat kertas penyaring (gram)

D = berat kertas penyaring setelah terkena larutan (gram)



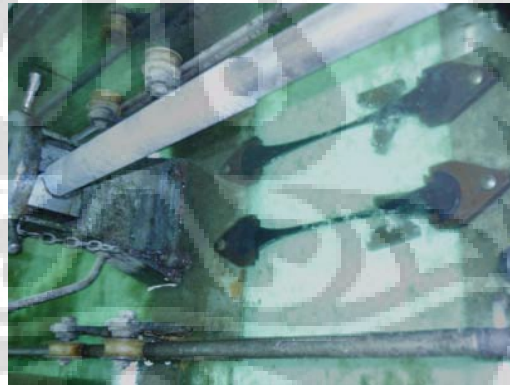
Gambar 3.6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam Karbon Tetraklorida

6. Pemeriksaan Daktilitas Aspal

Tujuan : Untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

Prosedur :

- a. Benda uji didiamkan pada suhu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ dalam bak perendam selama 85 sampai 95 menit, kemudian lepaskan benda uji dari pelat dasar dan sisi-sisi cetakannya.
- b. Pasanglah benda uji pada alat mesin uji dan tariklah benda uji secara teratur dengan kecepatan 5 cm per menit, sampai benda uji putus. Perbedaan kecepatan lebih kurang 5% masih diijinkan. Bacalah jarak antara pemegang cetakan, pada saat benda uji putus (dalam cm). Selama percobaan berlangsung benda uji selalu terendam sekurang-kurangnya 2,5 cm dari air dan suhu dipertahankan tetap $(25 \pm 0,5)\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3.7 Pemeriksaan Daktilitas Aspal

7. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen

Tujuan : Untuk menentukan berat jenis bitumen keras dan ter dengan piknometer.

Prosedur :

- a. Isilah bejana dengan air suling sehingga diperkirakan bagian atas piknometer yang tidak terendam setinggi 40 mm. Kemudian rendam dan jepitlah bejana tersebut dalam bak perendam sekurang-kurangnya 100 mm aturlah suhu bak perendam pada suhu 25 °C.
- b. Bersihkan, keringkan dan timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg (A).
- c. Angkatlah bejana dari bak perendam dan isilah piknometer dengan air suling kemudian tutuplah piknometer tanpa ditekan.
- d. Letakkan piknometer ke dalam bejana dan tekanlah penutup sehingga rapat, kembalikan bejana berisi piknometer ke dalam bak perendam. Diamkan bejana tersebut di dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit, kemudian angkatlah piknometer dan keringkan dengan lap (kain pel). Timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg (B).
- e. Tuanglah benda uji tersebut ke dalam piknometer yang telah kering hingga terisi $\frac{3}{4}$ bagian.
- f. Biarkan piknometer sampai dingin, waktu tidak kurang dari 40 menit dan timbanglah dengan penutupnya dengan ketelitian 1 mg (C).
- g. Isilah piknometer yang berisi benda uji dengan air dan tutuplah tanpa ditekan, diamkan agar gelembung-gelembung udara keluar.
- h. Angkatlah bejana dari bak perendam dan letakkan piknometer di dalamnya dan kemudian tekanlah penutup hingga rapat.
- i. Masukkan dan diamkan bejana ke dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit. Angkat, keringkan dan timbanglah piknometer (D).

Perhitungan berat jenis dengan rumus :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

Dimana : A = berat piknometer (dengan penutup) (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi aspal (gram)

D = berat piknometer berisi aspal dan air (gram)

b) Metode Standar untuk Pengujian Agregat

1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Tujuan : Untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*) dari agregat kasar.

Prosedur :

- a. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan
- b. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu 105°C sampai berat tetap
- c. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gr (Bk)
- d. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam
- e. Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (SSD), untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu
- f. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (Bj)

- g. Letakkan benda uji didalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan udara yang tersekap dan tentukan beratnya didalam air (B_a). Ukur suhu air untuk meyesuaikan perhitungan kepada suhu standard (25°C).

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar :

$$\text{Berat jenis} = BK / (B_j - B_a)$$

$$\text{Berat jenis SSD} = B_j / (B_j - B_a)$$

$$\text{Berat jenis semu} = BK / (BK - B_a)$$

$$\text{Penyerapan} = (B_j - BK) / BK \times 100\%$$

Dimana :

BK = Berat kering oven

B_j = Berat jenuh kering permukaan

B_a = Berat agregat dalam air

2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Tujuan : Untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*) dari agregat halus.

Prosedur :

- a. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, yang dimaksud dengan berat tetap adalah keadaan berat yang diuji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut, tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih besar daripada 0,1%. Dinginkan dalam suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama (24 ± 4) jam

- b. Buang air perendam hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat diatas talam, keringkan diudara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji. Lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.
- c. Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisi benda uji kedalam kerucut terpancung padatkan dengan batang penumpuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- d. Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji kedalam piknometer, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya. Untuk mempercepat proses ini dapat dipergunakan pompa hampa udara tetapi harus diperhatikan jangan sampai ada air yang ikut terhisap, dapat juga dilakukan dengan merebus piknometer.
- e. Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25°C.
- f. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas
- g. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (Bt)
- h. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu (110 ± 5)°C sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator
- i. Setelah benda uji dingin kemudian timbanglah (Bk)
- j. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standard 25°C (B).

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus :

$$\text{Berat jenis} = BK / (B + B_j - B_t)$$

$$\text{Berat jenis SSD} = B_j / (B + B_j - B_t)$$

$$\text{Berat jenis semu} = B_K / (B + B_K - B_t)$$

$$\text{Penyerapan} = ((B_j - B_K) / B_K) \times 100\%$$

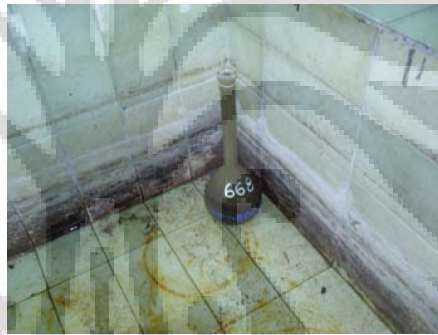
Dimana :

BK = Berat kering oven

Bj = Berat jenuh kering permukaan

B = Berat piknometer berisi air

Bt = Berat piknometer berisi air + benda uji



Gambar 3.8 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

3. Analisa Butiran

Tujuan: Untuk menentukan distribusi ukuran butiran (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

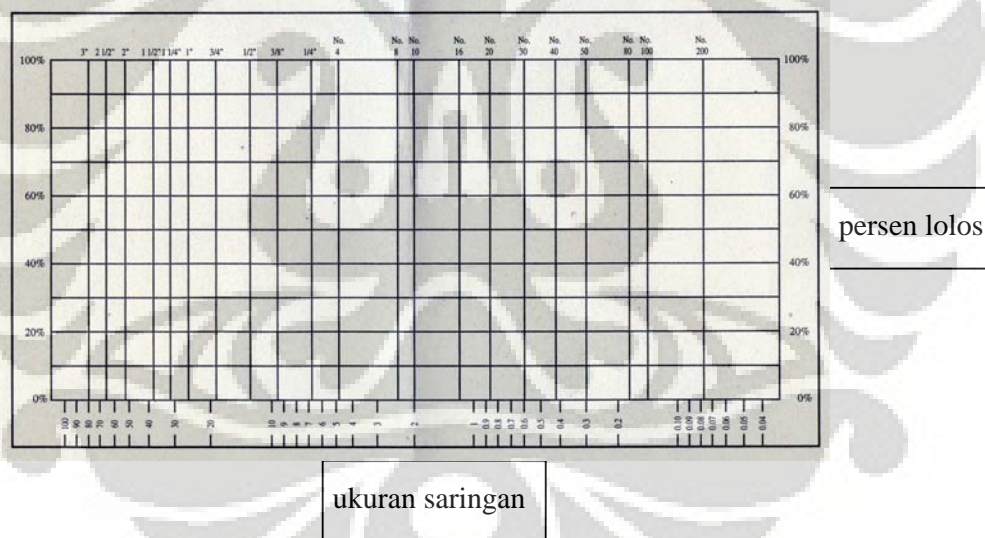
Prosedur :

- a. Benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.

- b. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas diguncangkan dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
- c. Benda uji ditimbang pada masing-masing saringan



Gambar 3.9 Analisa Saringan Agregat



Gambar 3.10 Form grafik analisa butiran

3.2.3 Perancangan dan Pembuatan Benda Uji

Setelah diperoleh grafik analisa butiran, langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji sebanyak jumlah benda uji yang ada dalam rencana

penelitian. Pembuatan benda uji ini dilakukan dua kali. Yang pertama dengan 4 variasi kadar aspal. Yang kedua dilakukan dengan menggunakan kadar aspal 6,15%. Benda uji kedua digunakan pada proses perendaman dan pembebanan dalam air hujan.

Prosedur:

Persiapan Campuran

Untuk tiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $6,25 \text{ cm} \pm 0,125$ ($2,5'' \pm 0,05''$).

Panaskan panci pencampur beserta agregat kira-kira $\pm 28^{\circ}\text{C}$ diatas suhu pencampur untuk aspal panas dan tar dan aduk sampai merata, untuk aspal dingin pemanasan sampai 14°C diatas suhu pencampuran.

Sementara itu panaskan aspal sampai suhu pencampuran. Tuangkan aspal sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan tersebut. Kemudian aduklah dengan cepat sampai agregat terlapisi rata.



Gambar 3.11 Proses pencampuran aspal

Pemadatan Benda Uji

Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara $93,3^{\circ}\text{C}$ dan $148,9^{\circ}\text{C}$.

Letakkan selebar kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting menurut ukuran cetakan kedalam dasar cetakan, kemudian masukkan seluruh campuran kedalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran keras-keras dengan spatula yang dipanaskan atau aduklah dengan sendok semen 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali di bagian dalam.

Lepaskan lehernya dan ratakanlah permukaan campuran dengan mempergunakan sendok semen menjadi bentuk yang sedikit cembung. Waktu akan dipadatkan suhu campuran harus dalam batas-batas suhu pemadatan.

Letakkan cetakan diatas landasan pematat, dalam pemegang cetakan. Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 75, 50, atau 35 kali sesuai kebutuhan dengan tinggi jatuh 45 cm (18”), selama pemadatan tahanlah agar sumbu palu pemadat selalu tegak lurus pada cetakan. Lepaskan keping alas dan balikkan alat cetak berisi benda uji dan pasang kembali lehernya dibalik ini tumbuklah dengan jumlah tumbukkan yang sama.

Sesudah pemadatan, lepaskan keping alas dan pasanglah alat pengeluar benda uji pada permukaan ujung ini.

Dengan hati-hati keluarkan dan letakkan benda uji diatas permukaan rata yang halus, biarkan selama kira-kira 24 jam pada suhu ruang.



Gambar 3.12 Pemadatan benda uji

3.2.4 Pengujian Keasaman Air Hujan

Tujuan : Untuk menentukan tingkat keasaman air hujan.

Prosedur:

- a. Ambil sampel air hujan secukupnya.
- b. Masukkan pH-meter ke dalam sampel air hujan kemudian tunggu beberapa saat.
- c. Baca nilai yang tertera pada pH-meter



Gambar 3.13 Pengujian keasaman air hujan

3.2.5 Perendaman dan Pembebanan Benda Uji Dalam Air Hujan

Pada tahap ini, benda uji yang telah dibuat dengan menggunakan kadar aspal 6,15% direndam dalam bak penampung berisi air hujan dan diberikan beban statis berulang. Pemberian beban dilakukan secara konvensional, yaitu dengan menggunakan alat Marshall. campuran aspal di letakkan dalam wadah berisi air hujan dan kemudian beban sesuai target (20 % dari nilai stabilitas). Setiap 2 menit dilakukan pembacaan terhadap *proving ring* dan pemberian beban kembali hingga batas beban sesuai target. Hal ini dilakukan karena sifat elastis aspal yang memungkinkan terjadinya pemadatan pada saat diberi beban sehingga beban efektif yang terjadi tidak sebesar beban rencana. Oleh karena itu setiap 2 menit dilakukan penambahan beban agar kembali ke beban rencana. Perendaman akan

dilakukan dengan beberapa variasi waktu perendaman, yaitu 15 menit, 30 menit, 60 menit, 120 menit, dan 360 menit. Setelah waktu perendaman tercapai, maka dilakukan pengujian dengan alat Marshall untuk memperoleh data kinerja campuran aspal setelah pembebanan terendam.



Gambar 3.14 Pembebanan dan perendaman benda uji

3.2.6 Tahap Pengujian Benda Uji

Pada tahap ini, dilakukan pengujian terhadap benda uji dengan menggunakan alat Marshall. Pengujian ini dilakukan dua kali. Yang pertama dilakukan pada pengujian dengan beberapa kadar aspal, dan yang kedua dilakukan untuk mengetahui perubahan pada benda uji setelah direndam dalam air hujan.

Tujuan : Untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (flow) dari campuran aspal.

Prosedur :

- a. Bersihkan benda uji dari kotoran-kotoran yang menempel
- b. Berilah tanda pengenal pada masing-masing benda uji
- c. Ukur benda uji dengan ketelitian 0,1 mm
- d. Timbang benda uji
- e. Rendam kira-kira 24 jam pada suhu ruang
- f. Timbang dalam air untuk mendapatkan isi
- g. Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh

- h. Rendamlah benda uji dalam kondisi aspal panas atau ter dalam bak perendam selama 30 sampai 40 menit atau dipanaskan didalam oven selama 2 jam dengan suhu tetap $(60 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ untuk benda uji aspal panas dan $(38 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ untuk benda uji tar.
- i. Untuk benda uji aspal dingin masukkan benda uji kedalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap $(25 \pm 1)^{\circ}\text{C}$.
- j. Sebelum melakukan pengujian bersihkan batang penuntun (*guide rod*) dan permukaan dalam dari kepala penekan (*test heads*). Lumasi batang penuntun sehingga kepala penekan yang atas dapat meluncur bebas, bila dikehendaki kepala penekan direndam bersama-sama benda uji pada suhu antara 21 sampai 38°C . Keluarkan benda uji dari bak perendam atau dari oven pemanas udara dan letakkan kedalam segmen bawah kepala penekan. Pasang segmen atas diatas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji. Pasang arloji kelelahan (*flow meter*) pada kedudukannya diatas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan (*breaking head*). Tekan selubung tangkai arloji kelelahan tersebut pada segmen atas dari kepala penekan selama pembebanan berlangsung.
- k. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji. Atur kedudukan jarum arloji tekan pada angka nol.



Gambar 3.15 Pengujian dengan alat Marshall

- l. Berikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan tetap sebesar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum yang dicapai.
- m. Lepaskan selubung tangkai arloji kelelahan (*sleeve*) pada saat pembebanan mencapai maksimum dan catat nilai kelelahan yang ditunjukkan oleh jarum arloji. Waktu yang diperlukan dan saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.

3.3 Tahap Analisa dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian dengan alat Marshall, maka akan diperoleh data kinerja campuran aspal beton berupa stabilitas, kelelahan dan *Marshall Quotient*. Data-data tersebut diolah dengan menggunakan program Microsoft Excel sehingga diperoleh data perubahan kinerja campuran aspal beton setelah mengalami pembebanan terendam. Data perubahan tersebut berupa persentase perubahan kinerja campuran aspal dan pola perubahannya yang dapat dilihat dari grafik kinerja terhadap waktu rendaman.

BAB 4

DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

4.1 Pemeriksaan Material Aspal dan Agregat

Tabel 4.1 Perbandingan hasil percobaan dengan standar

Jenis Pemeriksaan	Minimum	Maksimum	Hasil Percobaan	Satuan	Status
Aspal Pen 60/70					
Penetrasi aspal 25°, 100 gram, 5 detik	60	79	72,5	0,1 mm	ok
Titik Lembek aspal 5°C	48	58	50,5	Derajat Celcius	ok
Titik Nyala aspal	232	-	340	Derajat Celcius	ok
Kehilangan Berat aspal	-	0,4	0,04	% Berat	ok
Kelarutan dalam CCl4	99	-	99,97	% Berat	ok
Daktilitas	100	-	100	Cm	ok
Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	80,55	% Semula	ok
Berat jenis	1	-	1,029	Gr/Cc	ok
Agregat					
Kasar					
Berat jenis curah (Bulk)	2,5	-	2,527	Gr/cm ³	ok
Penyerapan	-	3	2,5	%	ok
Medium					
Berat jenis curah (Bulk)	2,5	-	2,535	Gr/cm ³	Ok
Penyerapan	-	3	2	%	Ok
Halus					
Berat jenis curah (Bulk)	2,5	-	2,51	Gr/cm ³	ok
Penyerapan	-	3	1,83	%	ok

4.1.1 Pengujian Aspal

Pada penelitian ini, akan digunakan material aspal Pertamina dengan pen 60/70. Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai-nilai karakteristik material aspal, yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan Laston, seperti yang tercantum dalam tabel 4.1.

Aspal pen 60/70 memiliki batas nilai penetrasi antar 60-79. Dalam pengujian kali ini, diperoleh nilai penetrasi rata-rata sebesar 72,4. Hal tersebut berarti aspal memenuhi standar penetrasi. Demikian juga dengan standar pengujian aspal yang lain, seperti terlihat dalam tabel 4.1. Dalam setiap pengujian yang dilakukan, hasil yang diperoleh memenuhi setiap persyaratan untuk aspal pen 60/70.

4.1.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

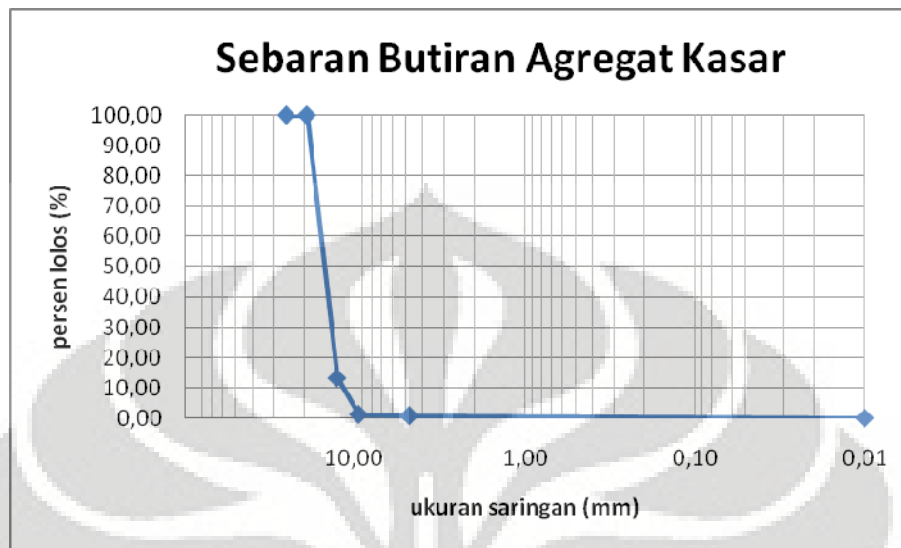
Tabel 4.1 juga memperlihatkan hasil pengujian terhadap berat jenis dan penyerapan agregat. Agregat yang digunakan (baik kasar, medium, dan halus) harus memiliki berat jenis minimum $2,5 \text{ gram/cm}^3$ dan penyerapan air maksimum sebesar 3 %. Hasil yang diperoleh dalam pengujian antara lain, berat jenis untuk agregat kasar, medium, dan halus masing-masing $2,527 \text{ gr/cm}^3$, $2,535 \text{ gr/cm}^3$, dan $2,51 \text{ gr/cm}^3$, serta penyerapan untuk agregat kasar, medium, dan halus masing-masing 2,5 %, 2 %, dan 2,14 %. Hal tersebut berarti agregat yang diuji memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan baku campuran aspal.

4.1.3 Analisa Saringan

a. Agregat kasar

Tabel 4.2 Sebaran butiran agregat kasar

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Kumulatif
1	25,4	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,1	0	0,00	100,00
1/2"	12,7	2.002	86,70	13,30
3/8"	9,52	281	12,17	1,13
4	4,76	9	0,39	0,74
Pan		17	0,74	0,00
Total		2.309		

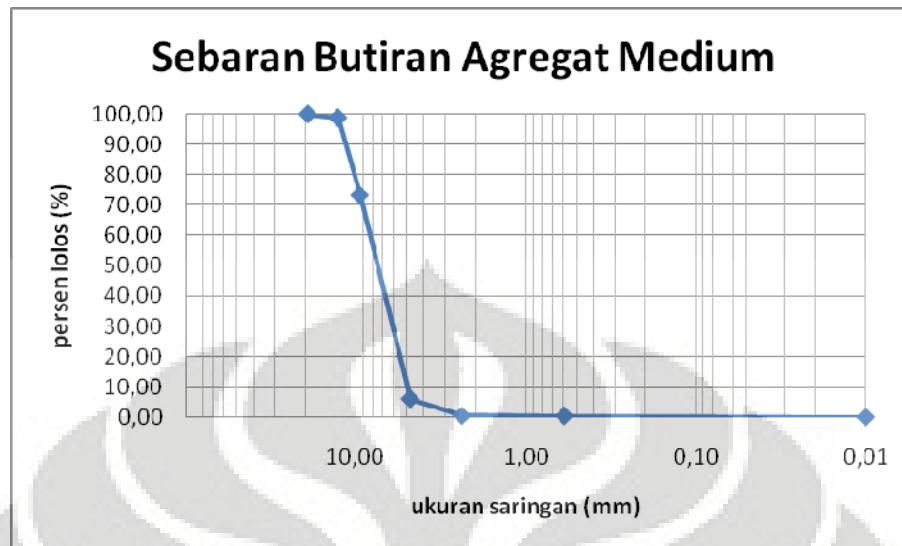


Gambar 4.1 Grafik sebaran butiran agregat kasar

b. Agregat Medium

Tabel 4.3 Sebaran butiran agregat medium

Saringan No.	Diameter	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Kumulatif
3/4"	25,4	0,00	0,00	100,00
1/2"	19,1	30	1,15	98,85
3/8"	12,7	660	25,35	73,50
4	9,52	1.760	67,59	5,91
8	4,76	137	5,26	0,65
16	2,38	5	0,19	0,46
30	0,59	2,00	0,08	0,38
Pan		10,00	0,38	0,00
	Total	2.604		

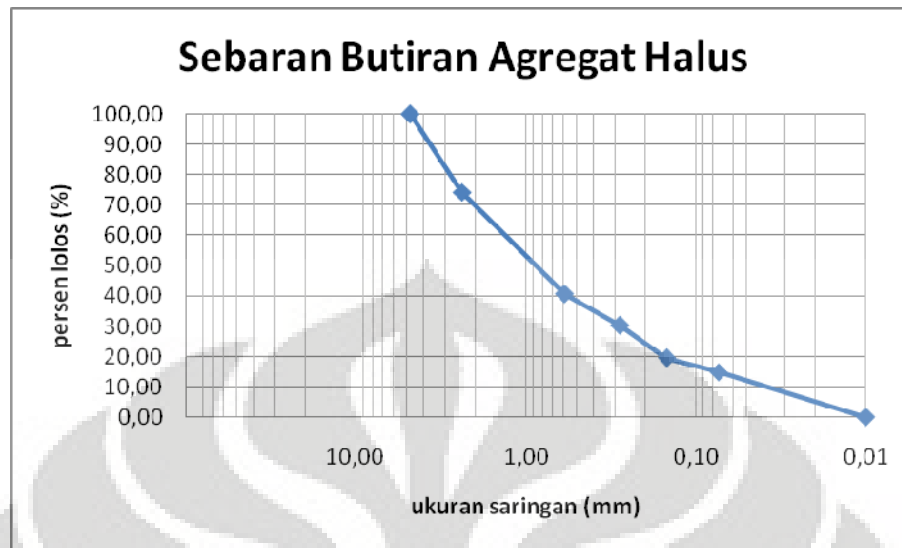


Gambar 4.2 Grafik sebaran butiran agregat medium

c. Agregat Halus

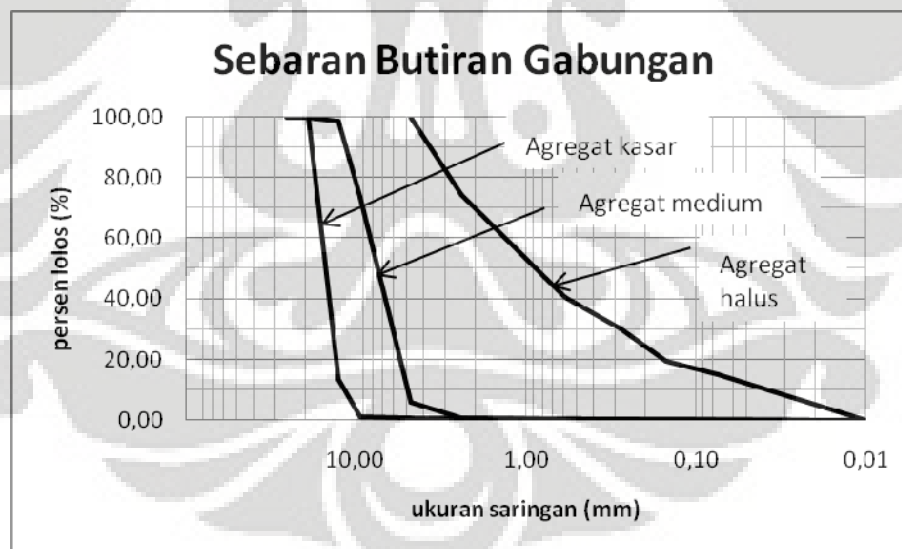
Tabel 4.4 Sebaran butiran agregat halus

Saringan No.	Diameter	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Kumulatif
4	9,52	0	0,00	100,00
8	4,76	354	25,76	74,24
16	2,38	416	30,28	43,96
30	0,59	45	3,28	40,68
50	0,279	142	10,33	30,35
100	0,149	148	10,77	19,58
200	0,074	64	4,66	14,92
Pan		205	14,92	0,00
Total		1.374		



Gambar 4.3 Grafik sebaran butiran agregat halus

d. Gabungan



Gambar 4.4 Grafik sebaran butiran gabungan

Setelah diperoleh grafik sebaran butiran untuk masing-masing agregat, kemudian data saringan dari masing-masing agregat tersebut digabungkan dalam satu grafik.

Grafik gabungan ini akan digunakan dalam penentuan persentase agregat dalam campuran aspal. Adapun persentase yang didapat dari grafik ini adalah agregat kasar 10 %, agregat medium 30 %, dan agregat halus 60 %. Persentase ini tidak langsung digunakan untuk pembuatan benda uji, tetapi masih harus disesuaikan lagi dengan spesifikasi Laston tipe IV.

4.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pengujian dengan beberapa kadar aspal dilakukan melalui dua tahap, yaitu pembuatan benda uji dengan beberapa variasi kadar aspal, kemudian pengujian dengan alat Marshall.

4.2.1 Perancangan Benda Uji

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dari grafik sebaran butiran gabungan diperoleh persentase masing-masing agregat antara lain agregat kasar 10 %, agregat medium 30 %, agregat halus 60 %. Persentase ini kemudian dikalikan dengan persen lolos tiap saringan untuk ketiga jenis agregat tersebut. Setelah dikalikan, ternyata dengan nilai tersebut, sebaran agregat yang digunakan memenuhi persyaratan laston dengan spesifikasi nomor 4.

Tabel 4.5 Perhitungan persentase agregat

Saringan No.	Agregat Kasar (% lolos kumulatif)		Agregat Medium (% lolos kumulatif)		Agregat Halus (% lolos kumulatif)		Filler (% lolos kumulatif)		Spec* IV	Nilai Tengah Spec	Gradasi Gabungan 100
	Total	10 %	Total	30 %	Total	60 %	Total	%			
1 1/2" (38.1 mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1" (25.4 mm)	100,00	10,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/4" (19.1 mm)	100,00	10,00	100,00	30,00	100,00	60,00	100,00	0,00	100	100,00	100,00
1/2" (12.7 mm)	13,30	1,33	98,85	29,65	100,00	60,00	100,00	0,00	80 - 100	90,00	90,98
3/8" (9.52 mm)	1,13	0,11	73,50	22,05	100,00	60,00	100,00	0,00	70 - 90	80,00	82,16
No. 4 (4.76 mm)	0,74	0,07	5,91	1,77	100,00	60,00	100,00	0,00	50 - 70	60,00	61,85
No. 8 (2.38 mm)	0,00	0,00	0,65	0,20	74,24	44,54	100,00	0,00	35 - 50	42,50	44,74
No. 30 (0.59 mm)	0,00	0,00	0,38	0,12	40,68	24,41	100,00	0,00	18 - 29	23,50	24,53
No. 50 (0.279 mm)	0,00	0,00	-	0,00	30,35	18,21	100,00	0,00	13 - 23	18,00	18,21
No. 100 (0.149 mm)	0,00	0,00	-	0,00	19,58	11,75	100,00	0,00	8 - 16	12,00	11,75
No. 200 (0.074 mm)	0,00	0,00	-	0,00	14,92	8,95	100,00	0,00	4 - 10	7,00	8,95
Pan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00

Setelah diperoleh persentase agregat kasar, medium, dan halus masing-masing sebesar 10%, 30%, dan 60% maka akan dihitung berat masing-masing agregat dari berat total campuran sebesar 1200 gram. Untuk setiap variasi kadar aspal, akan dibuat masing-masing 3 benda uji. Perhitungan berat aspal dan agregat untuk pembuatan benda uji dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Komposisi campuran aspal untuk menentukan kadar aspal optimum

No.	Kadar Aspal	Kadar Agregat	Berat Aspal	Berat Total Agregat	% Agregat				Berat Agregat (gram)			
	(%)	(%)	(gram)	(gram)	Kasar	Medium	Halus	Filler	Kasar	Medium	Halus	Filler
1	5,00	95,00	60	1140	10	30	60	0	114,00	342,00	684,00	0,00
2	5,50	94,50	66	1134	10	30	60	0	113,40	340,20	680,40	0,00
3	6,00	94,00	72	1128	10	30	60	0	112,80	338,40	676,80	0,00
4	6,50	93,50	78	1122	10	30	60	0	112,20	336,60	673,20	0,00

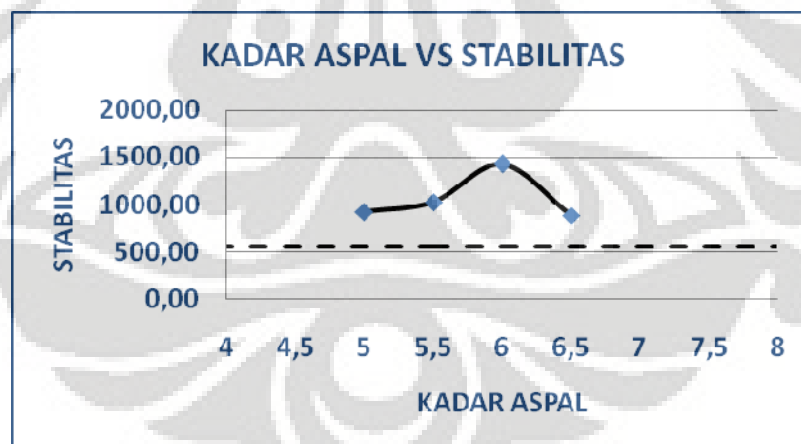
4.2.2 Pengujian Dengan Alat Marshall

Dari pengujian dengan menggunakan alat Marshall akan diperoleh data kinerja campuran aspal. Pada tahap ini, pengujian dengan alat Marshall dilakukan pada 4 variasi kadar aspal, yaitu 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

Nilai rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA) diperoleh berdasarkan data tinggi benda uji, berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air. Dari alat Marshall akan diperoleh data berupa pembacaan arloji stabilitas dan arloji kelelahan. Untuk mendapatkan nilai stabilitas, pembacaan arloji masih harus dikali lagi dengan kalibrasi alat dan korelasi tinggi benda uji. Setelah diolah diperoleh hasil berupa nilai VIM, VMA, Stabilitas, dan kelelahan seperti yang terlihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengujian Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum

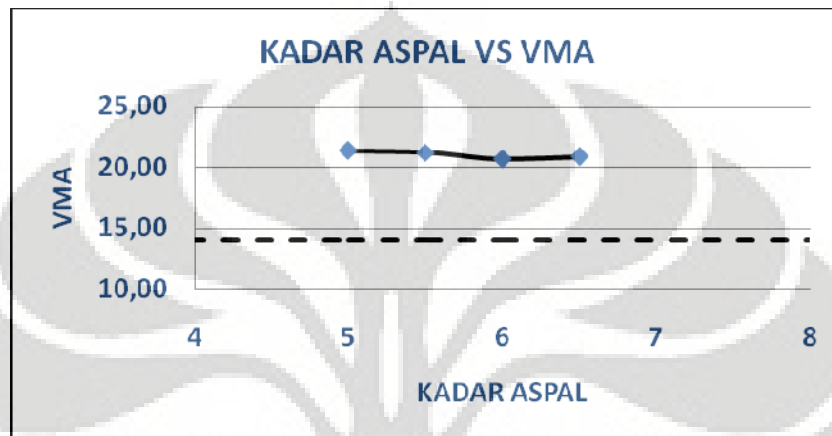
NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	VIM	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
1	5	21,07	7,08	1139,63	2,45	465,16
2	5	21,99	6,34	1047,14	3,00	349,05
3	5	21,82	6,13	590,27	2,90	203,54
RATA-RATA		21,63	6,51	925,68	2,78	339,25
1	5,5	21,37	6,81	662,81	3,25	203,94
2	5,5	21,28	6,71	521,90	2,50	208,76
3	5,5	20,08	5,29	860,54	3,30	260,77
RATA-RATA		20,91	6,27	681,75	3,02	224,49
1	6	21,89	5,84	743,97	3,20	232,49
2	6	20,63	4,33	785,33	3,05	257,49
3	6	21,28	5,10	625,39	3,10	201,74
RATA-RATA		21,27	5,09	718,23	3,12	230,57
1	6,5	21,54	1,47	697,11	3,00	232,37
2	6,5	21,47	1,37	1068,08	3,00	356,03
3	6,5	20,38	0,01	891,68	2,80	318,46
RATA-RATA		21,13	0,95	885,63	2,93	302,29



Gambar 4.5 Grafik Kadar Aspal vs Stabilitas

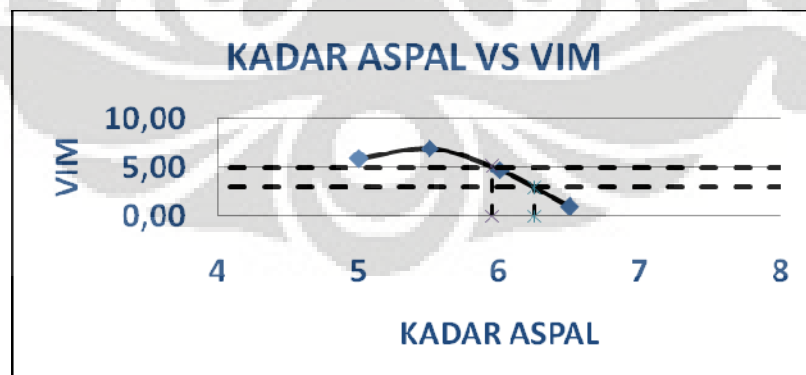
Nilai stabilitas benda uji memiliki batas minimum sebesar 550 kg untuk benda uji dengan penumbukan 2x75. Data stabilitas kemudian di-plot terhadap kadar aspal

sehingga diperoleh grafik kadar aspal vs stabilitas. Setelah dibandingkan dengan standar nilai stabilitas benda uji 2x75 tumbukan, terlihat bahwa benda uji untuk seluruh variasi kadar aspal memenuhi persyaratan.



Gambar 4.6 Grafik Kadar Aspal vs VMA

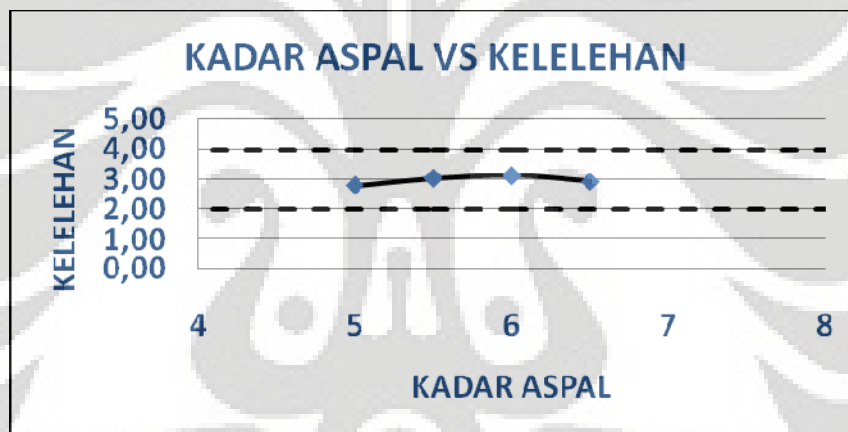
Standar VMA ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat yang digunakan. Pada penelitian ini ukuran maksimum agregatnya adalah $\frac{3}{4}$ ", sehingga syarat untuk nilai VMA adalah minimum 14%. Sehingga dapat dikatakan bahwa nilai VMA benda uji memenuhi persyaratan.



Gambar 4.7 Grafik Kadar Aspal vs VIM

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, nilai VIM dapat dihitung berdasarkan data tinggi, berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air. Untuk persyaratannya, nilai VIM memiliki batas minimum sebesar 3% dan maksimum 5%. Setelah di-plot pada grafik kadar aspal vs VIM, terlihat bahwa tidak semua benda uji memiliki nilai VIM yang memenuhi syarat. Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal, maka nilai VIM semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan, rongga yang terbentuk dalam campuran diisi oleh aspal. Jadi semakin banyak aspal yang digunakan maka rongga dalam campuran akan semakin tertutup.

Batas minimum dan maksimum dari persen rongga dalam campuran (VIM) akan memotong grafik pada kadar aspal 5,95 % dan 6,25 %.

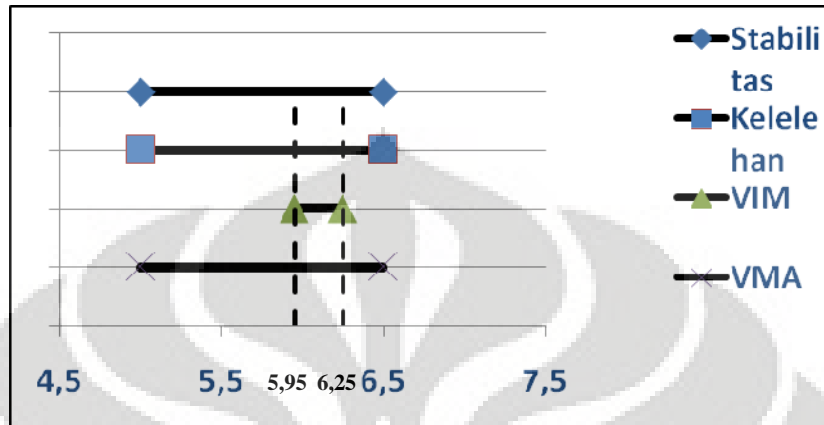


Gambar 4.8 Grafik Kadar Aspal vs Kelelehan

Grafik kadar aspal vs kelelehan menunjukkan bahwa semakin tinggi persen aspal, maka kelelehan akan semakin besar. Hal ini dikarenakan oleh sifat elastis dari aspal. Semakin banyak aspal yang digunakan, jumlah agregat yang digunakan akan semakin sedikit, dan akan membuat campuran aspal semakin elastis sehingga laston akan mengalami deformasi yang besar pada saat dibebani.

Meskipun semakin tinggi kadar aspal yang digunakan menyebabkan nilai kelelehan semakin tinggi, untuk kadar aspal 5 %, 5,5%, 6%, dan 6,5% nilai kelelehan masih dapat diterima. Seperti yang terlihat pada grafik, nilai kelelehan laston masih berada dalam batas persyaratan kelelehan, yaitu sebesar 2-4%.

Setelah semua data diolah, laston dengan kadar aspal berapa saja yang kinerjanya memenuhi syarat.



Gambar 4.9 Penentuan kadar aspal optimum

Berdasarkan Gambar IV.8, diperoleh nilai kadar aspal optimum berada di antara 5,95 % dan 6,25 %. Dalam pengujian ini digunakan kadar aspal 6,15 % sebagai nilai kadar aspal optimum.

4.3 Pengujian Terhadap Campuran Dengan Kadar Aspal Optimum

4.3.1 Perancangan Benda Uji

Pembuatan benda uji dengan kadar aspal optimum sama dengan proses pembuatan benda uji sebelumnya. Yang berbeda adalah, pada proses sebelumnya dilakukan dengan 4 variasi kadar aspal, sedangkan pada tahap ini kadar aspal yang digunakan adalah kadar aspal 6,15%. Untuk persentase agregat, sama dengan yang digunakan sebelumnya, yaitu agregat kasar 10%, agregat medium 30%, dan agregat halus 60%. Adapun jumlah agregat dan aspal yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut (dengan berat total campuran 1200 gram).

Tabel 4.8 Komposisi campuran aspal dengan kadar aspal optimum

No.	Kadar Aspal	Kadar Agregat	Berat Aspal (gram)	Berat Total Agregat (gram)	% Agregat				Berat Agregat (gram)			
	(%)	(%)			Kasar	Medium	Halus	Filler	Kasar	Medium	Halus	Filler
1	6,15	93,85	73,8	1126,2	10	30	60	0	112,62	337,86	675,72	0,00

4.3.2 Pengujian Campuran Dengan Kadar Aspal Optimum menggunakan Alat Marshall

Tabel 4.9 Hasil pengujian Marshall dengan kadar aspal optimum

NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	VIM	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
1	6,15	19,24	3,57	1213,02	3,50	346,58
2	6,15	19,08	3,38	1418,90	3,55	399,69
3	6,15	19,29	3,63	1158,19	3,30	350,97
RATA-RATA		19,20	3,52	1263,37	3,45	365,74

Setelah dilakukan pengujian dengan alat Marshall pada laston dengan kadar aspal optimum, diperoleh data kinerja laston rata-rata, antara lain

- VMA = 19,20 %
- VIM = 3,52 %
- Stabilitas = 1263,37 kg
- Kelelehan = 3,45 mm
- MQ = 365,74 kg/mm

Semua hasil pengujian tersebut memenuhi persyaratan yang ada.

Selain pengujian tersebut, dilakukan juga pengujian dengan alat Marshall, namun tanpa dilakukan perendaman terlebih dahulu di dalam *waterbath*. Pengujian tersebut memperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.10 Hasil pengujian Marshall dengan kadar aspal optimum tanpa perendaman dalam *waterbath*

NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
1	6,15	18,97	3185,54	3,80	838,30
2	6,15	18,51	3365,03	3,60	934,73
3	6,15	18,33	3475,31	3,10	1121,07
RATA-RATA		18,60	3342,57	3,50	964,70

Dari tabel tersebut terlihat adanya perubahan yang mencolok dalam kinerja campuran laston. nilai stabilitas sampel jauh di atas nilai stabilitas sampel yang direndam dalam *waterbath* terlebih dahulu. Begitu pula dengan nilai MQ. Hal tersebut menunjukkan bahwa, tanpa dilakukannya perendaman di dalam *waterbath*, maka sampel yang diuji akan memiliki daya tahan yang lebih besar. Hal ini dikarenakan perbedaan suhu pada saat pengujian. Sampel yang direndam terlebih dahulu, memiliki suhu 60⁰ C pada saat pengujian. Sedangkan sampel yang tidak direndam, memiliki suhu yang sama dengan suhu ruang. Dengan suhu 60⁰ C, artinya suhu campuran telah melewati batas titik lembek dari aspal, sehingga campuran aspal akan menjadi lebih lunak.

Campuran aspal memiliki sifat elastis. Pada pengujian ini, laston akan direndam serta dibebani dalam waktu tertentu. Setelah perendaman dan pembebanan, laston langsung diuji dengan alat Marshall tanpa direndam di dalam *waterbath* terlebih dahulu. Hal ini dilakukan untuk menghindari kembalinya campuran aspal ke bentuk semula yang diakibatkan oleh sifat elastis aspal.

Dalam suatu pengujian, sampel yang diuji dan sampel pembanding harus berada dalam kondisi yang sama. Untuk menyesuaikan dengan kondisi sampel pada saat pengujian (tanpa perendaman dalam *waterbath*), maka beban total yang digunakan adalah nilai stabilitas campuran tanpa perendaman dalam *waterbath*, yaitu sebesar 3342,57 kg.

4.3.3 Pembebanan dan perendaman benda uji dalam air hujan

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beban sebesar 20% dari beban total, yaitu sebesar 20% x 3342,57 = 668,514 kg. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan alat Marshall dan kontrol beban dilakukan dengan pembacaan pada *proving ring* (*o*) yang ada pada alat Marshall. Nilai *o* diperoleh dengan rumus

$$o = \frac{668,514}{\text{kalibrasi alat} \times \text{korelasi tinggi}}$$

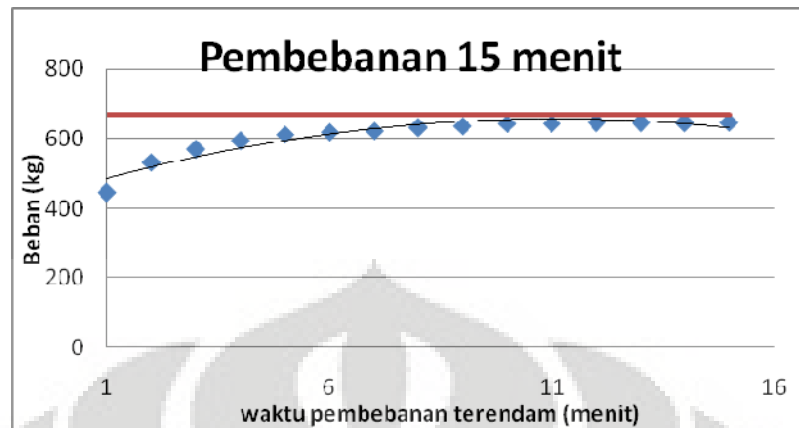
4.3.3.1 Waktu Perendaman 15 Menit Dengan Pembebanan Awal 20%

Tabel 4.11 hasil pengujian Marshall untuk waktu perendaman 15 menit

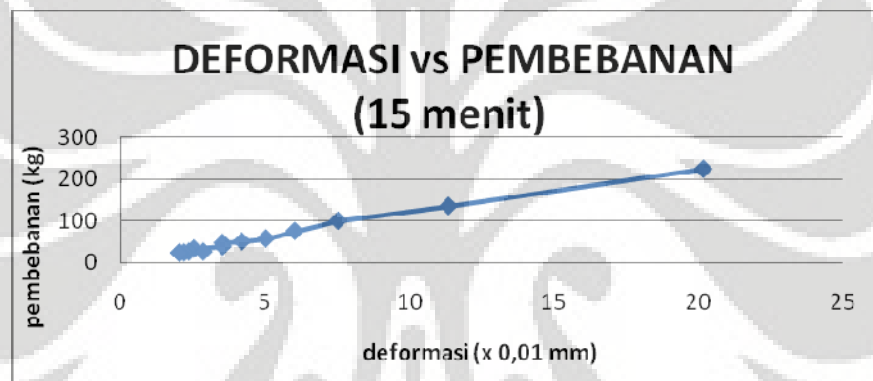
NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	VIM	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
1	6,15	19,72	4,14	2755,80	2,50	1102,32
18	6,15	18,91	3,17	3089,86	1,35	2288,79
57	6,15	19,53	3,92	3121,66	2,80	1114,88
RATA-RATA		19,39	3,74	2989,11	2,22	1502,00

Pada pengujian untuk waktu perendaman 15 menit digunakan 3 sampel, yaitu sampel 1, 18, dan 57. Pembacaan dial beban untuk sampel 1, 18, dan 57 antara lain 31, 32, dan 31,05. Nilai tersebut digunakan sebagai kontrol pembebanan selama pengujian. Beban pertama diberikan hingga dial menunjukkan angka-angka tersebut. Karena sifat lentur dari aspal, setelah dibebani, maka aspal akan berdeformasi ke bagian yang tidak dibebani. Hal ini dapat dilihat dari penurunan angka yang ditunjukkan jarum pada dial. Setelah 1 menit beban akan dinaikkan lagi hingga sama dengan beban awal. Hal ini dilakukan berulang-ulang selama 15 menit dengan pembebanan setiap 1 menit. Perubahan dari tiap sampel dapat dilihat dari tabel dan grafik pembebanan masing-masing sampel. Pada awal pembebanan, sampel mengalami perubahan yang cukup besar. Hal ini dikarenakan oleh rongga dalam campuran masih dalam kondisi maksimum, sehingga masih ada ruang kosong dalam campuran yang memungkinkannya untuk memadat. Semakin lama pembebanan dilakukan, perubahan yang terjadi semakin kecil. Hal ini terjadi karena sampel sudah menjadi lebih padat.

Setelah pembebanan dan perendaman selesai dilakukan, sampel kemudian diuji dengan alat Marshall. Hasil uji marshall untuk perendaman selama 15 menit menunjukkan bahwa terjadi perubahan terhadap nilai stabilitas campuran aspal. Perubahan yang terjadi belum terlalu besar. Hal ini dikarenakan, dalam waktu 15 menit air hujan belum dapat memberikan pengaruh kepada benda uji.



Gambar 4.10 grafik pembebanan rata-rata untuk waktu perendaman 15 menit



Gambar 4. 11 Grafik hubungan deformasi dan pembebanan sampel 15 menit

4.3.3.2 Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Pembebanan Awal 20%

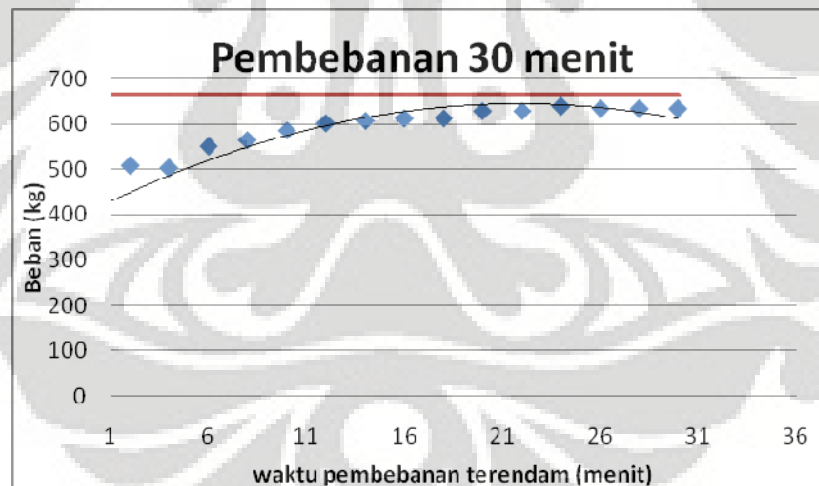
Tabel 4.12 hasil pengujian Marshall untuk waktu perendaman 30 menit

NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	VIM	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
21	6,15	19,36	3,72	3253,69	3,50	929,63
3	6,15	19,18	3,50	3026,81	2,35	1288,01
7	6,15	19,47	3,85	3234,25	1,33	2431,77
RATA-RATA		19,34	3,69	3171,59	2,39	1549,80

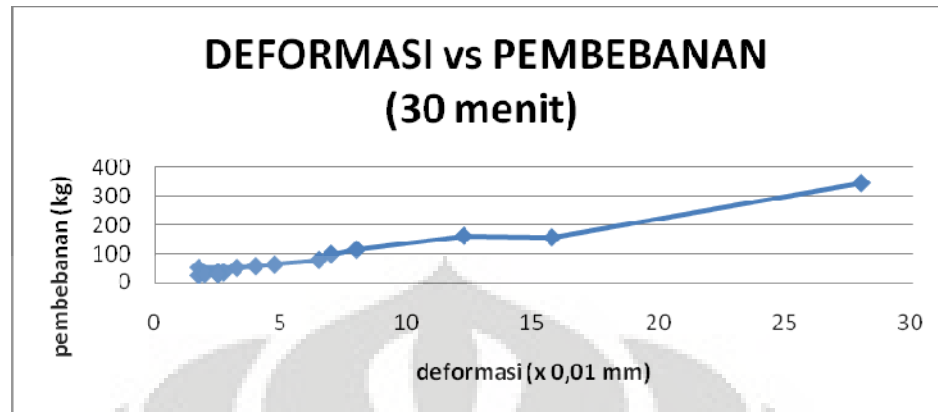
Pada pengujian untuk waktu perendaman 30 menit digunakan 3 sampel, yaitu sampel 21, 3, dan 7. Pembacaan dial beban untuk sampel 21, 3, dan 7 antara lain 33, 31,5, dan 32. Karena sifat lentur dari aspal, setelah dibebani, maka aspal akan

berdeformasi ke bagian yang tidak dibebani. Hal ini dapat dilihat dari penurunan angka yang ditunjukkan jarum pada dial. Setelah 2 menit beban akan dinaikkan lagi hingga sama dengan beban awal. Hal ini dilakukan berulang-ulang selama 30 menit dengan pembebanan setiap 2 menit. Perubahan dari tiap sampel dapat dilihat dari tabel dan grafik pembebanan masing-masing sampel. Pada awal pembebanan, sampel mengalami perubahan yang cukup besar. Hal ini dikarenakan oleh rongga dalam campuran masih dalam kondisi maksimum, sehingga masih ada ruang kosong dalam campuran yang memungkinkannya untuk memadat. Semakin lama pembebanan dilakukan, perubahan yang terjadi semakin kecil. Hal ini terjadi karena sampel sudah menjadi lebih padat.

Setelah pembebanan dan perendaman selesai dilakukan, sampel kemudian diuji dengan alat Marshall. Hasil uji marshall untuk perendaman selama 30 menit menunjukkan bahwa terjadi perubahan terhadap nilai stabilitas campuran aspal. Perubahan yang terjadi belum terlalu besar. Hal ini dikarenakan, dalam waktu 30 menit air hujan belum dapat memberikan pengaruh kepada benda uji.



Gambar 4.12 grafik pembebanan rata-rata untuk waktu perendaman 30 menit



Gambar 4. 13 Grafik hubungan deformasi dan pembebanan sampel 30 menit

4.3.3.3 Waktu Perendaman 60 Menit Dengan Pembebanan Awal 20%

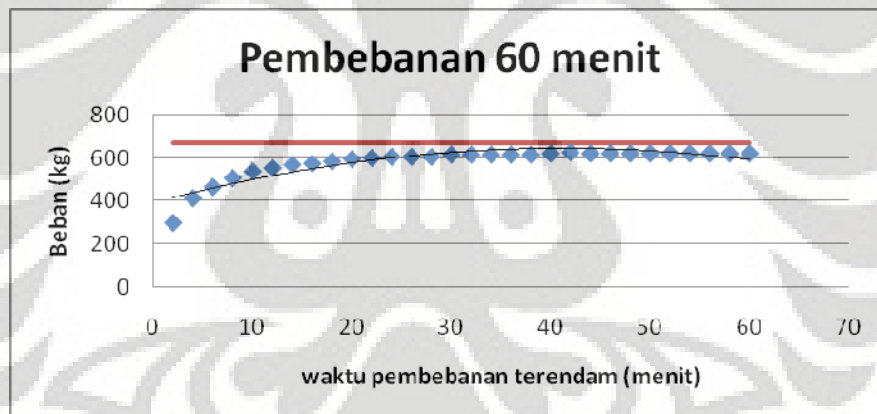
Tabel 4.13 hasil pengujian Marshall untuk waktu perendaman 60 menit

NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	VIM	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
22	6,15	18,64	2,86	3585,85	2,35	1525,89
10	6,15	19,99	4,46	2341,09	2,20	1064,13
29	6,15	19,91	4,37	2581,90	1,85	1395,62
RATA-RATA		19,51	3,90	2836,28	2,13	1328,55

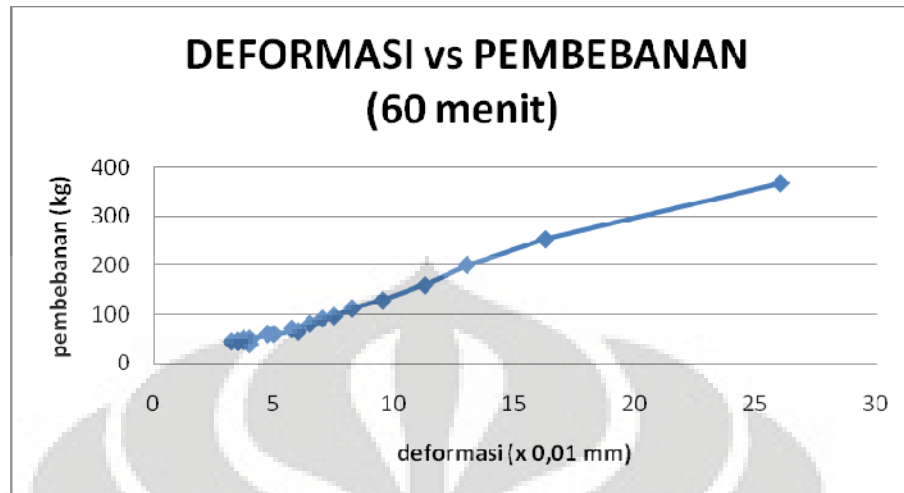
Pada pengujian untuk waktu perendaman 60 menit digunakan 3 sampel, yaitu sampel 22, 10, dan 29. Pembacaan dial beban untuk sampel 2, 10, dan 29 antara lain 31, 32, dan 32,4. Nilai tersebut digunakan sebagai kontrol pembebanan selama pengujian. Beban pertama diberikan hingga dial menunjukkan angka-angka tersebut. Karena sifat lentur dari aspal, setelah dibebani, maka aspal akan berdeformasi ke bagian yang tidak dibebani. Hal ini dapat dilihat dari penurunan angka yang ditunjukkan jarum pada dial. Setelah 2 menit beban akan dinaikkan lagi hingga sama dengan beban awal. Hal ini dilakukan berulang-ulang selama 60 menit dengan pembebanan setiap 2 menit. Perubahan dari tiap sampel dapat dilihat dari tabel dan grafik pembebanan masing-masing sampel. Pada awal pembebanan, sampel mengalami perubahan yang cukup besar. Hal ini dikarenakan oleh rongga dalam campuran masih dalam kondisi maksimum, sehingga masih ada ruang kosong dalam campuran yang memungkinkannya untuk

memadat. Semakin lama pembebanan dilakukan, perubahan yang terjadi semakin kecil. Hal ini terjadi karena sampel sudah menjadi lebih padat.

Setelah pembebanan dan perendaman selesai dilakukan, sampel kemudian diuji dengan alat Marshall. Hasil uji marshal untuk perendaman selama 60 menit menunjukkan bahwa terjadi perubahan terhadap nilai stabilitas campuran aspal. Perubahan yang cukup besar terjadi pada 10 dan 29. Berbeda dengan sampel 22. Nilai stabilitas sampel 22 masih tinggi. Kemungkinan penyebab perbedaan antara sampel 22 dan sampel 10 dan 29 adalah karena pola pembebanan. Pada sampel 22, yang diuji pertama kali, dalam 10 menit pertama pembebanan dilakukan tiap 1 menit kemudian untuk sisa waktunya pembebanan dilakukan setiap 5 menit. Sedangkan untuk 2 sampel yang lain pembebanan dilakukan setiap 2 menit selama waktu pengujian. Hal ini menyebabkan perbedaan jumlah beban kumulatif yang diterima oleh sampel 22.



Gambar 4.14 grafik pembebanan rata-rata untuk waktu perendaman 60 menit



Gambar 4. 15 Grafik hubungan deformasi dan pembebanan sampel 60 menit

4.3.3.4 Waktu Perendaman 120 Menit Dengan Pembebanan Awal 20%

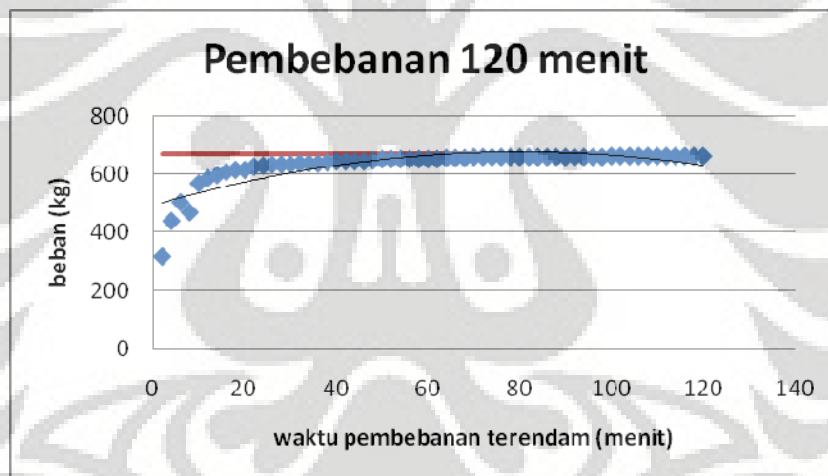
Tabel 4.14 hasil pengujian Marshall untuk waktu perendaman 120 menit

NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	VIM	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
8	6,15	20,19	4,71	2655,71	2,43	1092,89
35	6,15	19,93	4,39	2868,02	2,13	1346,49
41	6,15	20,21	4,72	2426,84	2,75	882,49
RATA-RATA		20,11	4,61	2650,19	2,44	1107,29

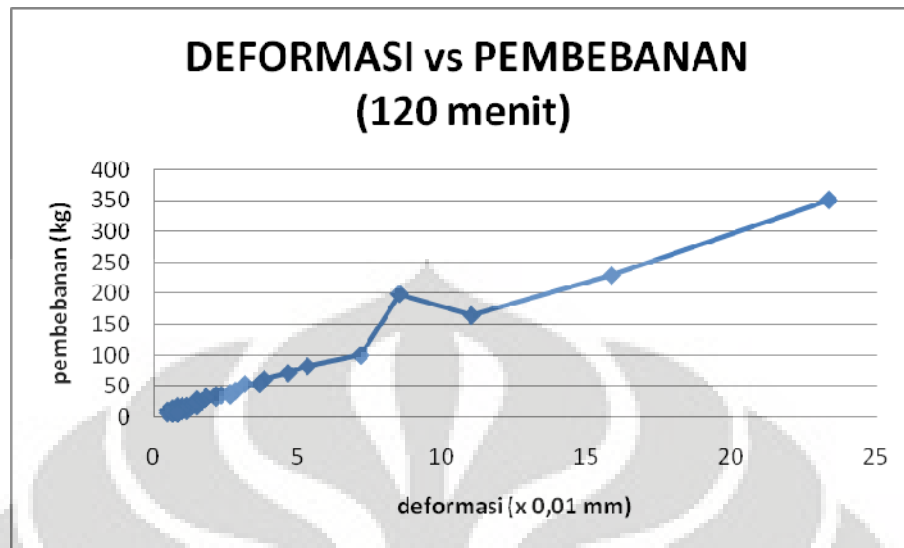
Pada pengujian untuk waktu perendaman 120 menit digunakan 3 sampel, yaitu sampel 8, 35, dan 41. Pembacaan dial beban untuk sampel 8, 35, dan 41 antara lain 31.71, 31.23, dan 30.58. Nilai tersebut digunakan sebagai kontrol pembebanan selama pengujian. Beban pertama diberikan hingga dial menunjukkan angka-angka tersebut. Karena sifat lentur dari aspal, setelah dibebani, maka aspal akan berdeformasi ke bagian yang tidak dibebani. Hal ini dapat dilihat dari penurunan angka yang ditunjukkan jarum pada dial. Setelah 2 menit beban akan dinaikkan lagi hingga sama dengan beban awal. Hal ini dilakukan berulang-ulang selama 120 menit dengan pembebanan setiap 2 menit. Perubahan dari tiap sampel dapat dilihat dari tabel dan grafik pembebanan masing-masing sampel. Pada awal pembebanan, sampel mengalami perubahan yang cukup besar. Hal ini

dikarenakan oleh rongga dalam campuran masih dalam kondisi maksimum, sehingga masih ada ruang kosong dalam campuran yang memungkinkannya untuk memadat. Semakin lama pembebanan dilakukan, perubahan yang terjadi semakin kecil. Hal ini terjadi karena sampel sudah menjadi lebih padat.

Setelah pembebanan dan perendaman selesai dilakukan, sampel kemudian diuji dengan alat Marshall. Hasil uji marshal untuk perendaman selama 120 menit menunjukkan bahwa terjadi perubahan terhadap nilai stabilitas campuran aspal. Perubahan yang terjadi cukup besar. pada tahap ini pengaruh air hujan sudah mulai terlihat. Sampel yang telah padat tetap dibebani terus-menerus. Agregat dalam campuran akan saling mendorong sehingga akan menyebabkan terjadinya deformasi ke bagian yang tidak tersentuh oleh alat Marshall. Deformasi tersebut akan menimbulkan rongga yang dapat menjadi tempat masuk bagi air hujan.



Gambar 4.16 grafik pembebanan rata-rata untuk waktu perendaman 120 menit



Gambar 4. 17 Grafik hubungan deformasi dan pembebanan sampel 120 menit

4.3.3.5 Waktu Perendaman 360 Menit Dengan Pembebanan Awal 20%

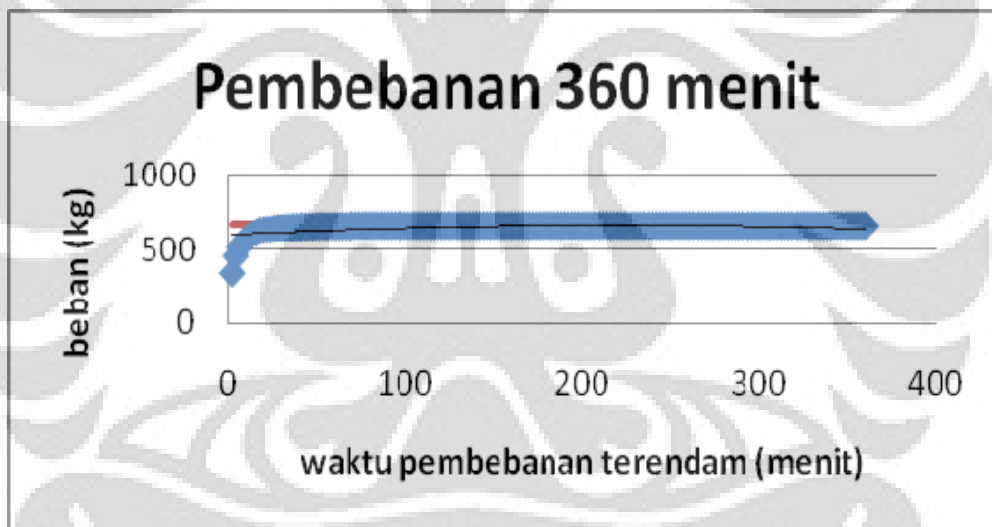
Tabel 4.15 hasil pengujian Marshall untuk waktu perendaman 360 menit

NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	VIM	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
48	6,15	18,88	3,14	2826,21	4,98	567,51
47	6,15	20,23	4,76	2098,12	3,20	655,66
58	6,15	20,96	5,63	2314,53	2,85	812,12
RATA-RATA		20,02	4,51	2412,95	3,68	678,43

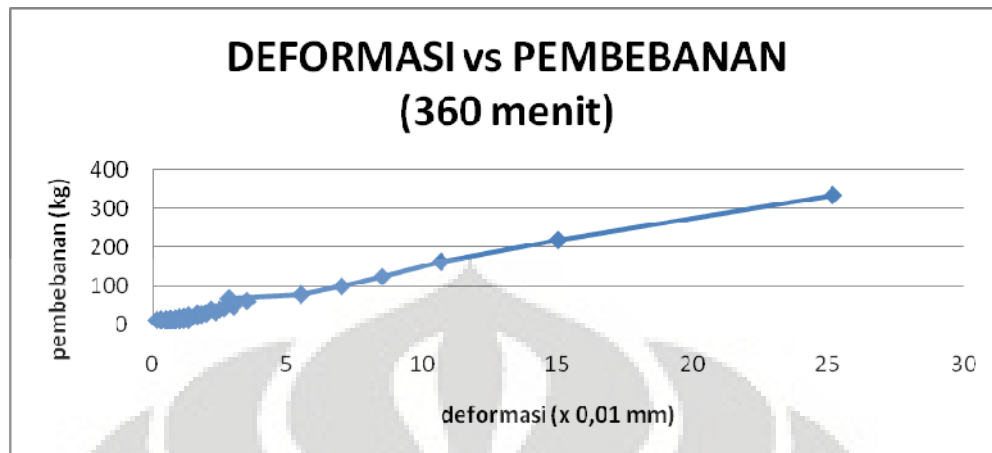
Pada pengujian untuk waktu perendaman 360 menit digunakan 3 sampel, yaitu sampel 48, 47, dan 58. Pembacaan dial beban untuk sampel 48, 47, dan 58 antara lain 31.46, 31.86, 32.64. Nilai tersebut digunakan sebagai kontrol pembebanan selama pengujian. Beban pertama diberikan hingga dial menunjukkan angka-angka tersebut. Karena sifat lentur dari aspal, setelah dibebani, maka aspal akan berdeformasi ke bagian yang tidak dibebani. Hal ini dapat dilihat dari penurunan angka yang ditunjukkan jarum pada dial. Setelah 2 menit beban akan dinaikkan lagi hingga sama dengan beban awal. Hal ini dilakukan berulang-ulang selama 360 menit dengan pembebanan setiap 2 menit. Perubahan dari tiap sampel dapat dilihat dari tabel dan grafik pembebanan masing-masing sampel. Pada awal pembebanan, sampel mengalami perubahan yang cukup besar. Hal ini

dikarenakan oleh rongga dalam campuran masih dalam kondisi maksimum, sehingga masih ada ruang kosong dalam campuran yang memungkinkannya untuk memadat. Semakin lama pembebanan dilakukan, perubahan yang terjadi semakin kecil. Hal ini terjadi karena sampel sudah menjadi lebih padat.

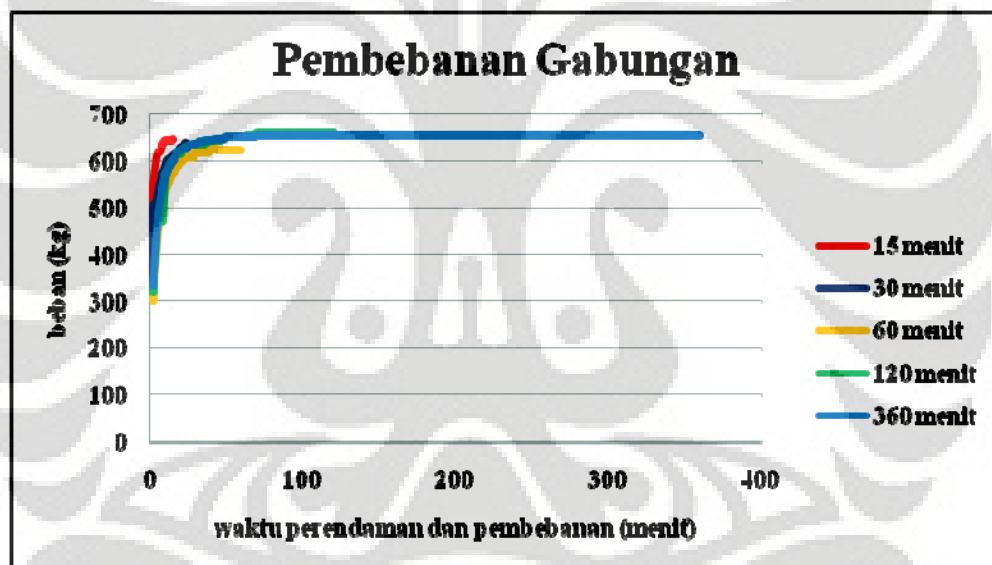
Setelah pembebanan dan perendaman selesai dilakukan, sampel kemudian diuji dengan alat Marshall. Hasil uji marshal untuk perendaman selama 360 menit menunjukkan bahwa terjadi perubahan terhadap nilai stabilitas campuran aspal. Perubahan yang terjadi cukup besar. pada tahap ini pengaruh air hujan sudah mulai terlihat. Sampel yang telah padat tetap dibebani terus-menerus. Agregat dalam campuran akan saling mendorong sehingga akan menyebabkan terjadinya deformasi ke bagian yang tidak tersentuh oleh alat Marshall. Deformasi tersebut akan menimbulkan rongga yang dapat menjadi tempat masuk bagi air hujan.



Gambar 4.18 grafik pembebanan rata-rata untuk waktu perendaman 360 menit



Gambar 4. 19 Grafik hubungan deformasi dan pembebanan sampel 360 menit



Gambar 4.20 Grafik pembebanan gabungan

4.4 Pengaruh Perendaman Disertai Pembebanan Laston Di Dalam Air Hujan

Setelah seluruh sampel diuji, diperoleh hasil berupa nilai stabilitas akhir untuk setiap sampel yang telah direndam dengan air hujan. Nilai stabilitas tersebut kemudian dirata-ratakan untuk masing-masing variasi waktu.

Tabel 4.16 pengaruh perendaman dan pembebanan dalam air hujan terhadap stabilitas

Waktu rendaman (menit)	Stabilitas (kg)
15	2755,802
15	3089,863
15	3121,656
30	3253,692
30	3026,815
30	3234,251
60	3585,851
60	2341,087
60	2581,895
120	2655,712
120	2868,018
120	2426,838
360	2826,208
360	2098,12
360	2314,529

Tabel 4.17 pengaruh perendaman dan pembebanan dalam air hujan terhadap kelelahan

waktu rendaman (menit)	kelelahan (mm)
15	2,5
15	1,35
15	2,8
30	3,5
30	2,35
30	1,33
60	2,35
60	2,2
60	1,85
120	2,43
120	2,13
120	2,75
360	4,98
360	3,2
360	2,85

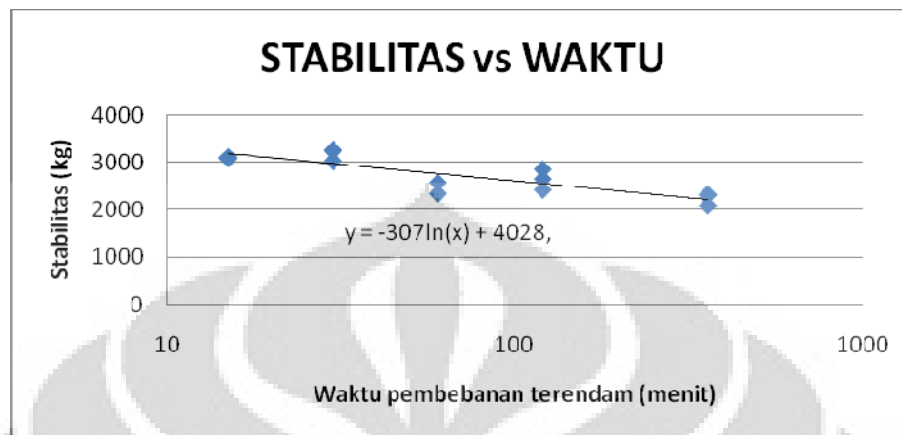
Tabel 4.18 pengaruh perendaman dan pembebanan dalam air hujan terhadap kelenturan

waktu rendaman (menit)	MQ (kg/mm)
15	1102,321
15	2288,788
15	1114,877
30	929,6262
30	1288,006
30	2431,768
60	1525,894
60	1064,131
60	1395,619
120	1092,886
120	1346,488
120	882,4865
360	567,5117
360	655,6626
360	812,1155

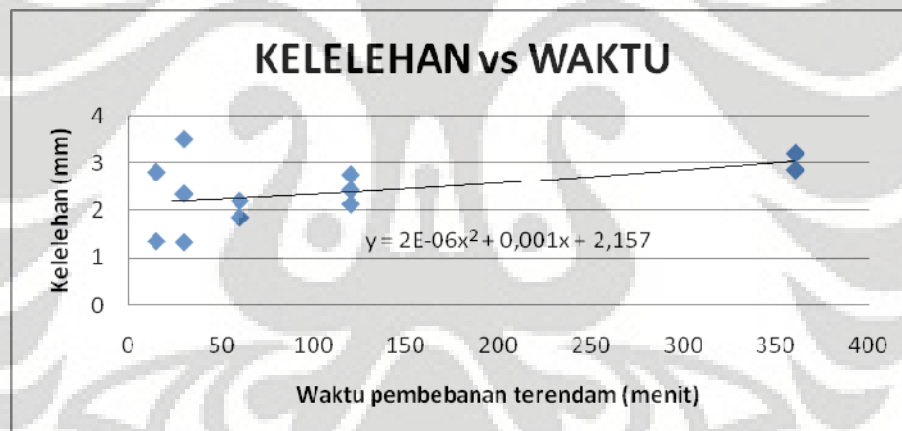
Dari tabel pengaruh perendaman dan pembebanan dalam air hujan terhadap stabilitas terlihat bahwa ada beberapa sampel campuran aspal yang nilai stabilitasnya menyimpang jauh dari 2 sampel lainnya dalam variasi tersebut. Sampel-sampel tersebut antara lain sampel 15.1, sampel 60.1 dan sampel 360.1. Karena penyimpangan tersebut, maka sampel-tersebut tidak diperhitungkan untuk pengolahan data selanjutnya.

Tabel 4.19 persentase perubahan kinerja lapis aspal beton akibat pembebanan dan perendaman dalam air hujan

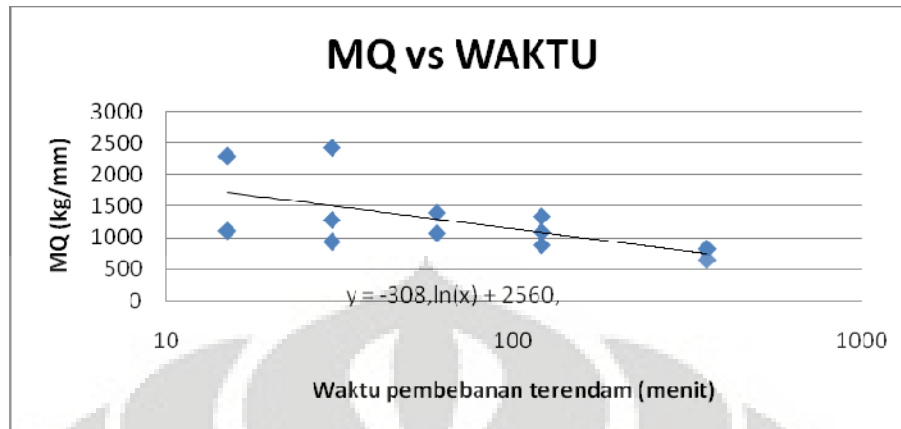
kinerja waktu	Perubahan Stabilitas (%)	Perubahan Kelelahan (%)	Perubahan MQ (%)
15 menit	7,09	40,71	-78,2
30 menit	5,12	31,62	-62,28
60 menit	26,36	42,14	-28,78
120 menit	20,71	30,38	-15,94
360 menit	33,99	13,57	23,16



Gambar 4.21 Grafik pengaruh waktu pembebanan dan perendaman dalam air hujan terhadap stabilitas laston



Gambar 4.22 Grafik pengaruh waktu perendaman dalam air hujan terhadap kelelehan laston



Gambar 4.23 Grafik pengaruh waktu perendaman dalam air hujan terhadap *Marshall Quotient* laston

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa sampel yang telah dipengaruhi oleh air hujan akan mengalami penurunan nilai stabilitas. Pada pengujian dengan waktu singkat (15 menit, 30 menit) perubahan yang terjadi belum terlalu besar. Hal ini kemungkinan terjadi karena rongga dalam campuran, yang seharusnya menjadi tempat masuk bagi air hujan, tertutup akibat pembebanan. Sampel yang direndam dalam air hujan dengan waktu yang relatif sebentar mengalami penurunan pada nilai kelelahan dan nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan. Hal tersebut menandakan bahwa sampel semakin padat dan menjadi kaku. Tetapi setelah sampel benar-benar padat dan pembebanan tetap dilakukan, maka akan kembali tercipta rongga yang dapat menjadi tempat masuk bagi air hujan. Semakin lama laston direndam, maka air hujan akan memiliki waktu yang cukup untuk meresap ke dalam agregat dan melemahkan ikatan antara agregat dengan aspal. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin lama laston direndam dan dibebani dalam air hujan, maka nilai kelelahan akan semakin membesar dan nilai *Marshall Quotient* akan semakin mengecil. Jika melihat pola yang terjadi, laston akan terus mengalami penurunan kualitas apabila perendaman dan pembebanan dilanjutkan untuk waktu yang lebih lama.

Tabel 4.19 menunjukkan besar persentase perubahan yang dialami campuran aspal. Pada tabel tersebut, terlihat bahwa ada beberapa nilai MQ yang bertanda

negatif. Hal tersebut dikarenakan nilai MQ akhir lebih tinggi dari nilai MQ awal yang berarti setelah mengalami pembebanan terendam, campuran aspal mengalami perubahan menjadi semakin kaku.



BAB 5

KESIMPULAN dan SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Material aspal dan agregat yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan. Karakteristik material tersebut antara lain :

Tabel 5.1 Hasil pemeriksaan material

Jenis Pemeriksaan	Hasil Percobaan	Satuan
Aspal Pen 60/70		
Penetrasi aspal 25°, 100 gram, 5 detik	72,5	0,1 mm
Titik Lembek aspal 5°C	50,5	Derajat Celcius
Titik Nyala aspal	340	Derajat Celcius
Kehilangan Berat aspal	0,04	% Berat
Kelarutan dalam CCl4	99,97	% Berat
Daktilitas	100	Cm
Penetrasi setelah kehilangan berat	80,55	% Semula
Berat jenis	1,029	Gr/Cc
Agregat		
Kasar		
Berat jenis curah (Bulk)	2,527	Gr/cm ³
Penyerapan	2,5	%
Medium		
Berat jenis curah (Bulk)	2,535	Gr/cm ³
Penyerapan	2	%
Halus		
Berat jenis curah (Bulk)	2,51	Gr/cm ³
Penyerapan	1,83	%

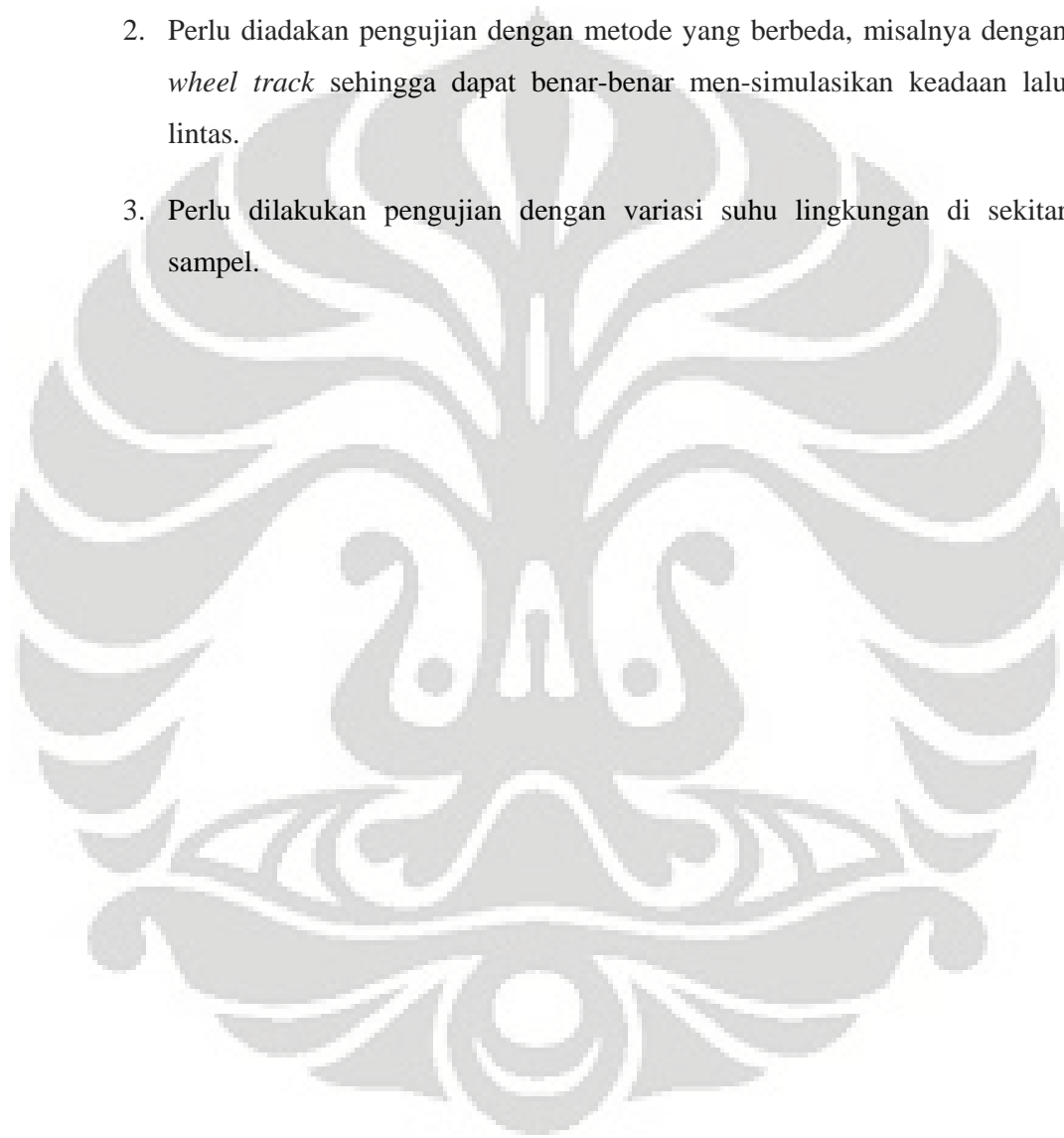
2. Agregat yang digunakan bergradasi menerus.

3. Untuk pembuatan benda uji digunakan persentase agregat kasar 10%, medium 30%, dan halus 60%.
4. Kadar aspal optimum yang digunakan dalam penelitian ini adalah 6,15 %.
5. Hasil pengujian LASTON dengan kadar aspal 6,15 % adalah :
 - VMA = 19,20 %
 - VIM = 3,52 %
 - Stabilitas = 1263,37 kg
 - Kelelehan = 3,45 mm
 - MQ = 365,74 kg/mm
6. Beban total yang digunakan dalam pengujian ini diambil dari nilai stabilitas sampel tanpa perendaman dalam *waterbath*, yaitu sebesar 3342,57 kg.
7. Beban yang digunakan pada saat pembebanan dalam air hujan adalah 20% dari beban total, yaitu sebesar 668,512 kg.
8. Untuk waktu pembebanan yang singkat, pembebanan statis berulang menyebabkan campuran aspal mengalami pemadatan yang berakibat nilai kelelehan menjadi lebih kecil dan nilai MQ menjadi lebih besar.
9. Untuk waktu pembebanan terendam yang lebih lama, stabilitas campuran aspal menjadi semakin kecil, dan sampel menjadi semakin lentur yang ditandai dengan nilai MQ yang semakin kecil dan kelelehan semakin besar.
10. Perubahan terjadi secara fluktuatif yang membentuk pola menurun dengan nilai kinerja terendah terjadi pada waktu rendaman 360 menit, yaitu stabilitas menurun sebesar 33,99 %, kelelehan menurun sebesar 13,57 %, dan MQ menurun sebesar 23,16 %.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah dikemukakan di atas, ada beberapa hal yang dapat disarankan, antara lain:

1. Perlu diadakan pengujian dengan meterial yang berbeda.
2. Perlu diadakan pengujian dengan metode yang berbeda, misalnya dengan *wheel track* sehingga dapat benar-benar men-simulasikan keadaan lalu lintas.
3. Perlu dilakukan pengujian dengan variasi suhu lingkungan di sekitar sampel.



DAFTAR PUSTAKA

- Agah, Ir. Heddy R., M. Eng.(1984). *Lempung dan Pengaruh Waktu Rendaman pada Percobaan Marshall terhadap Campuran Aspal Beton*. Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum.(1987). *Petunjuk Pelaksanaan Lapisan Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*. Jakarta : Yayasan Badan Penerbit PU.
- Laboratorium Bahan FTUI. (2009). *Pedoman Praktikum Bahan Perkerasan Jalan*. Depok
- Rio, Alex.(2006). *Parameter Waktu Perendaman Terhadap Kinerja Campuran Laston IV Dengan Menggunakan Aspal Bituplus*. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok
- Sukirman, Silvia.(2007). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Yayasan Obor Indonesia
- Wignall, Arthur, dkk.(2003) *Proyek Jalan:Teori dan Praktek Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga.
- elearning.gunadarma.ac.id/.../bab3_material_konstruksi_perkerasan_lentur.pdf
- elearning.gunadarma.ac.id/.../bab2_jenis_dan_fungsi_lapisan_perkerasan_lentur.pdf
- <http://klastik.wordpress.com>, 3 Desember 2006
- RSNI, 2002
- SNI 03-1737-1989.pdf
- [Http://dewey.petra.ac.id/dgt_res_dtail.phpknokat=4720](http://dewey.petra.ac.id/dgt_res_dtail.phpknokat=4720)

LAMPIRAN





LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL**J-01 / 01 / LB-FTUI**

Nama : Dikerjakan :
 Judul : Diperiksa :
 Jenis contoh : Tanggal :

Jenis pemeriksaan

- Penetrasi pada 25°C, 5 detik, 100 gram
- Penetrasi setelah kehilangan berat pada 25°C, 5 detik, 100 gram
- Penetrasi setelah destilasi pada 25°C, 5 detik, 100 gram
- Penetrasi pada kondisi lainnya :
 - Temperatur :
 - Waktu :
 - Beban :

PENETRASI SEBELUM DI OVEN

PERCOBAAN I	1	2	3	4	5	6			Rata-Rata	Berat Can (gram)	Berat Can + Aspal (gram)	Berat Aspal (gram)
BENDA UJI A	73	78	69	77	66				72,60	21,69	91,33	69,64
BENDA UJI B	68	78	69	75	72				72,40	20,37	88,72	68,35

PENETRASI SETELAH DI OVEN

PERCOBAAN II	1	2	3	4	5	6	7	8	Rata-Rata	Berat Can (gram)	Berat Can + Aspal (gram)	Berat Aspal (gram)
BENDA UJI A	56	54	63	60	67				60,00	21,69	91,30	69,61
BENDA UJI B	50	53	54	63	64				56,80	20,37	88,69	68,32



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

J-02 / 01 / LB-FTUI

Nama : Dikerjakan :
 Judul : Diperiksa :
 Jenis contoh : Tanggal :

PEMERIKSAAN I

No.	Waktu (menit)	Suhu (°C)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

PEMERIKSAAN II

No.	Waktu (menit)	Suhu (°C)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Temperatur pada saat bola menyentuh pelat dasar :

- I. 50 °C
- II. 51 °C

Temperatur titik lembek (Ring & Ball) rata-rata : 50,5 °C

Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR

ASPAL (CLEVELAND OPEN CUP)

J-03 / 01 / LB-FTUI

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Temperatur pada saat terlihat nyala singkat (titik nyala) : 340 °C

Temperatur pada saat terlihat nyala minimal 5 detik (titik bakar) : 354 °C

Dikerjakan oleh : Diperiksa/disetujui
Tanggal : Kepala Laboratorium Bahan

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran 4 Penurunan Berat Minyak dan Aspal



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

PENURUNAN BERAT MINYAK DAN ASPAL

(THICK FILM TEST)

J-04 / 01 / LB-FTUI

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

CAWAN A	Berat sebelum pemanasan (gram)	Berat setelah pemanasan (gram)
Cawan + Aspal	91,33	91,30
Cawan	21,69	21,69
Aspal	69,64	69,61
Penurunan Berat (%)	0,04	

CAWAN B	Berat sebelum pemanasan (gram)	Berat setelah pemanasan (gram)
Cawan + Aspal	88,72	88,69
Cawan	20,37	20,37
Aspal	68,35	68,32
Penurunan Berat (%)	0,04	

Dikerjakan oleh : Diperiksa/disetujui
Tanggal : Kepala Laboratorium Bahan

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia

Lampiran 5 Kelarutan Aspal dalam Karbon Tetraklorida



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

KELARUTAN BITUMEN ASPAL

KARBON TETRA KLORIDA

J-05 / 01 / LB-FTUI

Nama : Dikerjaka :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Berat aspal = 2 gram

PEMERIKSAAN I	Notasi	Berat (gram)
Berat Tabung Erlemeyer	A	115
Berat Tabung Erlemeye + Benda Uji	B	117
Berat kertas saring	C	4,80
Berat kertas saring + endapan	D	4,805
Kadar kelarutan (%)		99,75

Dikerjakan oleh :

Tanggal :

Diperiksa/disetujui

Kepala Laboratorium Bahan

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

DAKTILITAS BAHAN BITUMEN

J-06 / 01 / LB-FTUI

Nama : Dikerjakan :
 Judul : Diperiksa :
 Jenis contoh : Tanggal :

PEMERIKSAAN

No.	Waktu (detik)	Jarak (mm)
1		1000
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
20		

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

BERAT JENIS BITUMEN

J-07 / 01 / LB-FTUI

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

PEMERIKSAAN

Berat piknometer	A	36,34 gram
Berat piknometer + air	B	59,83 gram
Berat piknometer + aspal	C	50,32 gram
Berat piknometer + aspal + air	D	60,22 gram
Berat jenis bitumen	1,029	

Dikerjakan oleh : Diperiksa/disetujui
Tanggal : Kepala Laboratorium Bahan

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia

Lampiran 8 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis Contoh : Tanggal :

PEMERIKSAAN

BERAT BENDA UJI		gram
BERAT KERING OVEN	B _K	5000
BERAT KERING PERMUKAAN JENUH	B _J	5125
BERAT PERMUKAAN JENUH DI DALAM AIR	B _A	3147
BERAT JENIS (Bulk Specific Gravity)		2,528
BERAT JENIS KERING PERMUKAAN JENUH (SSD)		2,59
BERAT JENIS SEMU (Apparent Specific Gravity)		2,70
PENYERAPAN		2,50 %

Lampiran 8 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat (Sambungan)



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) - 727 0028 (Fax)

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT MEDIUM

Nama :
Judul :
Jenis Contoh :
Dikerjakan :
Diperiksa :
Tanggal :

PEMERIKSAAN

BERAT BENDA UJI		gram
BERAT KERING OVEN	B _K	5000
BERAT KERING PERMUKAAN JENUH	B _J	5100
BERAT PERMUKAAN JENUH DI DALAM AIR	B _A	3128
BERAT JENIS (Bulk Specific Gravity)		2,535
BERAT JENIS KERING PERMUKAAN JENUH (SSD)		2,59
BERAT JENIS SEMU (Apparent Specific Gravity)		2,67
PENYERAPAN		2,00 %

Universitas Indonesia

Lampiran 8 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat (Sambungan)



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

Nama :
Judul :
Jenis Contoh :
Dikerjakan :
Diperiksa :
Tanggal :

PEMERIKSAAN

BERAT		gram
BENDA UJI KERING OVEN	B _K	491
PIKNOMETER BERISI AIR	B	668
PIKNOMETER BERISI BENDA UJI + AIR	B _t	972
BENDA UJI (dalam keadaan kering permukaan jenuh)		500
BERAT JENIS (Bulk Specific Gravity)		2,51
BERAT JENIS KERING PERMUKAAN JENUH (SSD)		2,55
BERAT JENIS SEMU (Apparent Specific Gravity)		2,63
PENYERAPAN		1,83 %

Universitas Indonesia

**LABORATORIUM BAHAN**

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

**ANALISA BUTIRAN KASAR
PB.0201-76 / (AASHTO T.27-B2)**

Nama : Dikerjakan oleh :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Saringan No.	Diameter	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Kumulatif
1		0,00	0,00	100,00
3/4"		0	0,00	100,00
1/2"		2.002	86,70	13,30
3/8"		281	12,17	1,13
4		9	0,39	0,74
Pan		17	0,74	0,00
Total		2.309		

Dikerjakan oleh : Diperiksa/disetujui
Tanggal : Kepala Laboratorium Bahan

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

**ANALISA BUTIRAN MEDIUM
PB.0201-76 / (AASHTO T.27-B2)**

Nama : Dikerjakan oleh :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Saringan No.	Diameter	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Kumulatif
3/4"		0,00	0,00	100,00
1/2"		30	1,15	98,85
3/8"		660	25,35	73,50
4		1.760	67,59	5,91
8		137	5,26	0,65
16		5	0,19	0,46
30		2,00	0,08	0,38
Pan		10,00	0,38	0,00
	Total	2.604		

Dikerjakan oleh : Diperiksa/disetujui
Tanggal : Kepala Laboratorium Bahan

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

**ANALISA BUTIRAN HALUS
PB.0201-76 / (AASHTO T.27-B2)**

Nama : Dikerjakan oleh :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Saringan No.	Diameter	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Kumulatif
4		0	0,00	100,00
8		354	25,76	74,24
16		416	30,28	43,96
30		45	3,28	40,68
50		142	10,33	30,35
100		148	10,77	19,58
200		64	4,66	14,92
Pan		205	14,92	0,00
Total		1.374		

Dikerjakan oleh : Diperiksa/disetujui
Tanggal : Kepala Laboratorium Bahan

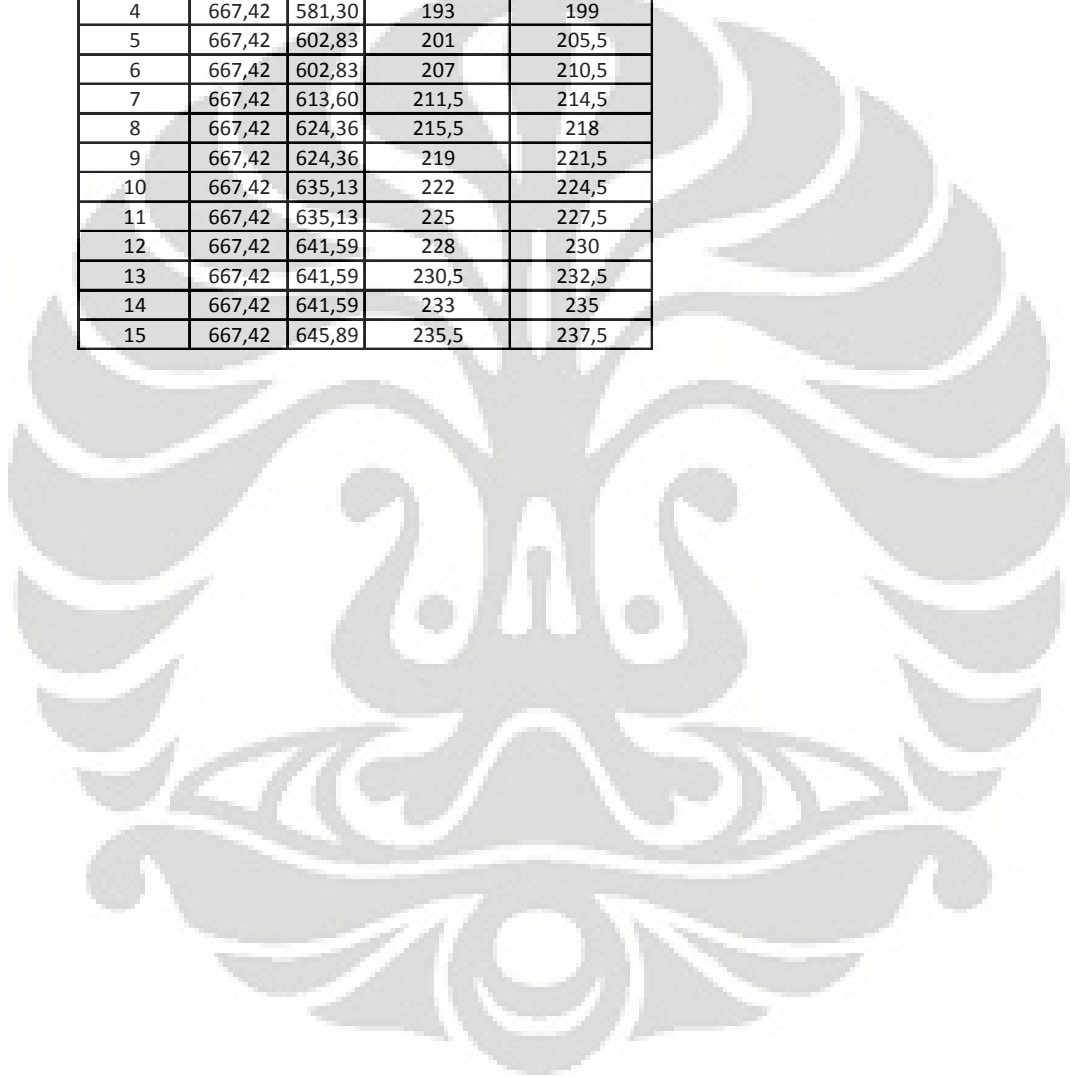
Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal

Sample : 1 Marshall Test
 Waktu : **15 menit** O 128 korelasi tinggi 0,9355
 pH : air hujan (4.6) R 2,5 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
1	667,42	409,06	138	156,5
2	667,42	516,71	167	179
3	667,42	549,01	183	190,5
4	667,42	581,30	193	199
5	667,42	602,83	201	205,5
6	667,42	602,83	207	210,5
7	667,42	613,60	211,5	214,5
8	667,42	624,36	215,5	218
9	667,42	624,36	219	221,5
10	667,42	635,13	222	224,5
11	667,42	635,13	225	227,5
12	667,42	641,59	228	230
13	667,42	641,59	230,5	232,5
14	667,42	641,59	233	235
15	667,42	645,89	235,5	237,5

stabilitas akhir
2755,802

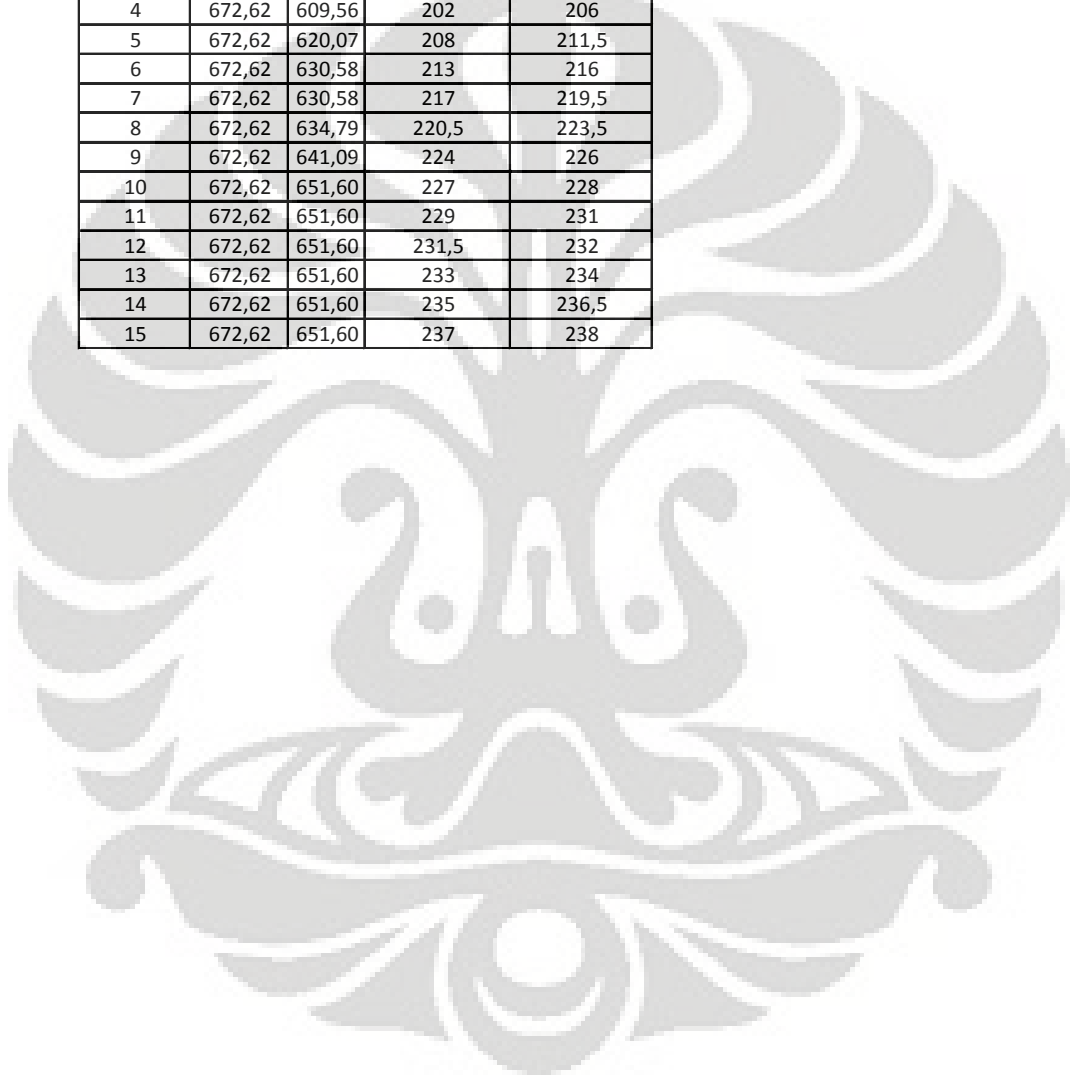


Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample : 18 Marshall Test
 Waktu : 15 menit O 147 korelasi tinggi 0,91333
 pH : air hujan (4.6) R 1,35 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
1	672,62	493,96	165	179
2	672,62	557,02	182	189
3	672,62	588,55	193	198
4	672,62	609,56	202	206
5	672,62	620,07	208	211,5
6	672,62	630,58	213	216
7	672,62	630,58	217	219,5
8	672,62	634,79	220,5	223,5
9	672,62	641,09	224	226
10	672,62	651,60	227	228
11	672,62	651,60	229	231
12	672,62	651,60	231,5	232
13	672,62	651,60	233	234
14	672,62	651,60	235	236,5
15	672,62	651,60	237	238

stabilitas akhir
3089,863

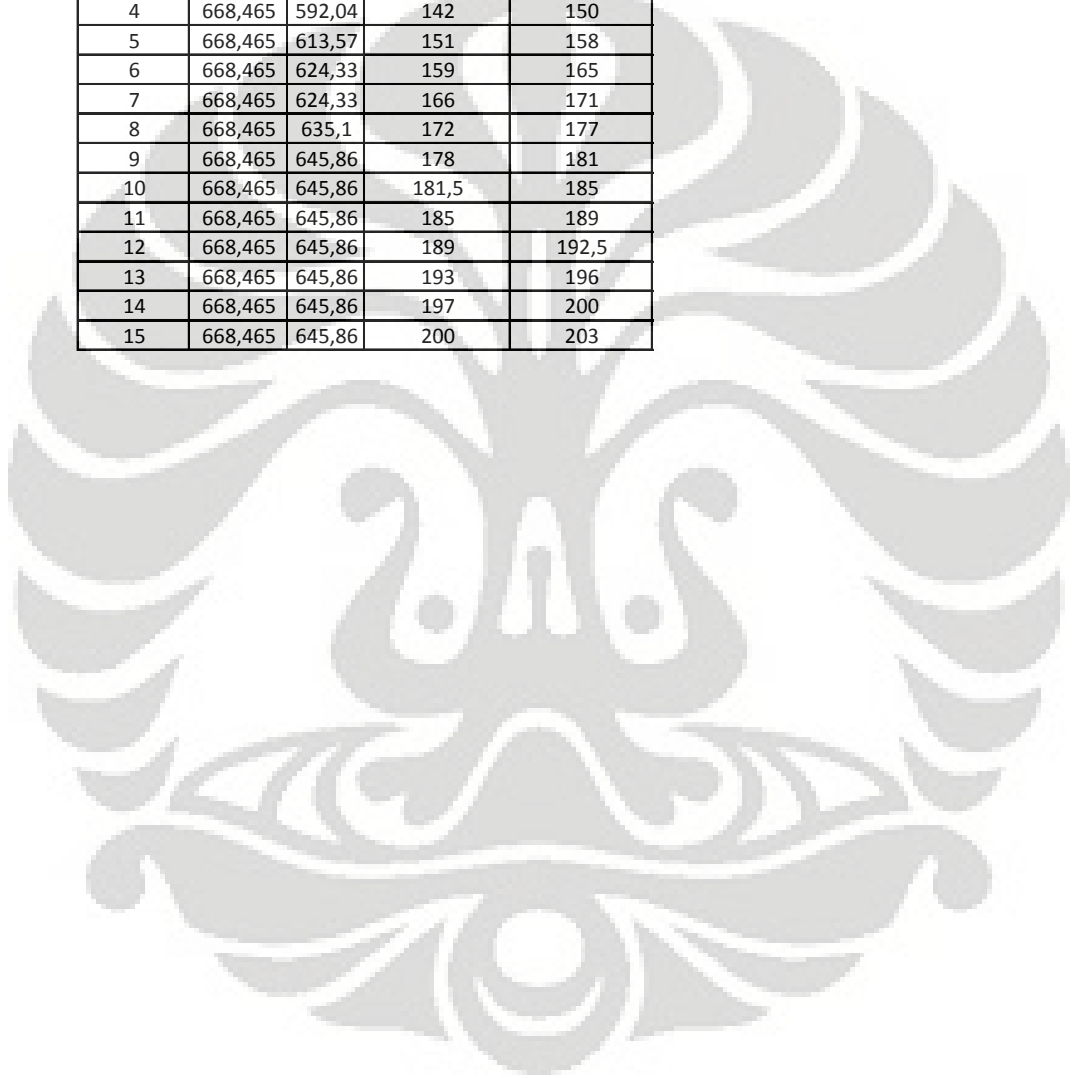


Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample :57 Marshall Test
 Waktu : 15 menit O 145 korelasi tinggi 0,935455
 pH : air hujan (4.6) R 2,8 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
1	668,465	430,57	78	106
2	668,465	527,45	112	127
3	668,465	570,51	130	140
4	668,465	592,04	142	150
5	668,465	613,57	151	158
6	668,465	624,33	159	165
7	668,465	624,33	166	171
8	668,465	635,1	172	177
9	668,465	645,86	178	181
10	668,465	645,86	181,5	185
11	668,465	645,86	185	189
12	668,465	645,86	189	192,5
13	668,465	645,86	193	196
14	668,465	645,86	197	200
15	668,465	645,86	200	203

stabilitas akhir
3121,656

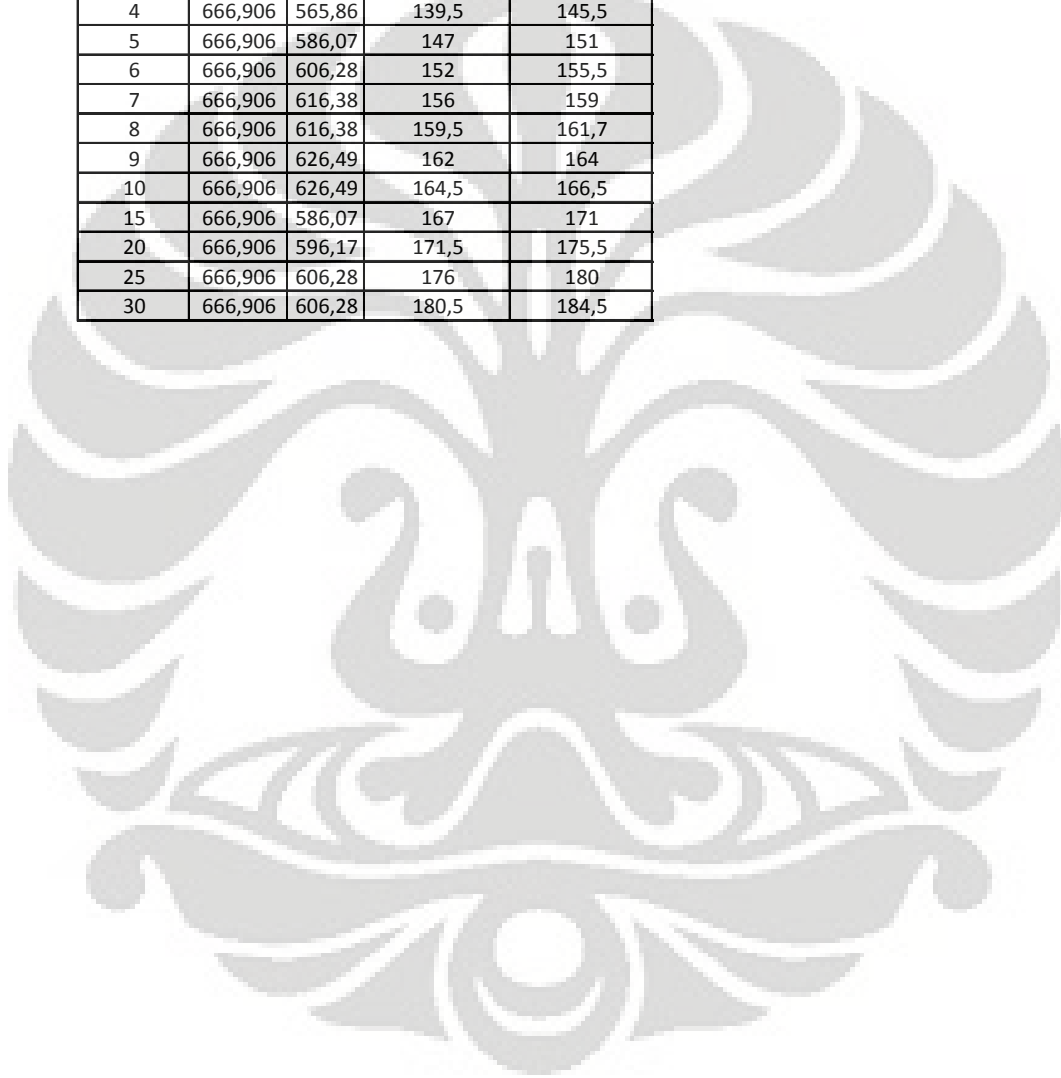


Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample : 21 Marshall Test
 Waktu : 30 menit O 161 korelasi tinggi 0,878125
 pH : air hujan (4.6) R 3,5 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
1	666,906	363,77	92	109
2	666,906	474,92	115	127
3	666,906	535,55	130	137,5
4	666,906	565,86	139,5	145,5
5	666,906	586,07	147	151
6	666,906	606,28	152	155,5
7	666,906	616,38	156	159
8	666,906	616,38	159,5	161,7
9	666,906	626,49	162	164
10	666,906	626,49	164,5	166,5
15	666,906	586,07	167	171
20	666,906	596,17	171,5	175,5
25	666,906	606,28	176	180
30	666,906	606,28	180,5	184,5

stabilitas akhir
3253,692

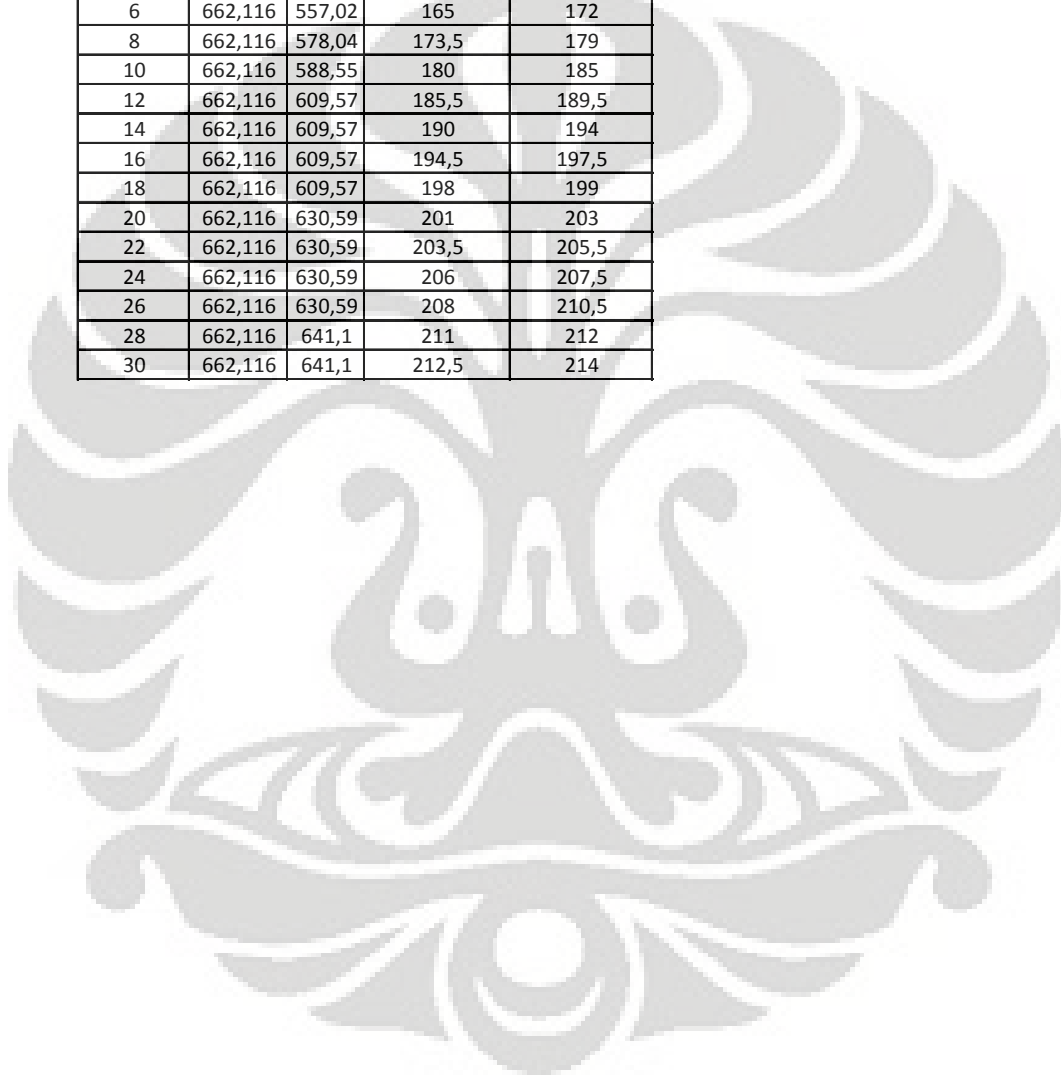


Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample :3 Marshall Test
 Waktu : 30 menit O 144 korelasi tinggi 0,913333
 pH : air hujan (4.6) R 2,35 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
0	662,116	325,8	102	123
2	662,116	578,04	133	147,5
4	662,116	504,47	152	162,5
6	662,116	557,02	165	172
8	662,116	578,04	173,5	179
10	662,116	588,55	180	185
12	662,116	609,57	185,5	189,5
14	662,116	609,57	190	194
16	662,116	609,57	194,5	197,5
18	662,116	609,57	198	199
20	662,116	630,59	201	203
22	662,116	630,59	203,5	205,5
24	662,116	630,59	206	207,5
26	662,116	630,59	208	210,5
28	662,116	641,1	211	212
30	662,116	641,1	212,5	214

stabilitas akhir
3026,815

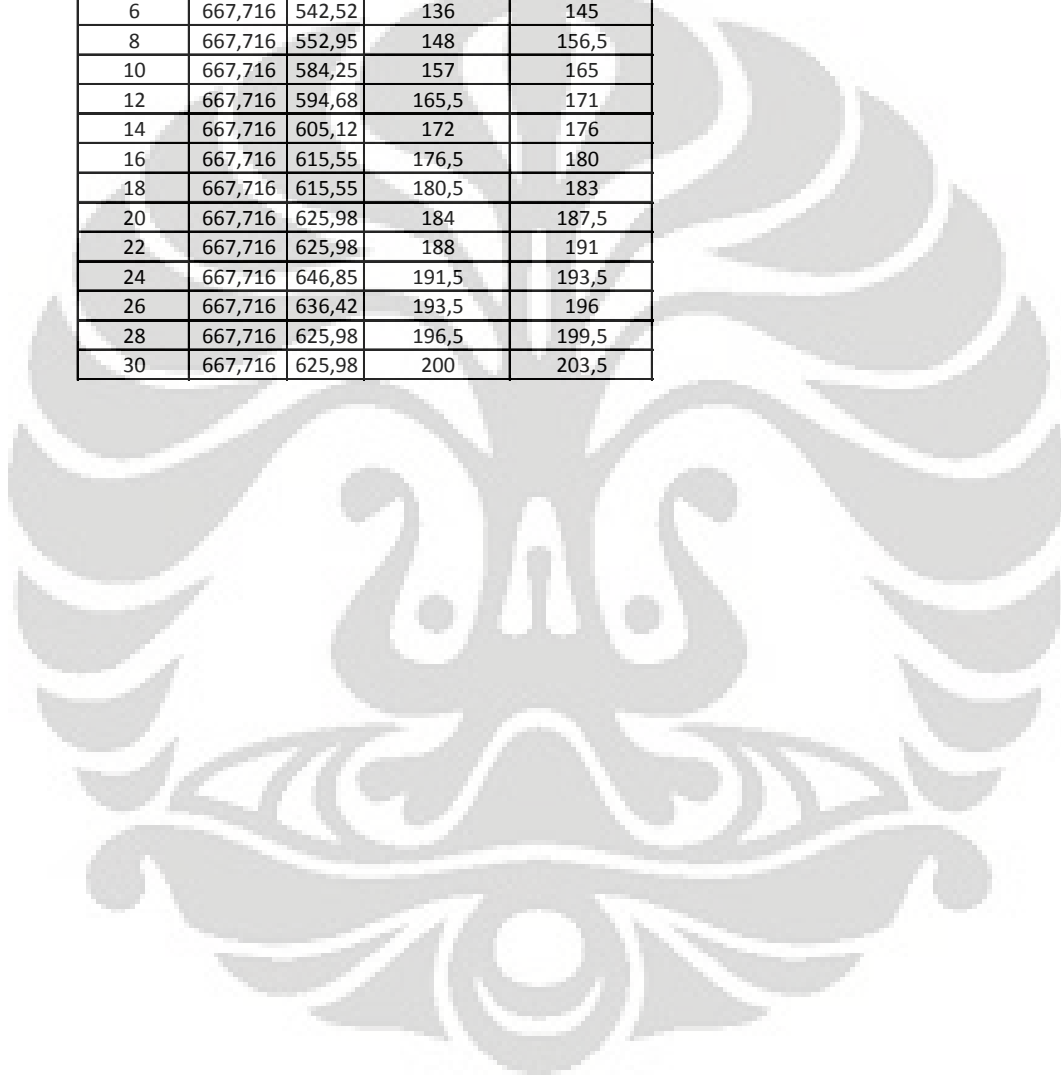


Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample :7 Marshall Test
 Waktu : 30 menit O 155 korelasi tinggi 0,906667
 pH : air hujan (4.6) R 1,33 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
0	667,716	312,99	52	87
2	667,716	438,19	99	116
4	667,716	500,79	120	134
6	667,716	542,52	136	145
8	667,716	552,95	148	156,5
10	667,716	584,25	157	165
12	667,716	594,68	165,5	171
14	667,716	605,12	172	176
16	667,716	615,55	176,5	180
18	667,716	615,55	180,5	183
20	667,716	625,98	184	187,5
22	667,716	625,98	188	191
24	667,716	646,85	191,5	193,5
26	667,716	636,42	193,5	196
28	667,716	625,98	196,5	199,5
30	667,716	625,98	200	203,5

stabilitas akhir
3234,251



Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample : 22 Marshall Test
 Waktu : 1 Jam O 167 korelasi tinggi 0,933
 pH : air hujan (4.6) R 2,35 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
1	665,637	429,44	107	120
2	665,637	515,33	128	136
3	665,637	569,01	139	145,5
4	665,637	590,48	147,5	152
5	665,637	611,96	152,5	157
6	665,637	633,43	159	163
7	665,637	633,43	164	166
8	665,637	633,43	166,5	169
9	665,637	639,87	169,5	171
10	665,637	642,02	171,5	133,5
15	665,637	611,96	174	177,5
20	665,637	611,96	178	181
25	665,637	622,69	181,5	184
30	665,637	622,69	184,5	187
35	665,637	622,69	187,1	189,5
40	665,637	633,43	190	192
45	665,637	633,43	192,5	194,5
50	665,637	633,43	194,9	196,5
55	665,637	642,02	197	198,5
60	665,637	642,02	198,5	199

stabilitas akhir
3585,851

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample :10 Marshall Test
 Waktu : 1 Jam O 112 korelasi tinggi 0,90825
 pH : air hujan (4.6) R 2,2 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
2	668,882	292,64	92	120
4	668,882	397,15	131	146,5
6	668,882	449,41	152	165
8	668,882	491,21	170	182
10	668,882	522,56	186	197
12	668,882	543,47	200,5	210
14	668,882	553,92	212	221
16	668,882	564,37	223	232
18	668,882	574,82	234	242
20	668,882	585,27	244	251
22	668,882	585,27	252	259,5
24	668,882	595,72	261	267
26	668,882	595,72	268	274
28	668,882	595,72	275	281,5
30	668,882	606,17	282	287,5
32	668,882	606,17	288,5	294
34	668,882	606,17	294,5	299,5
36	668,882	606,17	300,5	305,5
38	668,882	606,17	306	311
40	668,882	606,17	311,5	316
42	668,882	616,63	317	322,5
44	668,882	606,17	323	327,5
46	668,882	606,17	328,5	333,5
48	668,882	606,17	334,5	339,5
50	668,882	606,17	340	344,5
52	668,882	606,17	345,5	350,5
54	668,882	606,17	351	356
56	668,882	606,17	356,5	361,5
58	668,882	606,17	362	367
60	668,882	606,17	367,5	372,5

stabilitas akhir
2341,087

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample : 29 Marshall Test
 Waktu : 1 Jam O 125 korelasi tinggi 0,8975
 pH : air hujan (4.6) R 1,85 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
2	669,227	309,83	135	159
4	669,227	433,76	169,5	186,5
6	669,227	485,4	190	203
8	669,227	526,71	204,5	215
10	669,227	557,69	216	224
12	669,227	568,02	225	232
14	669,227	588,67	232,5	238,5
16	669,227	588,67	239	244
18	669,227	599	244,5	249,5
20	669,227	609,33	249,5	254
22	669,227	619,65	254	258,5
24	669,227	619,65	258,5	262,5
26	669,227	619,65	262,5	266
28	669,227	619,65	266	269
30	669,227	629,98	269,5	272
32	669,227	629,98	272,5	275
34	669,227	629,98	275	277,5
36	669,227	629,98	277,5	280
38	669,227	629,98	280	282,5
40	669,227	640,31	282,5	285
42	669,227	640,31	285,5	288
44	669,227	640,31	288	290,5
46	669,227	640,31	290,5	293
48	669,227	640,31	293	295
50	669,227	640,31	295,5	297,5
52	669,227	640,31	297,5	300
54	669,227	640,31	300	302
56	669,227	640,31	302	304
58	669,227	640,31	304	306
60	669,227	640,31	306	308

stabilitas akhir
2581,895

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

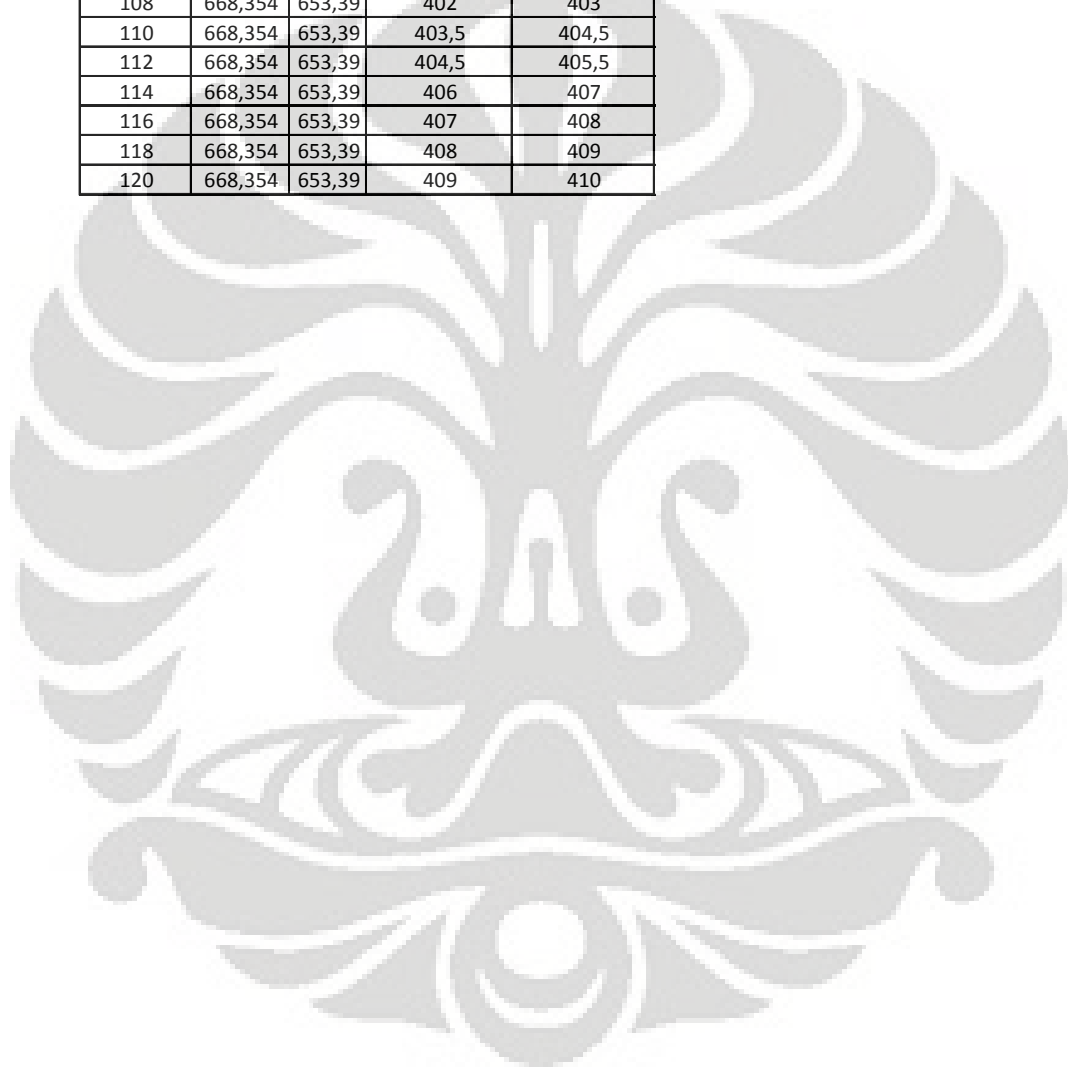
Sample : 8 Marshall Test
 Waktu : 2 Jam O 126 korelasi tinggi 0,915833
 pH : air hujan (4.6) R 2,43 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
2	668,354	274	187	211,5
4	668,354	411	226	245
6	668,354	484,77	252	266,5
8	668,354	305,62	269,5	281
10	668,354	548	282,5	292,5
12	668,354	569,08	294,5	301,5
14	668,354	579,62	302,5	308,5
16	668,354	590,16	309	314,5
18	668,354	600,7	315	320
20	668,354	600,7	320,5	325
22	668,354	611,24	326	330
24	668,354	611,24	330,5	334
26	668,354	621,77	334,5	338
28	668,354	621,77	338	341
30	668,354	621,77	341	343,5
32	668,354	632,31	343,5	346,5
34	668,354	632,31	346,5	348,5
36	668,354	632,31	348,5	351
38	668,354	632,31	351	353
40	668,354	632,31	353	355
42	668,354	632,31	355	357
44	668,354	632,31	357	359
46	668,354	632,31	359	361
48	668,354	642,85	361	363
50	668,354	642,85	363	365
52	668,354	642,85	365	366,5
54	668,354	642,85	366,5	368,5
56	668,354	642,85	368,5	370
58	668,354	642,85	370	371,5
60	668,354	642,85	371,5	373,5
62	668,354	642,85	373,5	375
64	668,354	653,39	375	376
66	668,354	653,39	376,5	377,5
68	668,354	653,39	377,5	379
70	668,354	653,39	379	380
72	668,354	653,39	380	381,5
74	668,354	653,39	381,5	383
76	668,354	653,39	383	384
78	668,354	653,39	384	385
80	668,354	653,39	385	386,5
82	668,354	653,39	386,5	387,5
84	668,354	653,39	387,5	389
86	668,354	653,39	389	390
88	668,354	653,39	390	391,5

stabilitas akhir
2655,712

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

90	668,354	653,39	391,5	392,5
92	668,354	653,39	392,5	393,5
94	668,354	653,39	394	395
96	668,354	653,39	395	396
98	668,354	653,39	396	397
100	668,354	653,39	397,5	398,5
102	668,354	653,39	399	400
104	668,354	653,39	400	401
106	668,354	653,39	401	402
108	668,354	653,39	402	403
110	668,354	653,39	403,5	404,5
112	668,354	653,39	404,5	405,5
114	668,354	653,39	406	407
116	668,354	653,39	407	408
118	668,354	653,39	408	409
120	668,354	653,39	409	410



Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

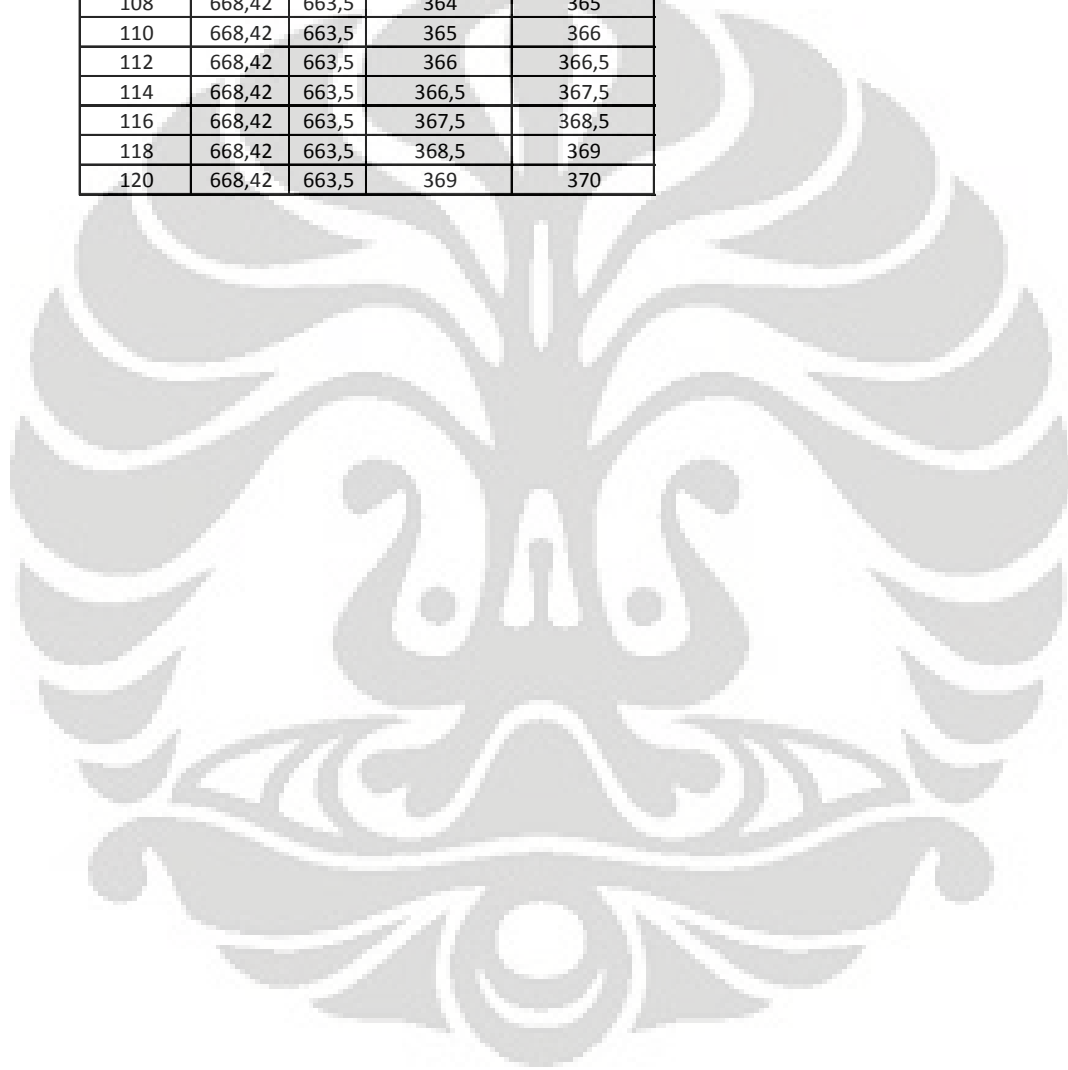
Sample : 35 Marshall Test
 Waktu : 2 Jam O 134 korelasi tinggi 0,93
 pH : air hujan (4.6) R 2,13 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
2	668,42	331,75	198	219
4	668,42	449,47	229	244
6	668,42	513,67	248	259
8	668,42	556,48	262	270
10	668,42	577,88	271,5	277,5
12	668,42	599,29	278,5	283,5
14	668,42	609,99	284,5	289
16	668,42	620,69	290	293,5
18	668,42	620,69	294	297,5
20	668,42	620,69	298	301
22	668,42	631,39	301,5	304
24	668,42	642,09	305	307,5
26	668,42	642,09	308	310,5
28	668,42	642,09	311	313
30	668,42	642,09	313	315
32	668,42	642,09	315,5	317
34	668,42	642,09	317,5	319
36	668,42	642,09	319,5	321
38	668,42	642,09	321,5	323
40	668,42	652,8	323,5	325
42	668,42	652,8	325	326,5
44	668,42	652,8	327	328
46	668,42	652,8	328,5	330
48	668,42	652,8	330	331
50	668,42	652,8	331,5	333
52	668,42	652,8	333	334
54	668,42	652,8	334,5	335,5
56	668,42	652,8	335,5	337
58	668,42	652,8	337	338
60	668,42	652,8	338,5	339,5
62	668,42	652,8	340	341
64	668,42	652,8	341	342
66	668,42	652,8	342,5	343,5
68	668,42	652,8	344	345
70	668,42	663,5	345	346
72	668,42	663,5	346	347
74	668,42	663,5	347	348
76	668,42	663,5	348	349
78	668,42	663,5	349	350
80	668,42	663,5	350	351
82	668,42	663,5	351	352
84	668,42	663,5	352	353
86	668,42	663,5	353	354
88	668,42	663,5	354,5	355

stabilitas akhir
2868,018

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

90	668,42	663,5	355,5	357
92	668,42	663,5	357	358
94	668,42	663,5	358	358,5
96	668,42	663,5	359	359,5
98	668,42	663,5	360	360,5
100	668,42	663,5	360,5	361,5
102	668,42	663,5	361,5	362
104	668,42	663,5	362,5	363
106	668,42	663,5	363	364
108	668,42	663,5	364	365
110	668,42	663,5	365	366
112	668,42	663,5	366	366,5
114	668,42	663,5	366,5	367,5
116	668,42	663,5	367,5	368,5
118	668,42	663,5	368,5	369
120	668,42	663,5	369	370



Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

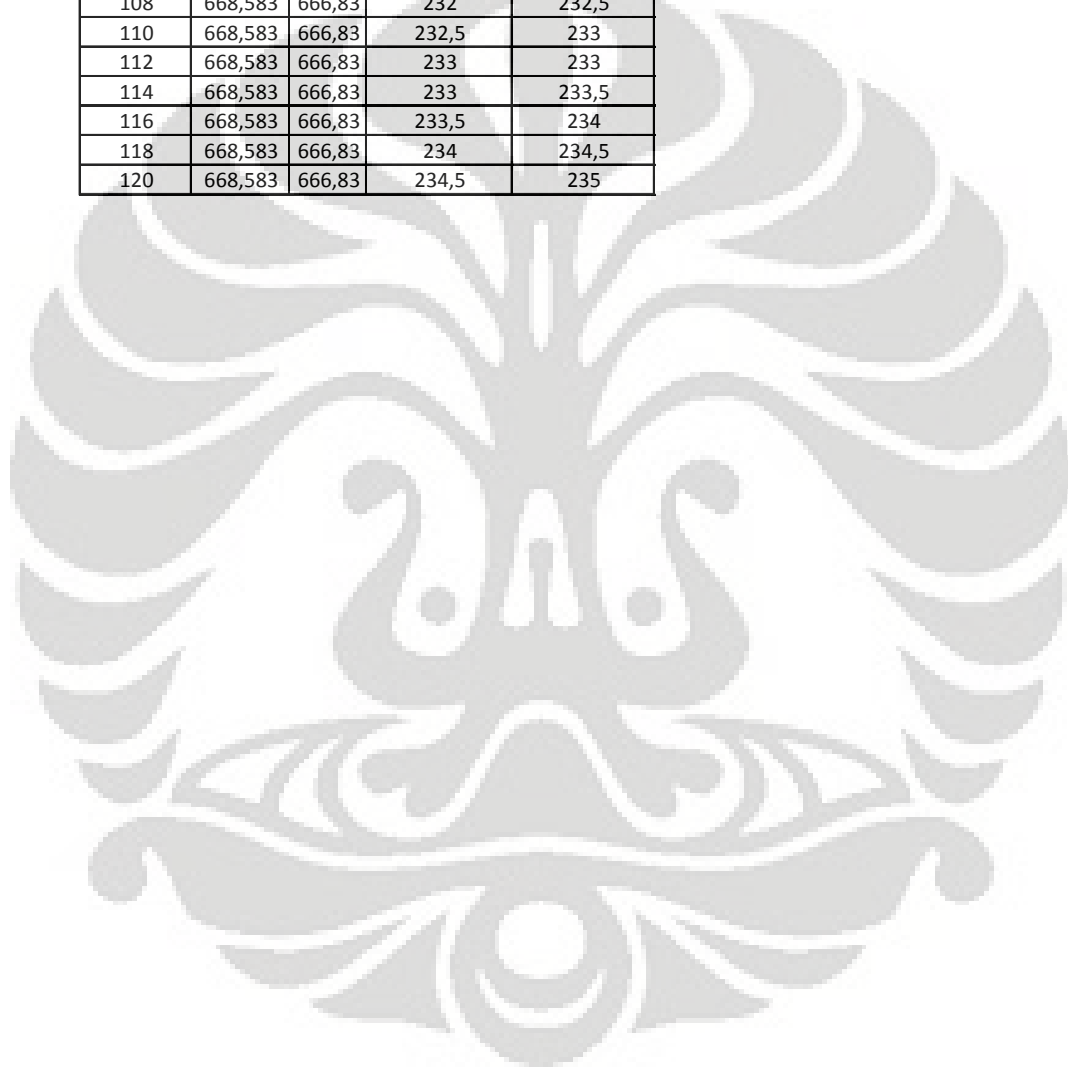
Sample : 41 Marshall Test
 Waktu : 2 Jam O 111 korelasi tinggi 0,95
 pH : air hujan (4.6) R 2,75 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
2	668,583	349,81	105	129,5
4	668,583	459,13	138,5	152
6	668,583	513,79	155,5	163
8	668,583	546,59	165	171
10	668,583	579,38	172,5	178
12	668,583	590,31	179	183
14	668,583	601,24	184	187,5
16	668,583	612,18	188	190,5
18	668,583	623,11	191	193,5
20	668,583	623,11	194	196
22	668,583	634,04	196,5	198,5
24	668,583	634,04	199	201
26	668,583	634,04	201	203
28	668,583	634,04	203	205
30	668,583	634,04	205	207
32	668,583	634,04	207	209
34	668,583	634,04	209	211
36	668,583	634,04	211	212,5
38	668,583	644,97	213	214
40	668,583	644,97	214	215,5
42	668,583	644,97	215,5	217
44	668,583	644,97	217	218,5
46	668,583	644,97	218,5	219,5
48	668,583	644,97	219,5	221
50	668,583	655,9	221	222
52	668,583	655,9	222	223
54	668,583	655,9	223	223,5
56	668,583	655,9	223,5	224,5
58	668,583	655,9	224,5	225
60	668,583	655,9	225	225
62	668,583	655,9	225	225
64	668,583	655,9	225	225,5
66	668,583	655,9	225,5	225,5
68	668,583	655,9	225,5	225,5
70	668,583	655,9	225,5	226
72	668,583	655,9	226	227
74	668,583	655,9	227	227,5
76	668,583	655,9	227,5	227,5
78	668,583	655,9	227,5	228
80	668,583	655,9	228	228
82	668,583	655,9	228	228
84	668,583	655,9	228	228,5
86	668,583	655,9	228,5	229
88	668,583	655,9	229	229,5

stabilitas akhir
2426,838

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

90	668,583	655,9	229,5	230
92	668,583	655,9	230	230
94	668,583	655,9	230	230,5
96	668,583	655,9	230,5	230,5
98	668,583	655,9	230,5	231
100	668,583	666,83	231	231
102	668,583	666,83	231	231,5
104	668,583	666,83	231,5	232
106	668,583	666,83	232	232
108	668,583	666,83	232	232,5
110	668,583	666,83	232,5	233
112	668,583	666,83	233	233
114	668,583	666,83	233	233,5
116	668,583	666,83	233,5	234
118	668,583	666,83	234	234,5
120	668,583	666,83	234,5	235



Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample : 48 Marshall Test
 Waktu : 6 Jam O 133 korelasi tinggi 0,923333
 pH : air hujan (4.6) R 4,98 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
2	668,515	350,62	117	141
4	668,515	478,12	150	164
6	668,515	531,24	166	175,5
8	668,515	573,74	177	184
10	668,515	594,99	185	190,5
12	668,515	616,24	191	195,5
14	668,515	616,24	196	195,5
16	668,515	626,87	200	203
18	668,515	637,49	203,5	206
20	668,515	637,49	206,5	209
22	668,515	637,49	209	211
24	668,515	637,49	211	213
26	668,515	648,12	213	215
28	668,515	648,12	215	217
30	668,515	648,12	217	218,5
32	668,515	648,12	218,5	220
34	668,515	648,12	220	221,5
36	668,515	658,74	221,5	223
38	668,515	658,74	223	224
40	668,515	658,74	224	225
42	668,515	658,74	225,5	226,5
44	668,515	658,74	227	228
46	668,515	658,74	228	229
48	668,515	658,74	229	230
50	668,515	658,74	230	231
52	668,515	658,74	231	232
54	668,515	658,74	232	233
56	668,515	658,74	233	234
58	668,515	658,74	234	234,5
60	668,515	658,74	235	235,5
62	668,515	658,74	235,5	236
64	668,515	658,74	236	237
66	668,515	658,74	237	238
68	668,515	658,74	238	238,5
70	668,515	658,74	239	239,5
72	668,515	658,74	239,5	240
74	668,515	658,74	240	241
76	668,515	658,74	241	241,5
78	668,515	658,74	241,5	242
80	668,515	658,74	242	243
82	668,515	658,74	243	243,5
84	668,515	658,74	243,5	244
86	668,515	658,74	244,5	245
88	668,515	658,74	245	245,5

stabilitas akhir
2826,208

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

90	668,515	658,74	245,5	246
92	668,515	658,74	246	247
94	668,515	658,74	247	247,5
96	668,515	658,74	247,5	248
98	668,515	658,74	248,5	249
100	668,515	658,74	249	249,5
102	668,515	658,74	249,5	250
104	668,515	658,74	250	251
106	668,515	658,74	251	251,5
108	668,515	658,74	251,5	252
110	668,515	658,74	252	252,5
112	668,515	658,74	252,5	253
114	668,515	658,74	253	254
116	668,515	658,74	254	254
118	668,515	658,74	254	255
120	668,515	658,74	255	255
122	668,515	658,74	255,5	256
124	668,515	658,74	256	256,5
126	668,515	658,74	256,5	257
128	668,515	658,74	257	257,5
130	668,515	658,74	257,5	258
132	668,515	658,74	258	258,5
134	668,515	658,74	258,5	259
136	668,515	658,74	259	259,5
138	668,515	658,74	259,5	260
140	668,515	658,74	260	260,5
142	668,515	658,74	261	261
144	668,515	658,74	261	262
146	668,515	658,74	262	262
148	668,515	658,74	262,5	263
150	668,515	658,74	263	263,5
152	668,515	658,74	263,5	264
154	668,515	658,74	264	264,5
156	668,515	658,74	264,5	265
158	668,515	658,74	265	265,5
160	668,515	658,74	265,5	266
162	668,515	658,74	266	266,5
164	668,515	658,74	266,5	267
166	668,515	658,74	267	267,5
168	668,515	658,74	268	268
170	668,515	658,74	268	268,5
172	668,515	658,74	269	269
174	668,515	658,74	269	270
176	668,515	658,74	270	270
178	668,515	658,74	270	270,5
180	668,515	658,74	271	271
182	668,515	658,74	271	271,5
184	668,515	658,74	272	272
186	668,515	658,74	272	273
188	668,515	658,74	273	273

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

190	668,515	658,74	273	274
192	668,515	658,74	274	274,5
194	668,515	658,74	274,5	275
196	668,515	658,74	275	275,5
198	668,515	658,74	275,5	276
200	668,515	658,74	276	276,5
202	668,515	658,74	276,5	277
204	668,515	658,74	277	277,5
206	668,515	658,74	277,5	278
208	668,515	658,74	278	278,5
210	668,515	658,74	278,5	279
212	668,515	658,74	279	279,5
214	668,515	658,74	280	280
216	668,515	658,74	280	281
218	668,515	658,74	281	281
220	668,515	658,74	281,5	282
222	668,515	658,74	282	282,5
224	668,515	658,74	282,5	283
226	668,515	658,74	283	283,5
228	668,515	658,74	283,5	284
230	668,515	658,74	284	284,5
232	668,515	658,74	284,5	285
234	668,515	658,74	285	286
236	668,515	658,74	286	286,5
238	668,515	658,74	286,5	287
240	668,515	658,74	287	287,5
242	668,515	658,74	287,5	288
244	668,515	658,74	288	289
246	668,515	658,74	289	289
248	668,515	658,74	289,5	290
250	668,515	658,74	290	290,5
252	668,515	658,74	290,5	291
254	668,515	658,74	291	291,5
256	668,515	658,74	292	292
258	668,515	658,74	292	293
260	668,515	658,74	293	293,5
262	668,515	658,74	293,5	294
264	668,515	658,74	294	295
266	668,515	658,74	295	295,5
268	668,515	658,74	295,5	296
270	668,515	658,74	296	296,5
272	668,515	658,74	296,5	297
274	668,515	658,74	297	298
276	668,515	658,74	298	299
278	668,515	658,74	299	299,5
280	668,515	658,74	299,5	300
282	668,515	658,74	300	301
284	668,515	658,74	301	301,5
286	668,515	658,74	301,5	302
288	668,515	658,74	302	302,5

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

290	668,515	658,74	302,5	303
292	668,515	658,74	303,5	304
294	668,515	658,74	304	304,5
296	668,515	658,74	305	305,5
298	668,515	658,74	305,5	306
300	668,515	658,74	306	307
302	668,515	658,74	307	307,5
304	668,515	658,74	307,5	308
306	668,515	658,74	308	309
308	668,515	658,74	309	309,5
310	668,515	658,74	309,5	310
312	668,515	658,74	310	310,5
314	668,515	658,74	311	311
316	668,515	658,74	311,5	312
318	668,515	658,74	312	312,5
320	668,515	658,74	312,5	313
322	668,515	658,74	313	314
324	668,515	658,74	314	314,5
326	668,515	658,74	314,5	315
328	668,515	658,74	315	316
330	668,515	658,74	316	316,5
332	668,515	658,74	316,5	317
334	668,515	658,74	317,5	318
336	668,515	658,74	318	318,5
338	668,515	658,74	319	319
340	668,515	658,74	319,5	320
342	668,515	658,74	320	321
344	668,515	658,74	321	321,5
346	668,515	658,74	321,5	322
348	668,515	658,74	322	323
350	668,515	658,74	323	323,5
352	668,515	658,74	323,5	324
354	668,515	658,74	324,5	325
356	668,515	658,74	325	326
358	668,515	658,74	326	326,5
360	668,515	658,74	326,5	327

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample : 47 Marshall Test
 Waktu : 6 Jam O 100 korelasi tinggi 0,911667
 pH : air hujan (4.6) R 3,2 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
2	668,461	272,76	142	171,5
4	668,461	388,15	183,5	201,5
6	668,461	451,1	207	221
8	668,461	493,06	223,5	235,5
10	668,461	514,04	238	248
12	668,461	545,51	250	257,5
14	668,461	566,49	258	263,5
16	668,461	576,98	264	268,5
18	668,461	597,96	269	273
20	668,461	597,96	273,5	277
22	668,461	608,45	277,5	281
24	668,461	608,45	281,5	284
26	668,461	618,95	284,5	287
28	668,461	629,44	287,5	290
30	668,461	629,44	290	292
32	668,461	629,44	292,5	294,5
34	668,461	629,44	294,5	296,5
36	668,461	629,44	296,5	298,5
38	668,461	629,44	298,5	300
40	668,461	629,44	300,5	302
42	668,461	639,93	302	303,5
44	668,461	639,93	303,5	305
46	668,461	639,93	305	306,5
48	668,461	639,93	307	308
50	668,461	639,93	308	309,5
52	668,461	639,93	310	311
54	668,461	639,93	311	312,5
56	668,461	639,93	312,5	314
58	668,461	639,93	314	315,5
60	668,461	639,93	315,5	317
62	668,461	639,93	317	318
64	668,461	639,93	318,5	319,5
66	668,461	639,93	319,5	321
68	668,461	639,93	321	322
70	668,461	650,42	322,5	324
72	668,461	650,42	324	325
74	668,461	650,42	325	326
76	668,461	650,42	326	327,5
78	668,461	650,42	327,5	328,5
80	668,461	650,42	329	330
82	668,461	650,42	330	331
84	668,461	650,42	331	332
86	668,461	650,42	332,5	333,5
88	668,461	650,42	333,5	334,5

stabilitas akhir
2098,12

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

90	668,461	650,42	334,5	335,5
92	668,461	650,42	335,5	336,5
94	668,461	650,42	337	338
96	668,461	650,42	338	339
98	668,461	650,42	339	340
100	668,461	650,42	340	341
102	668,461	650,42	341	341,5
104	668,461	650,42	341,5	342,5
106	668,461	650,42	342,5	343,5
108	668,461	650,42	343,5	344,5
110	668,461	650,42	344,5	345,5
112	668,461	650,42	345,5	346,5
114	668,461	650,42	346,5	347,5
116	668,461	650,42	347,5	348
118	668,461	650,42	348,5	349
120	668,461	650,42	349	350
122	668,461	650,42	350	351
124	668,461	650,42	351	352
126	668,461	650,42	352	353
128	668,461	650,42	353	354
130	668,461	650,42	354	354,5
132	668,461	650,42	354,5	355,5
134	668,461	650,42	355,5	356,5
136	668,461	650,42	356,5	357,5
138	668,461	650,42	357,5	358
140	668,461	650,42	358	359
142	668,461	650,42	359	360
144	668,461	650,42	360	361
146	668,461	650,42	361	362
148	668,461	650,42	362	362,5
150	668,461	650,42	362,5	363,5
152	668,461	650,42	363,5	364
154	668,461	650,42	364	365
156	668,461	650,42	365	366
158	668,461	650,42	366	366,5
160	668,461	650,42	366,5	367,5
162	668,461	650,42	367,5	368
164	668,461	650,42	368	369
166	668,461	650,42	369	370
168	668,461	650,42	370	370,5
170	668,461	650,42	370,5	371
172	668,461	650,42	371	372
174	668,461	650,42	372	372,5
176	668,461	650,42	372,5	373,5
178	668,461	650,42	373,5	374
180	668,461	650,42	374	375
182	668,461	650,42	375	375,5
184	668,461	650,42	375,5	376
186	668,461	650,42	376	376,5
188	668,461	650,42	376,5	377

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

190	668,461	650,42	377,5	378
192	668,461	650,42	378	378,5
194	668,461	650,42	378,5	379
196	668,461	650,42	379	380
198	668,461	650,42	380	380,5
200	668,461	650,42	380,5	381
202	668,461	650,42	381	381,5
204	668,461	650,42	381,5	382
206	668,461	650,42	382	383
208	668,461	650,42	383	383,5
210	668,461	650,42	383,5	384
212	668,461	650,42	384	384,5
214	668,461	650,42	384,5	385
216	668,461	650,42	385,5	385,5
218	668,461	650,42	385,5	386
220	668,461	650,42	386,5	387
222	668,461	650,42	387	387,5
224	668,461	650,42	387,5	388
226	668,461	650,42	388	388,5
228	668,461	650,42	388,5	389
230	668,461	650,42	389	389,5
232	668,461	650,42	389,5	390
234	668,461	650,42	390	390,5
236	668,461	650,42	391	391,5
238	668,461	650,42	391,5	392
240	668,461	650,42	392	392,5
242	668,461	650,42	392,5	393
244	668,461	650,42	393	393,5
246	668,461	650,42	393,5	394,5
248	668,461	650,42	394,5	395
250	668,461	650,42	395	395,5
252	668,461	650,42	395,5	396
254	668,461	650,42	396,5	397
256	668,461	650,42	397,5	397,5
258	668,461	650,42	397,5	398
260	668,461	650,42	398,5	399,5
262	668,461	650,42	399,5	400
264	668,461	650,42	400	401,5
266	668,461	650,42	401,5	402,5
268	668,461	650,42	402,5	403,5
270	668,461	650,42	403,5	404
272	668,461	650,42	404,5	405
274	668,461	650,42	405,5	406
276	668,461	650,42	406,5	407,5
278	668,461	650,42	407,5	408
280	668,461	650,42	408,5	409,5
282	668,461	650,42	409,5	410
284	668,461	650,42	410,5	411
286	668,461	650,42	411	412
288	668,461	650,42	412	413

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

290	668,461	650,42	413	414
292	668,461	650,42	414	414
294	668,461	650,42	414	415,5
296	668,461	650,42	416	416
298	668,461	650,42	416	417
300	668,461	650,42	417,5	418
302	668,461	650,42	418,5	419
304	668,461	650,42	419	420
306	668,461	650,42	420	421
308	668,461	650,42	421	422
310	668,461	650,42	422	423,5
312	668,461	650,42	423,5	424
314	668,461	650,42	424	424
316	668,461	650,42	424,5	426
318	668,461	650,42	426	427
320	668,461	650,42	427	428
322	668,461	650,42	428	429
324	668,461	650,42	429	430
326	668,461	650,42	430	431
328	668,461	650,42	431	432
330	668,461	650,42	432,5	433
332	668,461	650,42	433	434
334	668,461	650,42	434	435,5
336	668,461	650,42	435,5	436
338	668,461	650,42	436,5	436,5
340	668,461	650,42	436,5	437,5
342	668,461	650,42	438	438,5
344	668,461	650,42	438,5	440
346	668,461	650,42	440	440
348	668,461	650,42	440	441,5
350	668,461	650,42	442	442
352	668,461	650,42	442	443,5
354	668,461	650,42	444	444
356	668,461	650,42	444	446
358	668,461	650,42	446	446
360	668,461	650,42	446	447,5

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

Sample : 58 Marshall Test
 Waktu : 6 Jam O 113 korelasi tinggi 0,89
 pH : air hujan (4.6) R 2,85 kalibrasi alat 23,01411
 Beban : 20%

t	O (kg)	O' (kg)	R (x 0,01mm)	R' (x0,01mm)
2	668,551	378,93	123	145
4	668,551	481,34	160	173
6	668,551	532,55	181	189,5
8	668,551	563,27	195	201,5
10	668,551	593,99	205	210,5
12	668,551	604,24	213	217,5
14	668,551	614,48	219,5	223
16	668,551	614,48	225	228
18	668,551	624,72	229,5	232
20	668,551	634,96	233,5	235,5
22	668,551	634,96	237	239
24	668,551	634,96	240	242
26	668,551	634,96	242,5	245
28	668,551	634,96	245,5	247
30	668,551	634,96	248	249,5
32	668,551	645,2	250	252
34	668,551	645,2	252,5	254
36	668,551	645,2	254,5	256
38	668,551	645,2	256,5	258
40	668,551	645,2	258,5	260
42	668,551	645,2	260,5	261,5
44	668,551	645,2	262	263
46	668,551	645,2	263,5	265
48	668,551	645,2	265	266
50	668,551	655,44	266,5	268
52	668,551	655,44	268	269,5
54	668,551	655,44	270	271
56	668,551	655,44	271	272,5
58	668,551	655,44	272,5	274
60	668,551	655,44	274	275,5
62	668,551	655,44	275,5	277
64	668,551	655,44	277	278
66	668,551	655,44	278	279
68	668,551	655,44	279,5	280,5
70	668,551	655,44	280,5	281,5
72	668,551	655,44	282	283
74	668,551	655,44	283	284
76	668,551	655,44	284,5	285,5
78	668,551	655,44	285,5	286,5
80	668,551	655,44	286,5	288
82	668,551	655,44	288	289
84	668,551	655,44	289	290
86	668,551	655,44	290	291
88	668,551	655,44	291	292

stabilitas akhir
2314,529

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

90	668,551	655,44	292,5	293,5
92	668,551	655,44	293,5	294,5
94	668,551	655,44	294,5	295,5
96	668,551	655,44	296	297
98	668,551	655,44	297	298
100	668,551	655,44	298	299
102	668,551	655,44	299	300
104	668,551	655,44	300	301
106	668,551	655,44	301	302
108	668,551	655,44	302	302,5
110	668,551	655,44	303	303,5
112	668,551	655,44	304	305
114	668,551	655,44	305	306
116	668,551	655,44	306	307
118	668,551	655,44	307	307,5
120	668,551	655,44	308	308,5
122	668,551	655,44	309	309,5
124	668,551	655,44	309,5	310,5
126	668,551	655,44	310,5	311
128	668,551	655,44	311,5	312
130	668,551	655,44	312,5	313
132	668,551	655,44	313,5	314
134	668,551	655,44	314	315
136	668,551	655,44	315	316
138	668,551	655,44	316	316,5
140	668,551	655,44	317	317,5
142	668,551	655,44	317,5	318
144	668,551	655,44	318,5	319
146	668,551	655,44	319	320
148	668,551	655,44	320	321
150	668,551	655,44	321	322
152	668,551	655,44	322	322,5
154	668,551	655,44	322,5	323,5
156	668,551	655,44	323,5	324,5
158	668,551	655,44	324,5	325
160	668,551	655,44	325,5	326
162	668,551	655,44	326	327
164	668,551	655,44	327	328
166	668,551	655,44	328	328,5
168	668,551	655,44	329	329,5
170	668,551	655,44	329,5	330
172	668,551	655,44	330,5	331
174	668,551	655,44	331,5	332
176	668,551	655,44	332,5	333
178	668,551	655,44	333	334
180	668,551	655,44	334	335
182	668,551	655,44	335	335,5
184	668,551	655,44	336	336,5
186	668,551	655,44	336,5	337
188	668,551	655,44	337,5	338

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

190	668,551	655,44	338,5	339
192	668,551	655,44	339	340
194	668,551	655,44	340	341
196	668,551	655,44	341	342
198	668,551	655,44	342	342,5
200	668,551	655,44	342,5	343,5
202	668,551	655,44	344	344,5
204	668,551	655,44	344,5	345,5
206	668,551	655,44	345,5	346
208	668,551	655,44	346	347
210	668,551	655,44	347	348
212	668,551	655,44	348	349
214	668,551	655,44	349	350
216	668,551	655,44	350	351
218	668,551	655,44	351	352
220	668,551	655,44	352	352,5
222	668,551	655,44	353	353,5
224	668,551	655,44	353,5	354,3
226	668,551	655,44	354,5	355,5
228	668,551	655,44	355,5	356
230	668,551	655,44	356,5	357
232	668,551	655,44	357	358
234	668,551	655,44	358	359
236	668,551	655,44	359	360
238	668,551	655,44	360	361
240	668,551	655,44	361	361,5
242	668,551	655,44	361,5	362,5
244	668,551	655,44	362,5	363
246	668,551	655,44	363,5	364
248	668,551	655,44	364	365
250	668,551	655,44	365	365,5
252	668,551	655,44	365,5	366,5
254	668,551	655,44	366,5	367
256	668,551	655,44	367,5	368
258	668,551	655,44	368	369
260	668,551	655,44	369	370
262	668,551	655,44	370	370,5
264	668,551	655,44	370,5	371
266	668,551	655,44	371,5	372
268	668,551	655,44	372	373
270	668,551	655,44	373	374
272	668,551	655,44	374	374,5
274	668,551	655,44	375	375
276	668,551	655,44	375,5	376
278	668,551	655,44	376	377
280	668,551	655,44	377	378
282	668,551	655,44	378	379
284	668,551	655,44	379	379,5
286	668,551	655,44	379,5	380,5
288	668,551	655,44	381	381,5

Lampiran 10 Data Hasil Pembebanan dan Perendaman Campuran Aspal
(Sambungan)

290	668,551	655,44	382	382,5
292	668,551	655,44	382,5	383,5
294	668,551	655,44	383,5	384
296	668,551	655,44	384,5	385,5
298	668,551	655,44	385,5	386,5
300	668,551	655,44	386,5	387,5
302	668,551	655,44	387,5	388,5
304	668,551	655,44	388,5	389
306	668,551	655,44	389,5	390,5
308	668,551	655,44	390,5	391
310	668,551	655,44	391,5	392
312	668,551	655,44	392,5	393,5
314	668,551	655,44	393,5	394,5
316	668,551	655,44	394,5	395
318	668,551	655,44	395,5	396
320	668,551	655,44	396,5	397
322	668,551	655,44	397,5	398
324	668,551	655,44	398,5	399
326	668,551	655,44	399	400
328	668,551	655,44	400	401
330	668,551	655,44	401	402
332	668,551	655,44	402	403
334	668,551	655,44	403	404
336	668,551	655,44	404	405
338	668,551	655,44	405	405,5
340	668,551	655,44	406	407
342	668,551	655,44	407	407,5
344	668,551	655,44	408	408,5
346	668,551	655,44	409	409,5
348	668,551	655,44	410	410,5
350	668,551	655,44	410,5	411
352	668,551	655,44	411,5	412
354	668,551	655,44	412,5	413
356	668,551	655,44	413,5	414,5
358	668,551	655,44	414,5	415
360	668,551	655,44	415,5	416,5