



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH AIR ROB TERHADAP KARAKTERISTIK
CAMPURAN LASTON MODIFIKASI UNTUK LAPIS
PERMUKAAN (*ACWC – MODIFIED*)**

SKRIPSI

AEP RIYADI

0706266014

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2011**

1033/FT.01/SKRIP/07/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH AIR ROB TERHADAP KARAKTERISTIK
CAMPURAN LASTON MODIFIKASI UNTUK LAPIS
PERMUKAAN (*ACWC – MODIFIED*)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

AEP RIYADI

0706266014

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN TRANSPORTASI
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Aep Riyadi

NPM : 0706275454

Tanda tangan :



Tanggal : 30 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Aep Riyadi
NPM : 0706266014
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Air Rob terhadap Karakteristik Campuran Laston Modifikasi untuk Lapis Permukaan (ACWC – Modified)

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 : Ir. Heddy R. Agah, M.Eng.

()

Penguji : Ir. Ellen S.W.Tangkudung, M.Sc.

()

Penguji : Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc.

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas kuasa-Nya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat dalam meraih gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil Universitas Indonesia. Tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, sulit rasanya bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

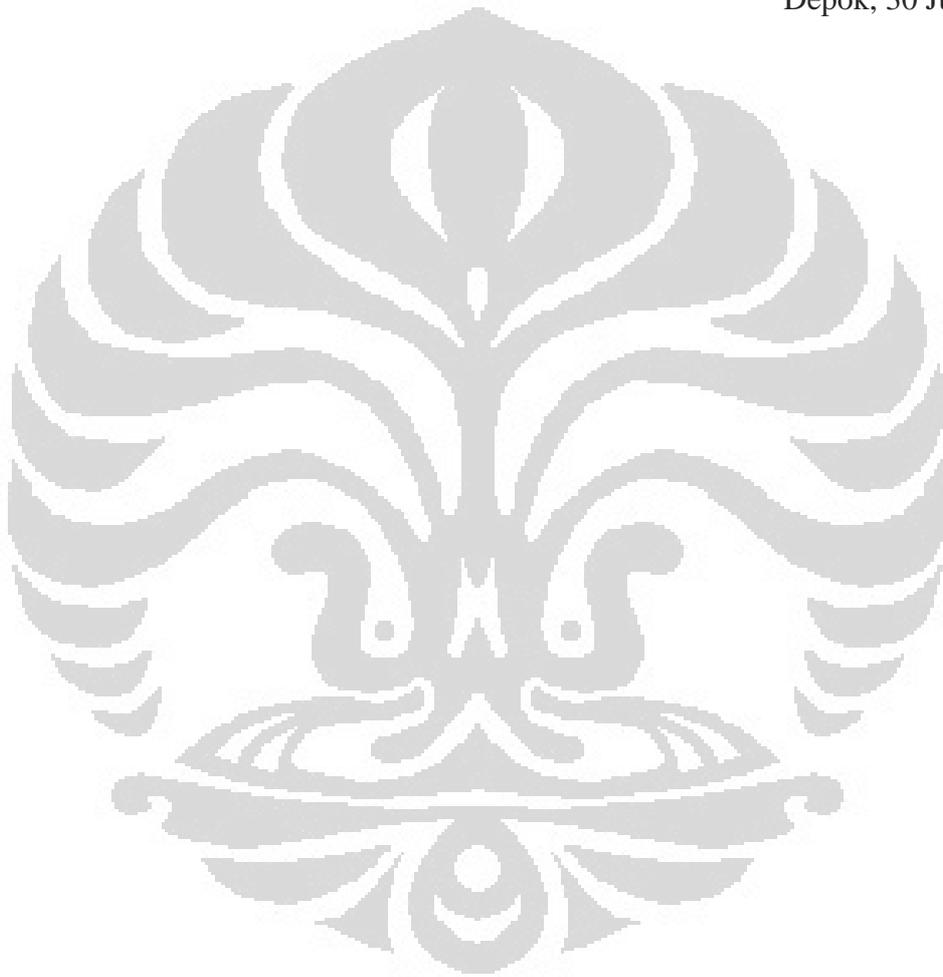
- (1) Ir. Heddy R. Agah, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Bapak Andre (Manajemen PT Widya Sapta Colas), Bapak Taufik (Plant Manager AMP Widya Sapta Colas), Bapak Ronny (Laboran AMP Widya Sapta Colas), dan karyawan AMP Widya Sapta Colas lainnya yang telah memberikan bantuan dalam penggunaan material dasar campuran aspal untuk kepentingan penelitian ini;
- (3) Orang tua dan keluarga saya tercinta, atas doa dan dukungannya baik moril maupun materi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
- (4) Laboran Lab.Material Perkerasan Jalan (Bang Zaelani, Bang Nandar, Pak.Agus, dll) yang telah banyak membantu selama penelitian ini;
- (5) Siti Fatmawati sebagai rekan seperjuangan skripsi;
- (6) Aditya Putra Karisma, Ishlah Habibi, Barto Siburian, Olva Seselima, Muhamad Iqbal, Gregory F.Saragih dan Feisal Yusuf, sahabat-sahabat terbaik yang telah mengisi hari-hari selama 4 tahun masa perkuliahan;
- (7) Monika Kristyana Putri, Wisnu Ady, Radea Ariyadira, Mustofa Rifki dan Dwi Rani Puspa Artha yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini;
- (8) Zahra Aulia Syahidah, Amallia Pradistha dan Savitri Octaviani atas doa dan dorongan semangatnya;
- (9) Teman-teman Transporter 2007 dan teman-teman Sipil Lingkungan 2007 yang selalu memberi dorongan doa dan semangat;

(10) Orang-orang yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;

Akhir kata, saya berharap Allah SWT membalas segala kebaikan pihak-pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi kemajuan dan pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 30 Juni 2011

Penulis



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

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

Nama : Aep Riyadi
NPM : 0706266014
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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:

**PENGARUH AIR ROB TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN
LASTON MODIFIKASI UNTUK LAPIS PERMUKAAN (ACWC –
MODIFIED)**

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 selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Juni 2011

Yang menyatakan



(Aep Riyadi)

ABSTRAK

Nama : Aep Riyadi
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Pengaruh Air Rob terhadap Karakteristik Campuran Laston Modifikasi untuk Lapis Permukaan (*ACWC – Modified*)

Indonesia sebagai negara kepulauan, memiliki kota-kota yang terletak di pesisir pantai, khususnya Ibukota DKI Jakarta dimana sebagian daratannya berada di bawah permukaan air laut. Seringkali beberapa ruas jalan yang terletak di pesisir tersebut tergenang banjir rob dan tak jarang menimbulkan kerusakan jalan pasca banjir rob. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan akibat genangan atau rendaman air rob terhadap perkerasan aspal.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh air rob terhadap karakteristik campuran Laston Lapis Permukaan (*ACWC*) dimodifikasi dengan bahan polimer *styrene butadiene styrene* (*SBS*). Campuran yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari campuran aspal non polimer (*ACWC*) dan campuran aspal polimer (*ACWC – Modified*). Polimer dari jenis elastomer yaitu *styrene butadiene styrene* digunakan sebagai bahan modifikasi aspal untuk meningkatkan kinerja campuran. Karakteristik yang diukur adalah stabilitas, kelelahan, *marshall quotient* (*MQ*), *void in mix* (*VIM*), dan *void in mineral aggregate* (*VMA*) dengan menggunakan alat uji Marshall.

Penelitian dilakukan dengan dua metode perendaman, yaitu perendaman menerus (*continous*) dan berkala (*intermittent*). Perendaman menerus dilakukan dengan merendam benda uji dalam air rob dengan variasi waktu 6 jam; 12 jam; 24 jam; 48 jam; dan 72 jam. Sedangkan perendaman berkala dilakukan dengan merendam benda uji selama 12 jam, kemudian diangkat selama 12 jam berikutnya, dan begitu seterusnya selama siklus 3 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh akibat perendaman dalam air rob, baik pada perendaman menerus maupun berkala. Secara keseluruhan, semakin lama campuran aspal baik non polimer maupun polimer terendam dalam air rob, akan berpengaruh pada peningkatan nilai *VIM*, *VMA* dan kelelahan, sedangkan pada stabilitas dan *MQ* akan mengalami penurunan. Akibatnya campuran aspal baik polimer maupun non polimer akan mengalami kehilangan durabilitas atau keawetan dengan bertambahnya waktu perendaman dalam air rob.

Kata kunci:

air rob, perendaman, polimer, stabilitas, kelelahan, *MQ*, *VIM*, *VMA*.

ABSTRACT

Name : Aep Riyadi
Study Program : Civil Engineering
Title : The Influence of Seawater Tide (Rob) on The Characteristic of Modified Asphalt Concrete Wearing Course Mixture (ACWC-Modified)

Indonesia is an archipelago that has many cities located on the seashore areas, especially the country's capital, DKI Jakarta which has some parts with under sea-level elevation. It is often occurred that some road segments located on the seashore areas submerged by seawater tide and this often results on the damage of those road segments. Therefore, it is essential to conduct a research to study the influence of seawater tide to the performance of asphalt pavement.

This research is intended to study how much seawater tide affects the characteristic of asphalt concrete wearing course (ACWC) mixture modified with styrene butadiene styrene (SBS) polymer. The mixtures used in this research consist of non-polymer asphalt mixture (ACWC) and polymer-asphalt mixture (ACWC-Modified). The polymer used is from the elastomer, namely styrene butadiene styrene. It is used as a modifier agent on asphalt to increase the performance of the mixture. The characteristic observed on this research is the stability, flow, Marshall Quotient (MQ), Void in Mix (VIM), and Void in Mineral Aggregate (VMA) with the use of Marshall Test apparatus.

The research is done by conditioning samples on two types of immersion, namely continuous immersion, and intermittent immersion. Continuous immersion done by submerging on seawater tide with some variation of immersion duration: 6 hours, 12 hours, 24 hours, 48 hours, and 72 hours. While on intermittent immersion, the samples are submerged during 12 hours (immersion time), then dried during 12 hours (recovery time), and this cycle remains until 3 days.

The result of this research shows that the immersion on seawater tide, whether it is by continuous immersion or intermittent immersion, influences the characteristic of samples. Overall, the longer the duration of immersion, the greater the value of VIM, VMA, and flow, while the value of stability and MQ will undergo a decrease due to the immersion. As a result either of polymer and non-polymer asphalt mixture will experience a loss of durability or longevity with the increase of immersion time in seawater tide.

Keywords:

seawater tide, immersion, polymer, stability, flow, MQ, VIM, VMA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
1.6 Laboratorium Uji	5
BAB 2 STUDI LITERATUR	6
2.1 Bahan Campuran Aspal.....	6
2.1.1 Aspal	6
2.1.1.1 Sifat Kimia Aspal.....	6
2.1.1.2 Sifat Fisik Aspal.....	9
2.1.1.3 Klasifikasi Aspal.....	10
2.1.2 Agregat.....	12
2.1.2.1 Agregat Kasar	12
2.1.2.2 Agregat Halus	13
2.1.2.3 Filler	13
2.1.2.4 Gradasi Agregat	14
2.2 Polymer Modified Asphalt	15
2.2.1 Polimer	15
2.2.2 Aspal Modifikasi Polimer	17
2.2.3 Pedoman Pencampuran Aspal dan Polimer	21
2.3 Campuran Aspal Beton.....	23
2.3.1 Lapisan Aspal Beton (Laston)	23
2.3.2 Sifat dan Karakteristik Campuran Aspal	25
2.4 Air Rob dan Pengaruhnya pada Campuran Aspal.....	27
2.5 Marshall Test	29
2.6 Penelitian Terdahulu.....	30
2.6.1 Penelitian Mengenai Pengaruh Air Rob Terhadap Campuran Aspal	30
2.6.2 Penelitian Mengenai Polymer Modified Asphalt dengan Menggunakan Styrene-Butadiene-Styrene (SBS).....	31
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 Rencana Penelitian	33
3.2 Pelaksanaan	39

3.2.1	Spesifikasi Bahan Baku Penelitian	39
3.2.2	Pemeriksaan Material.....	40
3.2.3	Pemeriksaan Kandungan Air Rob.....	41
3.2.4	Pencampuran Aspal dan Polimer	42
3.2.5	Perancangan Campuran dengan Metode Marshall.....	42
3.2.6	Perendaman Sampel dalam Air Rob dan Uji Marshall	44
3.3	Tahap Analisis dan Pembahasan	44
3.4	Tahap Kesimpulan dan Saran	45
BAB 4	HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN	46
4.1	Pengujian Material.....	46
4.1.1	Hasil dan Analisis Pengujian Aspal	46
4.1.2	Hasil dan Analisis Pengujian Agregat	53
4.1.3	Hasil dan Analisis Pengujian Air Rob	58
4.2	Perumusan Campuran Benda Uji Marshall	59
4.3	Pengujian Campuran Dengan Variasi Kadar Aspal Dan Polimer	62
4.3.1	Campuran Aspal Non Polimer (AC-WC).....	62
4.3.2	Campuran Aspal Modifikasi Polimer (ACWC- <i>Modified</i>).....	66
4.4	Penentuan Campuran Aspal Ideal dan Pembuatan Sampel	74
4.5	Perendaman Sampel dalam Air Rob dan Pengujian Marshall.....	77
4.5.1	Pengaruh Perendaman Air Rob Terhadap <i>Void In Mixture</i>	78
4.5.1.1	Perendaman Menerus.....	78
4.5.1.2	Perendaman Berkala (<i>Intermittent</i>).....	80
4.5.2	Pengaruh Perendaman Air Rob Terhadap <i>Void in Mineral Aggregate</i> (VMA).....	82
4.5.2.1	Perendaman Menerus.....	82
4.5.2.2	Perendaman Berkala (<i>Intermittent</i>).....	84
4.5.3	Pengaruh Perendaman Air Rob Terhadap Nilai Stabilitas.....	87
4.5.3.1	Perendaman Menerus.....	87
4.5.3.2	Perendaman Berkala (<i>Intermittent</i>).....	91
4.5.4	Pengaruh Perendaman Air Rob Terhadap Kelelehan (Flow).....	94
4.5.4.1	Perendaman Menerus.....	94
4.5.4.2	Perendaman Berkala (<i>Intermittent</i>).....	96
4.5.5	Pengaruh Perendaman Air Rob Terhadap <i>Marshall Quotient</i> ...	98
4.5.5.1	Perendaman Menerus.....	98
4.5.5.2	Perendaman Berkala (<i>Intermittent</i>).....	101
4.5.6	Analisis Perbandingan Pengaruh Perendaman Menerus dan Berkala	104
BAB 5	PENUTUP	106
5.1	Kesimpulan.....	106
5.2	Saran	108
DAFTAR REFERENSI	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Proses Pembentukan Polimer (Hall, C. 1989).....	16
Gambar 2.2	Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test.....	30
Gambar 3.1	Perendaman Berkala	36
Gambar 3.2	Diagram Perendaman Menerus	36
Gambar 3.3	Bagan Alir Penelitian	37
Gambar 3.4	Contoh Grafik Stabilitas vs Waktu Rendaman	45
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Penambahan Polimer terhadap Sifat Fisik Aspal	50
Gambar 4.2	Grafik Sebaran Gradasi Agregat Hasil Analisis Saringan	57
Gambar 4.3	Grafik Persentase Agregat Campuran Laston Kelas IV.....	60
Gambar 4.4	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas	62
Gambar 4.5	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelehan.....	63
Gambar 4.6	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Marshall Quotient</i>	64
Gambar 4.7	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Void in Mixture</i>	65
Gambar 4.8	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Void in Mineral Aggregate</i>	66
Gambar 4.9	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas	67
Gambar 4.10	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas	68
Gambar 4.11	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelehan.....	69
Gambar 4.12	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Marshall Quotient</i>	70
Gambar 4.13	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Void in Mixture</i>	72
Gambar 4.14	Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Void in Mineral Aggregate</i>	73
Gambar 4.15	<i>Review</i> Hasil Uji untuk Penentuan Campuran Aspal Non Polimer Ideal.....	74
Gambar 4.16	<i>Review</i> Hasil Uji untuk Penentuan Campuran Aspal Polimer Ideal	75
Gambar 4.17	Grafik Hubungan Nilai VIM dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Non Polimer dan Polimer ..	78
Gambar 4.18	Perbandingan Nilai VIM Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Menerus.....	79
Gambar 4.19	Grafik Hubungan Nilai VIM dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Non Polimer dan Polimer....	80
Gambar 4.20	Perbandingan Nilai VIM Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Berkala	81
Gambar 4.21	Grafik Hubungan Nilai VMA dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Non Polimer dan Polimer ..	82
Gambar 4.22	Perbandingan Nilai VMA Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Menerus.....	83
Gambar 4.23	Grafik Hubungan Nilai VMA dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Non Polimer dan Polimer....	84
Gambar 4.24	Perbandingan Nilai VMA Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Berkala	86
Gambar 4.25	Grafik Hubungan Stabilitas dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Non Polimer	87

Gambar 4.26	Grafik Hubungan Stabilitas dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Polimer	88
Gambar 4.27	Perbandingan Nilai Stabilitas Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Menerus.....	89
Gambar 4.28	Grafik Hubungan Stabilitas dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Non Polimer.....	91
Gambar 4.29	Grafik Hubungan Stabilitas dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Polimer.....	92
Gambar 4.30	Perbandingan Nilai Stabilitas Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Berkala	93
Gambar 4.31	Grafik Hubungan Kelelahan dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Non Polimer	95
Gambar 4.32	Grafik Hubungan Kelelahan dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Polimer	95
Gambar 4.33	Grafik Hubungan Kelelahan dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Non polimer.....	97
Gambar 4.34	Grafik Hubungan Kelelahan dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Polimer.....	97
Gambar 4.35	Grafik Hubungan Marshall Quotient dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Non Polimer.....	99
Gambar 4.36	Grafik Hubungan Marshall Quotient dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Polimer.....	99
Gambar 4.37	Perbandingan Nilai MQ Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Menerus.....	100
Gambar 4.38	Grafik Hubungan Marshall Quotient dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Non polimer.....	102
Gambar 4.39	Grafik Hubungan Marshall Quotient dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Polimer	102
Gambar 4.40	Perbandingan Nilai MQ Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Berkala	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Syarat Pemeriksaan Aspal Keras	11
Tabel 2.2	Ketentuan Agregat Kasar	13
Tabel 2.3	Ketentuan Agregat Halus	13
Tabel 2.4	Tipe-tipe <i>bitumen modifiers</i>	18
Tabel 2.5	Klasifikasi Polimer Untuk Jalan raya	19
Tabel 2.6	Penggunaan Aspal Modifikasi Polimer	20
Tabel 2.7	Persyaratan Aspal Polimer	21
Tabel 2.8	Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC).....	24
Tabel 2.9	Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi (AC-Modified)	24
Tabel 2.10	Batas-batas Gradasi Menerus Agregat Campuran	25
Tabel 3.1	Perhitungan Jumlah Sampel.....	34
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal Keras Pertamina Pen 60/70....	46
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal Polimer.....	50
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Fisik Agregat	53
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Abrasi Agregat.....	54
Tabel 4.5	Data Analisis Saringan Agregat Kasar, Medium dan Halus	56
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Kandungan Air Rob.....	58
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Kandungan Air Laut	58
Tabel 4.8	Distribusi Agregat dengan Gradasi Menerus	59
Tabel 4.9	Persentase Agregat untuk Laston Kelas IV	60
Tabel 4.10	Komposisi Campuran Aspal	61
Tabel 4.11	Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas.....	62
Tabel 4.12	Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelahan.....	63
Tabel 4.13	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Marshall Quotient</i>	64
Tabel 4.14	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Void in Mixture</i>	64
Tabel 4.15	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Void in Mineral Aggregate</i>	65
Tabel 4.16	Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas.....	67
Tabel 4.17	Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelahan.....	69
Tabel 4.18	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Marshall Quotient</i>	70
Tabel 4.19	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Void in Mixture</i>	71
Tabel 4.20	Kadar Aspal terhadap VMA Campuran Aspal Polimer.....	73
Tabel 4.21	Hasil Uji Sifat Dasar Aspal Polimer	75
Tabel 4.22	Nilai VIM Pasca Perendaman Menerus	78
Tabel 4.23	Perbandingan Perubahan Nilai VIM Pasca Perendaman Menerus	79
Tabel 4.24	Nilai VIM Pasca Perendaman Berkala.....	80
Tabel 4.25	Perbandingan Perubahan Nilai VIM Pasca Perendaman Berkala.	81
Tabel 4.26	Nilai VMA Pasca Perendaman Menerus	82
Tabel 4.27	Perbandingan Perubahan Nilai VMA Pasca Perendaman Menerus	83
Tabel 4.28	Nilai VMA Pasca Perendaman Berkala.....	84
Tabel 4.29	Perbandingan Perubahan Nilai VMA Pasca Perendaman Berkala	85
Tabel 4.30	Nilai Stabilitas Pasca Perendaman Menerus.....	87
Tabel 4.31	Perbandingan Perubahan Nilai Stabilitas Pasca Perendaman Menerus.....	88

Tabel 4.32	Nilai Stabilitas Pasca Perendaman Berkala	91
Tabel 4.33	Perbandingan Perubahan Nilai Stabilitas Pasca Perendaman Berkala	92
Tabel 4.34	Nilai Kelelahan Pasca Perendaman Menerus.....	94
Tabel 4.35	Nilai Kelelahan Pasca Perendaman Berkala	96
Tabel 4.36	Nilai MQ Pasca Perendaman Menerus	98
Tabel 4.37	Perbandingan Perubahan Nilai MQ Pasca Perendaman Menerus	99
Tabel 4.38	Nilai MQ Pasca Perendaman Berkala.....	101
Tabel 4.39	Perbandingan Perubahan Nilai MQ Pasca Perendaman Berkala	102
Tabel 4.40	Resume Nilai VIM Gabungan.....	104
Tabel 4.41	Resume Nilai VMA Gabungan	104
Tabel 4.42	Resume Nilai Stabilitas Gabungan	104
Tabel 4.43	Resume Nilai Kelelahan Gabungan	105
Tabel 4.44	Resume Nilai MQ Gabungan.....	105



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki wilayah pesisir yang kaya dan potensial. Negara kepulauan yang memiliki panjang pantai sekitar 95.181 km ini termasuk terpanjang keempat di dunia setelah Amerika Serikat, Kanada dan Rusia (PBB, 2008). Tak heran jika kota-kota besar di dunia termasuk DKI Jakarta yang merupakan Ibukota Negara Indonesia terletak di pesisir pantai dan menjadi pusat pertumbuhan ekonomi yang sangat pesat. Faktor sarana dan prasarana khususnya jalan raya sangat berpengaruh untuk menunjang perekonomian untuk memudahkan aksesibilitas dan mobilitas manusia dan barang. Beberapa ruas jalan raya tersebut terkadang tak sedikit yang terletak di pinggir pantai atau bersinggungan dengan laut.

Dalam beberapa kasus khususnya di Ibukota Jakarta yang sebagian daratannya berada di bawah permukaan air laut, beberapa ruas jalan yang terletak di pinggir pantai (Teluk Jakarta) seringkali tergenang air laut yang biasa disebut banjir rob. Kerusakan jalan menjadi hal yang lumrah terjadi pasca banjir rob tersebut walaupun sebenarnya banyak hal yang dapat menyebabkan kerusakan konstruksi jalan seperti beban lalu lintas yang melampaui batas, material perkerasan yang kurang baik dan lain sebagainya.

Genangan air merupakan musuh utama dari perkerasan jalan lentur. Hal ini karena apabila air berinfiltrasi atau masuk ke dalam struktur perkerasan aspal, maka akan menyebabkan campuran aspal teroksidasi dan dapat mengurangi durabilitas campuran aspal. Dari hal tersebut dapat dikatakan bahwa (genangan) air, dalam hal ini air rob, dapat menyebabkan kerusakan atau mengurangi keawetan konstruksi jalan.

Berangkat dari permasalahan di atas, maka perlu dilakukan penelitian dengan uji laboratorium tentang pengaruh genangan air atau banjir rob terhadap karakteristik campuran beraspal. Desain campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain untuk jenis campuran Lapisan Aspal Beton (Laston) Lapis Permukaan (AC-WC).

Dalam penelitian ini, campuran aspal yang diteliti juga akan dimodifikasi dengan menggunakan polimer, karena penambahan polimer mampu meningkatkan kinerja atau karakteristik campuran aspal sehingga diharapkan dapat diketahui komposisi campuran aspal yang ideal untuk kawasan yang sering dilanda banjir rob. Untuk mendapatkan karakteristik campuran aspal dan pengaruhnya terhadap rendaman air rob, dilakukan pengujian dengan menggunakan alat Marshall. Pada akhirnya akan didapatkan seberapa besar pengaruh air rob terhadap karakteristik campuran beraspal setelah direndam dalam air rob dengan variasi waktu perendaman.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis karakteristik campuran Laston Lapis Permukaan (AC – WC) Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007.
- b. Menganalisis karakteristik campuran Laston Modifikasi (*ACWC – Modified*) dengan menggunakan polimer *styrene butadiene styrene* (SBS).
- c. Memberi gambaran seberapa besar pengaruh rendaman air rob terhadap karakteristik campuran Laston Modifikasi untuk Lapis Permukaan (*ACWC – Modified*).

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

- a. Aspal yang digunakan sebagai bahan campuran adalah aspal keras penetrasi 60/70 produksi Pertamina dan aspal keras yang dimodifikasi dengan polimer *styrene butadiene styrene* (SBS).
- b. Agregat yang digunakan dalam campuran berasal dari *quarry* yang terletak di Sudamanik, Bogor, Jawa Barat.
 - Agregat Kasar : Batu pecah (*split*)
 - Agregat Medium : *Screening*
 - Agregat Halus : Abu Batu
- c. Air rob yang digunakan berasal dari banjir rob yang menggenangi kawasan Muara Baru, Penjaringan, Jakarta Utara pada tanggal 20 Januari 2011.

Universitas Indonesia

- d. Jenis campuran yang digunakan adalah Laston dengan gradasi agregat tipe IV Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007.
- e. Jenis pengujian yang dilakukan:
 - Pemeriksaan kandungan air laut
 - 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
 - Berat jenis dan penyerapan agregat kasar
 - Berat jenis dan penyerapan agregat halus
 - Pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles
 - Analisis butiran
 - Analisis campuran agregat (*blending*)
 - Marshall test

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mencari campuran aspal ideal digunakan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% dari berat campuran dan variasi kandungan polimer 0%, 1%, 2% dan 3% dari total berat aspal dalam campuran.
- b. Menggunakan waktu perendaman variabel bebas, karakteristik campuran aspal sebagai variabel terikat.
- c. Metode perendaman terdiri dari perendaman dengan pola menerus (*continuous*) dan perendaman dengan pola berkala/siklik (*intermittent*)
- d. Pengujian dilakukan dengan uji Marshall untuk mendapatkan data volumetric dan empirik berupa VIM, VMA, stabilitas, kelelahan, dan *marshall quotient* (MQ).

- e. Campuran aspal ideal direndam pada air rob dengan pola menerus (*continuous*) dan berkala/siklik (*intermittent*).
- f. Penelitian hanya dilakukan di laboratorium, tidak dilakukan penelitian di lapangan.
- g. Analisis biaya tidak diteliti.
- h. Analisis kimia *Polymer Modified Asphalt* (PMA) dan kandungan polimernya tidak diteliti.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam tahapan penulisan skripsi ini terdiri dari 3 bagian, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini berisi latar belakang penelitian mengenai pengaruh air rob terhadap karakteristik campuran Lapisan Aspal Beton (Laston) Lapis Permukaan dimodifikasi dengan bahan polimer *Styrene Butadiene Styrene (ACWC – Modified)*

BAB II STUDI LITERATUR

Bagian ini berisi dasar teori mengenai struktur jalan khususnya pada campuran Lapisan Aspal Beton (Laston) Lapis Permukaan dimodifikasi dengan bahan polimer *Styrene Butadiene Styrene (ACWC – Modified)* dan bahan pembentuknya, karakteristik air rob dan gambaran umum mengenai pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dengan studi literatur dari internet, jurnal penelitian, skripsi, tesis, dan pedoman/standar.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini berisi langkah-langkah sistematis yang dilakukan selama penelitian, mulai dari persiapan bahan dan alat yang akan digunakan, prosedur penelitian, tahap pengujian hingga tahap analisis yang akan dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

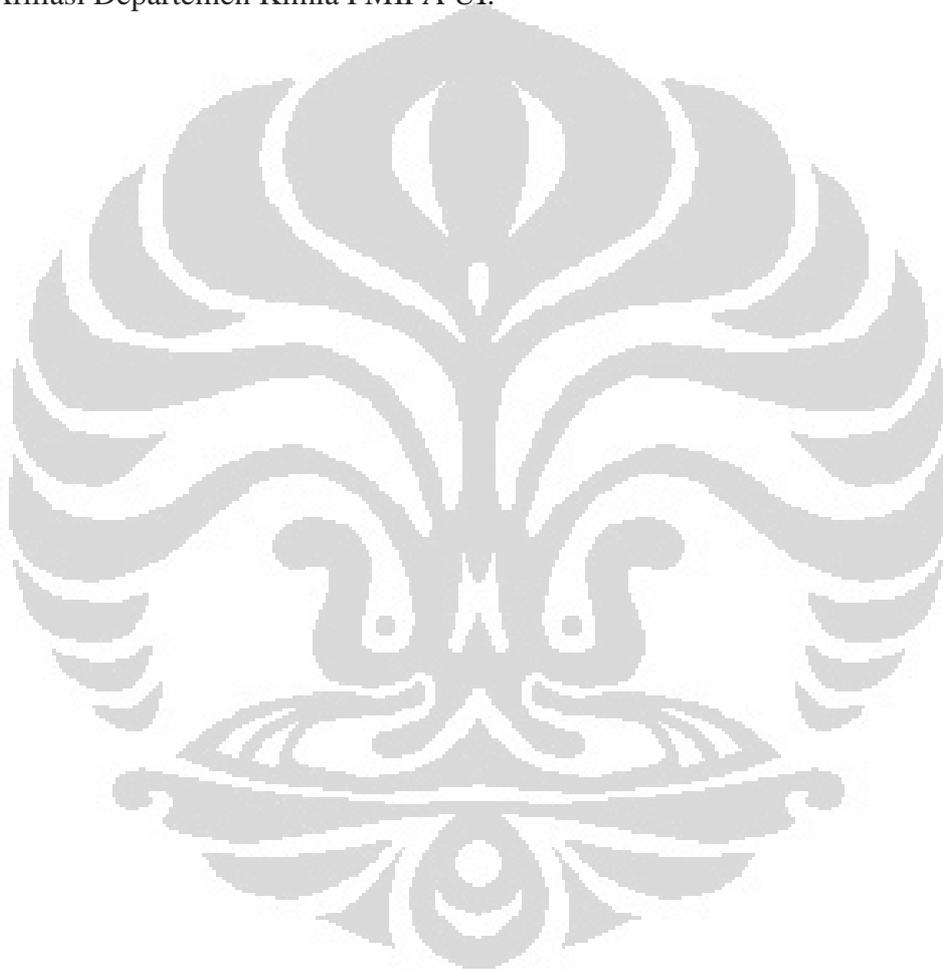
Bagian ini berisi tentang hasil penelitian yang telah dilakukan beserta analisis mengenai hasil yang didapatkan dalam penelitian.

BAB V PENUTUP

Bagian ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian yang terkait selanjutnya.

1.6 Laboratorium Uji

Aktivitas pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Laboratorium Penyehatan Lingkungan Departemen Teknik Sipil FT UI, serta Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPA UI.



BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1 Bahan Campuran Aspal

2.1.1 Aspal

Aspal adalah material perekat berwarna hitam atau coklat tua yang lentur, dengan bentuk solid atau semisolid dengan unsur penyusun utama bitumen alami yang terdapat di alam atau yang diperoleh melalui hasil penyulingan minyak bumi (**Krebs dan Walker, 1971**). Aspal adalah suatu material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat sementasi, aspal terbuat dari suatu rantai hydrocarbon dan turunannya, umumnya merupakan residu dari hasil penyulingan minyak mentah pada keadaan hampa udara yang pada temperatur normal bersifat padat sampai ke semi padat, mempunyai sifat tidak mudah menguap dan secara berangsur-angsur melunak bila dipanaskan. Aspal merupakan material viscous elastis, dimana perilakunya bergantung pada temperatur dan lamanya pembebanan. Pada saat pencampuran dan pemadatan, sifat aspal termasuk bersifat viscous. Namun pada masa pelayanan aspal bersifat viscous elastis.

2.1.1.1 Sifat Kimia Aspal

Secara garis besar komposisi kimia aspal terdiri dari karbon 82% – 88%; hidrogen 8% - 11%; sulfur 0% – 16%; nitrogen 0% - 1%; dan oksigen 0% - 1,5% (**Shell Bitumen, 1990**).

Susunan struktur internal aspal sangat ditentukan oleh susunan kimia molekul-molekul yang terdapat dalam aspal tersebut. Susunan molekul aspal sangat kompleks dan didominasi (90 – 95% dari berat aspal) oleh unsur karbon dan hidrogen. Oleh sebab itu, senyawa aspal seringkali disebut sebagai senyawa hidrokarbon. Sebagian kecil, sisanya (5 – 10%), dari dua jenis atom, yaitu heteroatom dan logam.

Unsur-unsur heteroatom seperti nitrogen, oksigen dan sulfur, dapat menggantikan kedudukan atom karbon yang terdapat di dalam struktur molekul aspal. Hal inilah yang menyebabkan aspal memiliki rantai kimia

yang unik dan interaksi antar atom ini dapat menyebabkan perubahan pada sifat fisik aspal. Jenis dan jumlah heteroatom yang terkandung di dalam aspal sangat ditentukan oleh sumber minyak mentah yang digunakan dan tingkat penuaannya. Heteroatom, terutama sulfur, lebih reaktif dari pada karbon dan hidrogen untuk mengikat oksigen. Dengan demikian, aspal dengan kandungan sulfur yang tinggi akan mengalami penuaan yang lebih cepat dari pada aspal yang mengandung sedikit sulfur.

Atom logam seperti vanadium, nikel, besi, magnesium dan kalsium hanya terkandung di dalam aspal dalam jumlah yang sangat kecil, umumnya aspal hanya mengandung satu persen atom logam dalam bentuk garam organik dan hidroksidanya. Karena susunan kimia aspal yang sangat kompleks, maka analisis kimia aspal sangat sulit dilakukan dan memerlukan peralatan laboratorium yang canggih, dan data yang dihasilkanpun belum tentu memiliki hubungan dengan sifat rheologi aspal. Analisis kimia yang dilakukan biasanya hanya dapat memisahkan molekul aspal dalam dua group, yaitu aspalten dan malten (**Shell Bitumen, 1990**).

a. Aspalten (asphaltenes)

Aspalten adalah unsur kimia aspal yang padat yang tidak larut dalam n-heptane. Aspalten berwarna coklat sampai hitam yang mengandung karbon dan hidrogen dengan perbandingan 1 : 1, dan kadang-kadang juga mengandung nitrogen, sulfur dan oksigen. Aspalten biasanya dianggap sebagai material yang bersifat polar dan memiliki aromatic kompleks dengan berat molekul yang cukup berat. Molekul aspalten ini memiliki ukuran antara 5 – 30 nanometer. Besar kecilnya kandungan aspalten dalam aspal sangat mempengaruhi sifat rheologi aspal tersebut. Peningkatan kandungan aspalten dalam aspal akan menghasilkan aspal yang lebih keras dengan nilai penetrasi yang rendah, titik lembek yang tinggi dan tingkat kekentalan aspal yang tinggi pula (**Shell Bitumen, 1990**).

b. Malten (*maltenes*)

Malten adalah unsur kimia lainnya yang terdapat di dalam aspal selain aspalten. Unsur malten ini dapat dibagi lagi menjadi (**Shell Bitumen, 1990**):

1. Resin

Resin secara dominan terdiri dari hidrogen dan karbon, dan sedikit mengandung oksigen, sulfur dan nitrogen. Rasio kandungan unsur hidrogen terhadap karbon di dalam resin berkisar antara 1,3 sampai 1,4. Resin memiliki ukuran antara 1 – 5 nanometer, berwarna coklat, berbentuk semi padat sampai padat, bersifat sangat polar dan memberikan sifat adhesif pada aspal. Didalam aspal, resin berperan sebagai zat pendispersi asfaltene. Sifat aspal, sol (larutan) atau gel (jelli), sangat ditentukan oleh proporsi kandungan resin terhadap kandungan aspalten yang terdapat di dalam aspal tersebut.

2. Aromatik

Aromatik adalah unsur pelarut aspalten yang paling dominan di dalam aspal. Aromatik berbentuk cairan kental yang berwarna coklat tua dan kandungannya di dalam aspal berkisar antara 40% – 60% terhadap berat aspal. Aromatik terdiri dari rantai karbon yang bersifat non-polar yang didominasi oleh unsur tak jenuh (*unsaturated*) dan memiliki daya larut yang tinggi terhadap molekul hidrokarbon.

3. *Saturated*

Saturated adalah bagian dari molekul malten yang berupa minyak kental yang berwarna putih atau kekuning-kuningan dan bersifat non-polar. *Saturated* terdiri dari parafin (*wax*) dan non parafin, kandungannya di dalam aspal berkisar antara 5 – 20 % terhadap berat aspal.

2.1.1.2 Sifat Fisik Aspal

Sifat-sifat fisik aspal yang sangat mempengaruhi perencanaan, produksi dan kinerja campuran beraspal antara lain adalah durabilitas, adhesi dan kohesi, kepekaan terhadap temperatur, pengerasan dan penuaan.

a. Durabilitas

Kinerja aspal sangat dipengaruhi oleh durabilitas karena sifat-sifat aspal akan berubah secara signifikan akibat oksidasi dan pengelupasan yang terjadi baik pada saat pencampuran, pengangkutan dan penghamparan campuran beraspal di lapangan. Perubahan sifat ini akan menyebabkan daktilitas aspal menjadi rendah atau mengalami penuaan. Kemampuan aspal untuk menghambat laju penuaan ini disebut durabilitas aspal. Aspal dengan durabilitas yang baik akan menghasilkan campuran dengan kinerja baik pula.

b. Adhesi dan Kohesi

Kohesi adalah kemampuan partikel aspal untuk melekat satu dengan lainnya. Adhesi adalah kemampuan aspal untuk melekat dan mengikat agregat. Sifat adhesi dan kohesi aspal sangat mempengaruhi kinerja dan durabilitas campuran. Uji daktilitas aspal secara tidak langsung dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kohesifnes atau daktilitas aspal keras. Uji penyelimutan aspal terhadap batuan merupakan uji kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui daya lekat (adhesi) aspal terhadap batuan atau agregat.

c. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal bersifat termoplastik yaitu menjadi lebih keras bila temperatur menurun dan melunak bila temperatur meningkat. Kepekaan aspal untuk berubah sifat akibat perubahan temperatur ini dikenal sebagai kepekaan aspal terhadap temperatur.

Kepekaan aspal terhadap temperatur bervariasi untuk masing-masing jenis aspal dan berbeda bila aspal tersebut berasal dari minyak bumi dengan sumber yang berbeda walaupun aspal tersebut masuk dalam klasifikasi yang sama.

d. Pengerasan dan Penuaan

Penuaan aspal adalah suatu parameter untuk mengetahui durabilitas campuran beraspal. Penuaan aspal ini disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (*short-term aging*), dan oksidasi yang progresif (*long-term aging*). Kedua macam proses penuaan tersebut menyebabkan terjadinya pengerasan pada aspal dan akan meningkatkan kekakuan campuran beraspal sehingga akan mempengaruhi kinerja campuran tersebut. Peningkatan kekakuan ini akan meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen dan kemampuan untuk menyebarkan beban yang diterima, tetapi di lain pihak akan menyebabkan campuran menjadi lebih getas sehingga akan cepat retak dan akan menurunkan ketahanannya terhadap beban berulang.

2.1.1.3 Klasifikasi Aspal

Berdasarkan asalnya, aspal diklasifikasikan menjadi aspal alam dan aspal buatan (hasil distilasi minyak bumi):

- a. Aspal alam, seperti :
 1. *Lake Asphalt* (aspal danau)
 2. *Rock Asphalt* (aspal batu)
- b. Aspal buatan, seperti :
 1. *Asphalt cement*/aspal keras
 2. *Liquid asphalt/cutback asphalt*/aspal cair
 3. *Emulsified asphalt*/aspal emulsi

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

a. Aspal Keras (*Asphalt Cement/AC*)

Pada proses destilasi fraksi ringan yang terkandung dalam minyak bumi dipisahkan dengan destilasi sederhana hingga menyisakan suatu residu yang dikenal dengan nama aspal keras. Pada proses destilasi, aspal keras dihasilkan melalui proses destilasi hampa pada temperatur

sekitar 480⁰ C. Temperatur pada proses destilasi bervariasi tergantung pada sumber minyak mentah yang disuling atau tingkat aspal keras yang akan dihasilkan. Persyaratan umum aspal keras adalah berasal dari hasil minyak bumi, mempunyai sifat sejenis, kadar parafin tidak melebihi 7% dan tidak mengandung air dan tidak berbusa jika dipanaskan sampai 175⁰C. Selain itu juga aspal keras harus sesuai dengan syarat seperti tercantum pada **Tabel 2.1**.

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 : AASHTO M 20-70 (2004)

b. 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. Persyaratan umum aspal cair antara lain kadar parafin tidak lebih dari 2%, tidak mengandung air dan jika dipakai tidak menunjukkan pemisahan dan penggumpalan

Aspal cair dikelompokkan menjadi beberapa tipe berdasarkan pengencerannya, yaitu :

1. *Rapid Curing* (RC) : ditambahkan bahan pelarut benzene.
2. *Medium Curing* (MC): ditambahkan bahan pelarut kerosene.
3. *Slow Curing* (SC) : ditambahkan bahan pelarut minyak berat.

c. Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah jenis aspal yang terdiri dari dari aspal keras, air, dan bahan pengemulsi, dimana pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair. Aspal emulsi dikelompokkan menjadi beberapa klasifikasi, yaitu :

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

2.1.2 Agregat

Agregat adalah komponen utama struktur perkerasan jalan dengan jumlah berkisar 90 – 95 % dari berat total, atau berkisar antara 75 – 85 % dari volume campuran (**Asphalt Institute, 1983**). Agregat mempunyai peranan penting dalam menentukan daya dukung, keawetan, dan mutu perkerasan jalan. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun fragmen-fragmen termasuk di dalamnya antara lain pasir, kerikil, agregat pecah, dan abu (debu) agregat. **Departemen Pekerjaan Umum (2007)** mendefinisikan agregat sebagai kumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam maupun buatan.

Sifat agregat menjadi faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Oleh karena itu perlu dilakukan pemeriksaan laboratorium untuk mengetahui karakteristiknya sebelum dipergunakan sebagai material perkerasan jalan. Sifat penting agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan yaitu ukuran butir dan gradasi, bentuk agregat dan kekasaran permukaan, tekstur permukaan, penyerapan, kelekatan. Berdasarkan ukuran butirnya, agregat dibedakan menjadi agregat kasar dan agregat halus.

2.1.2.1 Agregat Kasar

Menurut **Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum (2007)**, agregat kasar untuk rancangan adalah butiran tertahan saringan No.8 (2,36 mm). Agregat kasar adalah agregat yang berasal dari hasil pemecahan oleh *stone crusher* dimana agregat tersebut haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan (**Tabel 2.2**).

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-4428-1997	Maks. 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-4428-1997	Min.95%
Angularitas agregat kasar	SNI 03-6877-2002	95/90 (*)
Partikel pipih dan lonjong (**)	RSNI T-01-2005	Maks 10%
Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

Catatan :

- (*) 95/90 menunjukkan 95 % agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90 % agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih
 (**) Pengujian dengan perbandingan lengan alat uji terhadap poros 1 : 5

Sumber: Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum (2007)

2.1.2.2 Agregat Halus

Menurut **Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum (2007)**, agregat halus berasal dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.8 atau saringan ukuran 2,36 mm. 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 sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2.3**:

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 45%
Material lolos saringan No. 200 (0,075 mm)	SNI 03-4142-1996	Mak. 8%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%

Sumber: Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum (2007)

2.1.2.3 Filler

Menurut **Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum (2007)**, filler merupakan bahan pengisi (filler) yang ditambahkan terdiri atas batu kapur, semen Portland, abu terbang, abu tanur semen atau bahan non plastis lainnya. Bahan tersebut harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki, harus kering

dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan penyaringan sesuai SNI 03-4142-1996 harus mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75% dari yang lolos saringan No.30 (0,600 mm) dan mempunyai sifat non plastis.

2.1.2.4 Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah susunan dari beberapa ukuran butiran agregat yang membentuk suatu campuran agregat yang terdiri dari beberapa fraksi agregat. Gradasi agregat merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan campuran beraspal. Gradasi agregat mempengaruhi kemudahan pekerjaan, stabilitas serata keawetan dari campuran beraspal. Gradasi diperoleh dari hasil analisis pemeriksaan dengan menggunakan 1 set saringan. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentasi 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 tidak terdapat agregat berukuran kecil yang dapat mengisi rongga dalam campuran tersebut. Sebaliknya, jika campuran agregat terdistribusi merata, maka rongga atau pori dalam campuran akan lebih kecil. Berdasarkan distribusi atau gradasi butirannya, agregat dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

a. Agregat bergradasi baik

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

1. Agregat bergradasi kasar, adalah agregat bergradasi baik yang memiliki susunan ukuran menerus dari kasar hingga halus, tetapi lebih didominasi oleh agregat ukuran butiran kasar.

2. Agregat bergradasi halus, adalah agregat bergradasi baik yang memiliki susunan ukuran menerus dari kasar hingga halus, tetapi lebih didominasi oleh agregat ukuran butiran halus.
- b. Agregat bergradasi buruk
- Agregat bergradasi buruk adalah distribusi ukuran agregat yang tidak memenuhi persyaratan agregat bergradasi baik.
1. Agregat gradasi seragam, adalah campuran agregat yang tersusun dari agregat dengan ukuran butirannya sama atau hampir sama.
 2. Agregat gradasi terbuka, adalah campuran agregat dengan distribusi ukuran butiran sedemikian rupa sehingga pori-pori antar agregat tidak terisi dengan baik.
 3. Agregat gradasi senjang, adalah campuran agregat yang ukuran butirannya terdistribusi tidak menerus, atau ada bagian yang hilang.

2.2 Polymer Modified Asphalt

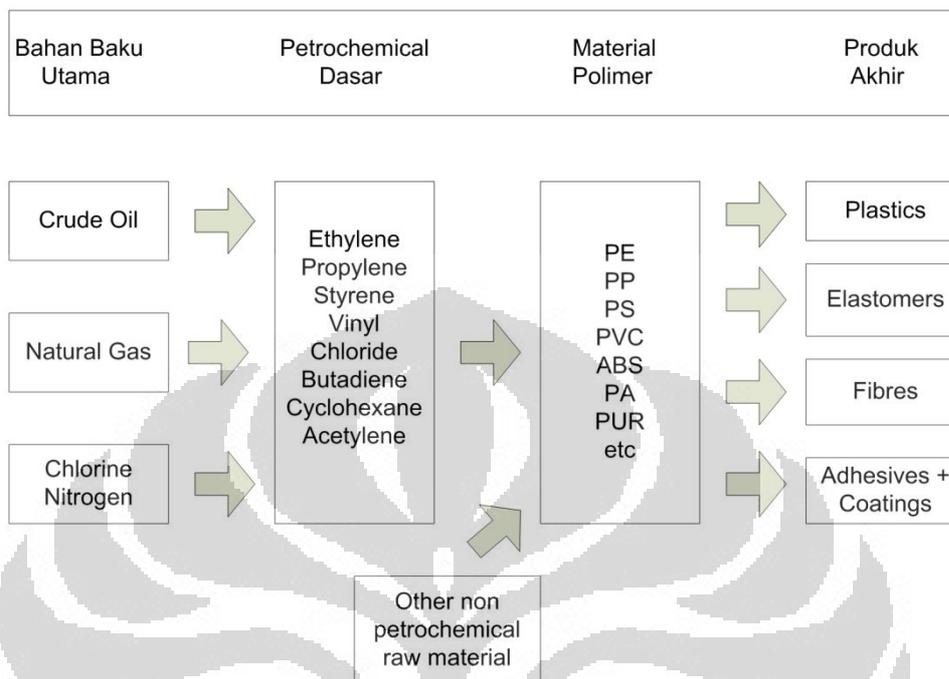
2.2.1 Polimer

Polimer atau dalam perdagangan dikenal dengan nama plastic adalah gugusan molekul yang terdiri dari banyak monomer. Polimer didefinisikan sebagai molekul panjang yang mengandung rantai dari atom yang disatukan dengan ikatan kovalen. Nama polymer sesuai dengan nama monomer yang dikandungnya, misalnya akrilonitril, polimernya disebutnya polyakrilonitril.

Secara fisis, bahan polimer termasuk bahan sensitif terhadap suhu lingkungan. Pada suhu rendah, polimer bersifat keras, sedangkan pada suhu sedikit panas, mobilitas segmen rantai molekul polimer meningkat. Jika suhu terus meningkat, maka polimer akan melunak dan elastic seperti karet.

Polimer adalah suatu rantai panjang molekul yang sangat besar, terdiri atas ratusan atau ribuan atom yang terbentuk melalui pengulangan dari satu atau dua bahkan lebih dari bentuk molekul yang kecil menjadi suatu rantai molekul atau struktur jaringan (Hall, C., 1989). Konsep dasar struktur

dalam pembentukan polimer yang berasal dari bahan minyak mentah dapat dijelaskan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Diagram Proses Pembentukan Polimer (Hall, C. 1989)

Bahan polimer secara garis besar dibagi ke dalam dua kategori, yaitu plastomer dan elastomer. Plastomer didefinisikan sebagai suatu polimer yang membentuk jaringan tiga dimensi yang kaku dan tahan terhadap deformasi, jenis ini akan cepat memberikan kekuatan jika diberi beban, tetapi mudah patah bila diberi regangan yang berlebihan. Sedangkan elastomer adalah jenis polimer yang memiliki karakteristik respon elastik yang tinggi sehingga tahan terhadap deformasi yang disebabkan oleh tarikan dan segera kembali ke bentuk asalnya jika beban signifikan (**Brown dkk., 1990**).

Penggunaan polimer menyebar dengan cepat ke berbagai ilmu pengetahuan alam dan teknologi termasuk teknik jalan raya. Beberapa tahun terakhir ini beban arus lalu lintas telah meningkat dengan cepat sehingga dibutuhkan suatu peningkatan kinerja dari jalan raya. Salah satu usaha dalam pemecahan masalah ini adalah dengan menggunakan polimer sebagai aspal modifikasi (*Polymer Modified Asphalt*).

Polimer telah banyak digunakan orang sebagai bahan untuk meningkatkan ketahanan dan kepekaan terhadap temperature\, diperkirakan

bahwa dengan meningkatnya kekakuan aspal maka akan meningkat pula ketahanan aspal terhadap deformasi, keretakan akibat temperature, dan ketahanan terhadap kelelahan lapisan beraspal (**Brown dkk., 1990**).

2.2.2 Aspal Modifikasi Polimer

Menurut **Dinas Pekerjaan Umum**, aspal polimer adalah aspal yang ditingkatkan mutunya dengan cara menambahkan polimer ke dalam aspal keras. Adapun menurut **Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah**, aspal modifikasi polimer dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah. Polimer adalah jenis bahan tambah yang banyak digunakan saat ini, sehingga aspal modifikasi sering disebut juga sebagai aspal polimer.

Sifat-sifat yang ingin didapatkan dalam penggunaan aspal polimer adalah sebagai berikut (**Suroso, T.W., 2001**):

a. Titik lembek

Bila diinginkan aspal yang tahan pada suhu tinggi agar tidak terjadi deformasi maka sebaiknya memilih aspal polimer.

b. Penetrasi Indeks

Makin tinggi angka indeks penetrasi maka campuran akan semakin tahan terhadap deformasi pada suhu tinggi dan tahan terhadap suhu rendah.

c. Kekentalan

Kekentalan aspal berhubungan dengan ketebalan lapisan aspal serta harus cukup tebal dan keras untuk melapisi agregat di bawah tekanan lalu lintas.

Robert N. Hunter (2000) dalam bukunya *Asphalt in Road Construction* menyatakan untuk meningkatkan *performance* dan umur suatu perkerasan aspal yaitu dengan mengurangi kerentanan terhadap temperatur (*temperature susceptibility*), metode yang umum dilakukan adalah dengan penambahan polimer, antara lain berpengaruh terhadap: kenaikan titik lembek; penurunan angka penetrasi; dan peningkatan kekentalan (viskositas).

Selain berpengaruh terhadap penurunan kerentanan terhadap temperatur, penambahan polimer juga dapat meningkatkan fleksibilitas,

workabilitas, kohesi, daktilitas dan keuletan (*toughness*). Jenis-jenis material yang digunakan dalam modifikasi aspal disajikan pada **Tabel 2.4**:

Tabel 2.4 Tipe-tipe bitumen modifiers

Jenis Modifier	Contoh Modifier
<i>Thermosetting polymers</i>	<i>Epoxy resin</i> <i>Polyurethane resin</i> <i>Acrylic resin</i>
<i>Elastomeric polymers</i>	<i>Natural rubber</i> <i>Vulcanized (tyre) rubber</i> <i>Syrene-butadiene-styrene (SBS) block copolymer</i> <i>Styrene-butadiene-rubber</i> <i>Ethylene-propylene-diene terpolymer (EPDM)</i> <i>Isobutene-isoprene copolymer (IIS)</i>
<i>Thermoplastic polymers</i>	<i>Ethylene vinyl acetate (EVA)</i> <i>Ethylene methyl acrylate (EMA)</i> <i>Ethylene buthyl acrylate (EBA)</i> <i>Polyethylene (PE)</i> <i>Polyvinyl chloride (PVC)</i> <i>Polystyrene (PS)</i>
<i>Chemical modifiers and extenders</i>	<i>Organo-manganese/cobalt compound</i> <i>Sulphur</i> <i>Lignin</i>
<i>Fibres</i>	<i>Cellulose</i> <i>Alumino-magnesium silicate</i> <i>Glass fibre</i> <i>Asbestos</i> <i>Polyester</i> <i>Polypropylene</i>
<i>Anti stripping</i>	<i>Organic amines</i> <i>Amides</i>
<i>Natural binders</i>	<i>Trinidad Lake Asphalt (TLA)</i> <i>Gilsonite</i> <i>Rock Asphalt</i>
<i>Fillers</i>	<i>Carbon Black</i> <i>Fly Ash</i> <i>Lime</i> <i>Hydrated Lime</i>

Sumber : (Hunter, Roberts N., 2000)

Berdasarkan sifatnya, terdapat dua jenis polimer sebagai bahan modifikasi aspal, yaitu: polimer elastomer dan polymer plastomer. SBS (*Styrene Butadine Styrene*), SBR (*Styrene Butadine Rubber*), SIS (*Styrene Isoprene Styrene*) dan karet adalah jenis polimer elastomer yang digunakan sebagai bahan pencampur aspal keras. Polimer jenis ini dimaksudkan untuk memperbaiki rheologi aspal, antara lain penetrasi, kekentalan, titik lembek dan elastisitas aspal keras. Campuran aspal yang dimodifikasi dengan polimer elastomer akan memiliki tingkat elastisitas yang lebih tinggi dari campuran beraspal yang dibuat dengan aspal keras.

Penambahan bahan polimer plastomer pada aspal keras dimaksudkan untuk meningkatkan rheologi aspal baik pada aspal keras dan sifat fisik campuran beraspal. Jenis polimer plastomer yang telah banyak digunakan antara lain adalah EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*), polypropilene dan polyethilene. Persentase penambahan bahan tambah (*additive*) pada pembuatan aspal polymer harus ditentukan berdasarkan pengujian laboratorium karena penambahan bahan tambah sampai dengan batas tertentu memang dapat memperbaiki sifat-sifat rheologi aspal dan campuran tetapi penambahan yang berlebihan justru akan memberikan pengaruh yang negatif.

Klasifikasi polimer dan penggunaan aspal modifikasi polimer yang digunakan untuk keperluan jalan raya dijelaskan pada **Tabel 2.5** dan **Tabel 2.6** (T.W. Suroso, 2001).

Tabel 2.5 Klasifikasi Polimer Untuk Jalan raya

Plastomer	Elastomer
PP (Poly Propylene)	Karet Alam (Natural Rubber)
PE ((Poly Ethylene)	SBR (Styrene Butadiene Rubber)
EVA (Ethyl Viny Acetate)	SBS (Styrene Butadiene Styrene)
	Neoprene

Tabel 2.6 Penggunaan Aspal Modifikasi Polimer

Tipe Polimer	Nama Umum	Perkerasan
SBS (Styrene Butadiene Styrene)	Thermoplastic Rubber	Hot mix Pengisian retakan
EVA (Ethyl Vinyl Acetate)	Thermoplastic	Daya tahan Seal Retak
Poly Ethylene Poly Propylene	Thermoplastic	Daya tahan terhadap alur
SBR (Styrene Butadiene Rubber)	Karet Sintetis	Retak Alur
Karet Alam (Natural Rubber)	Karet	Retak Alur

Pada penelitian ini, digunakan polimer dari jenis elastomer yaitu styrene-butadiene-styrene (SBS) sebagai bahan modifikasi aspal. SBS merupakan polimer yang banyak digunakan sebagai bahan modifikasi aspal. SBS terbentuk dari hasil polimerisasi berurutan dari dua atau lebih monomer. Dengan menggunakan proses polimerisasi, sangat memungkinkan terbentuknya polimer dengan struktur linear dan radial (bintang). Sifat elastis dari SBS dipengaruhi oleh kemampuannya menggabungkan sifat entropis dan enthalpic. Kecenderungan alami rantai kimianya untuk mencari konfirmasi energi terendah masih ada tetapi ada juga struktur yang melekat pada molekul-molekul. Ketika SBS dicampur dengan aspal, fase elastomer dari kopolimer SBS menyerap maltenes (fraksi minyak) dari aspal. Pada konsentrasi SBS ideal atau optimal, fase lanjutan dari jaringan polimer terbentuk dan mempengaruhi sifat fisik aspal secara signifikan. Sifat fisik dari aspal yang dipengaruhi oleh SBS secara signifikan adalah titik lembek, karena SBS mampu meningkatkan viskositas aspal akibat terserapnya fraksi minyak dari maltenes sehingga rasio asphaltenes dalam kandungan aspal akan meningkat yang dapat menghasilkan aspal yang lebih keras dengan nilai penetrasi yang rendah, titik lembek yang tinggi dan tingkat kekentalan aspal yang tinggi pula (Shell Bitumen, 1990).

Aspal polimer yang digunakan nantinya harus memenuhi Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum (Tabel 2.7).

Tabel 2.7 Persyaratan Aspal Polimer

No	Jenis pengujian	Metode uji	Persyaratan			
			Plastomer		Elastomer	
			Min	Maks	Min	Maks
1	Penetrasi; 25 °C, 100 g; 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	50	70	50	75
2	Titik lembek, °C	SNI 06-2434-1991	56	-	54	-
3	Titik nyala, °C	SNI 06-2433-1991	232	-	232	-
4	Berat jenis	SNI 06-2442-1991	1,0	-	-	-
5	Kekentalan pada 135 °C, cSt	SNI 06-6721-2002	150	1500	-	2000
6	Stabilitas penyimpanan; 163 °C; 48 jam; perbedaan titik lembek; °C.	SNI 06-2434-1991	Homogen ¹⁾		-	2
7	Kelarutan dalam 1,1,1- trichloroethane; % berat ²⁾	ASTM D 5546-94a	99	-	99	-
8	Penurunan berat (RTFOT), % berat	SNI 06-2440-1991	-	1,0	-	1,0
9	Perbedaan penetrasi setelah RTFOT, % berat:	SNI 06-2456-1991				
	- kenaikan penetrasi		-	10	-	10
	- penurunan penetrasi		-	40	-	40
10	Perbedaan titik lembek setelah RTFOT, % berat:	SNI 06-2434-1991				
	- kenaikan titik lembek		-	6,5	-	6,5
	- penurunan titik lembek		-	2	-	2
11	Elastic recovery residu RTFOT, %	ASTM D 5892 Part 6.2	-	-	45	-

¹⁾ Pada permukaan tidak terjadi lapisan (kulit), kerut, dan tidak terjadi endapan

²⁾ Metode uji kelarutan berbeda dengan untuk aspal keras non-polimer.

Sumber : Spesifikasi Bahan Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir), SNI 03-6749-2002

2.2.3 Pedoman Pencampuran Aspal dan Polimer

Pada Agustus 1999, Texas Department of Transportation membuat pedoman dalam penentuan besarnya persentase polimer dalam *Polymer Modified Asphalt (PMA)* dan tata cara pencampurannya yang dimuat pada *TxDOT Designation : Tex-533-C*. Jenis polimer yang dapat digunakan dalam pedoman ini antara lain *styrene-butadiene-rubber (SBR)*, *styrene-butadiene-styrene block copolymer (SBS)*, *ethylene acrylic acid (EAA)*, *ethylene vinyl acetate (EVA)*. Prosedur singkat pencampuran aspal dengan bahan polimer sebagai berikut:

- Timbang sekitar 400 gram aspal, dan masukkan ke dalam wadah dengan volume sekitar 1 liter.
- Panaskan aspal hingga suhu 160⁰ C hingga aspal benar-benar cair. Pertahankan suhu antara 149⁰ hingga 177⁰ C.
- Hidupkan *rotary mixer*, dan tambahkan sedikit demi sedikit polimer yang akan ditambahkan dalam aspal. Untuk polimer yang berbentuk

padat (solid), mula-mula tambahkan polimer sepertiga dari total berat polimer yang akan dicampur, biarkan polimer tercampur merata (homogen), kemudian tambah sepertiga lagi hingga semuanya tercampur.

- d. Biarkan aspal dan polimer tersebut teraduk-aduk selama 20 menit hingga campuran aspal dan polimer benar-benar homogen.
- e. Setelah campuran aspal polimer selesai dibuat, dinginkan pada suhu ruang sebelum digunakan kembali untuk penelitian.

Chen, Liao, dan Tsai (2002), dalam penelitiannya mengenai evaluasi dan optimisasi *engineering properties* dari aspal polimer, menggunakan alat mixer Tokyo Kikakikae model Eysel 4 (Kikakikae Company, Tokyo, Jepang) untuk mencampur polimer SBS dengan aspal pengikat. Mixer tersebut dioperasikan dengan kecepatan konstan sebesar 150 rpm agar tidak terjadi rongga yang terbentuk selama pencampuran. Prosedur singkatnya sebagai berikut:

- a. Sejumlah aspal yang telah ditentukan beratnya dan ditimbang dipanaskan hingga cair, kemudian tuang ke dalam labu bola (labu erlemeyer), kemudian panaskan di atas heating mantle.
- b. Untuk mencegah dampak buruk akibat pemanasan berlebih, jaga selalu suhu dengan menggunakan 2 buah *thermocouple*, satu digunakan di antara labu dan heating mantle, satu lagi digunakan untuk mengukur suhu aspal dalam labu erlemeyer.
- c. Ketika suhu sudah mencapai 180⁰ C, masukkan polimer secara perlahan-lahan untuk mencegah terjadinya aglomerasi atau penggumpalan.
- d. Kemudian dilanjutkan proses pencampuran dengan suhu 180⁰ C selama 2 jam hingga menghasilkan campuran yang homogen.
- e. Setelah selesai pencampuran, *Polymer Modified Asphalt (PMA)* tersebut dikeluarkan dari labu dan masukan ke dalam wadah kecil (can).
- f. Dinginkan pada suhu ruang, bungkus dalam alumunium foil, dan simpan untuk penelitian yang nantinya akan dilakukan.

Al Hadidy dan Tan Yi-Qiu (2009), dalam penelitiannya yang berjudul “*Comparative Performance of the SMAC Made with the SBS- and*

ST-Modified Binders”, melakukan pencampuran antara aspal pen 70/100 dan SBS pada suhu 170⁰ C dengan sebuah *high speed stirrer* dengan kecepatan 3000 rpm. Proses pencampuran ini berlangsung selama 2 jam hingga memperoleh campuran yang homogen. Untuk mengetahui apakah SBS tersebut terdispersi merata dilakukan dengan cara menyaring campuran aspal polimer pada suhu 170⁰ C dengan saringan ASTM 100.

2.3 Campuran Aspal Beton

2.3.1 Lapisan Aspal Beton (Laston)

Lapisan beton aspal pertama kali dikembangkan di Amerika oleh The Asphalt Institute dengan nama *Asphalt Concrete (AC)*. Lapisan beton aspal ini merupakan lapisan yang memiliki nilai structural dalam susunan lapis perkerasan jalan. Laston adalah aspal campuran panas yang bergradasi tertutup (bergradasi menerus). Gradasi tertutup yaitu suatu komposisi yang menunjukkan pembagian butir yang merata mulai dari ukuran terbesar sampai terkecil, dengan material penyusunnya yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal.

Berdasarkan Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas, Revisi SNI 03-1737-1989, Laston (AC) terdiri dari tiga macam campuran; Laston Lapis Aus (AC-WC), Laston Lapis Pengikat (AC-BC) dan Laston Lapis Pondasi (AC-Base) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan Aspal Polimer atau Aspal dimodifikasi dengan Aspal Alam atau Aspal Multigrade disebut masing-masing sebagai AC-WC Modified, AC-BC Modified, dan AC-Base Modified. Untuk penelitian ini, digunakan lapisan aspal beton lapis permukaan (*Asphalt Concrete Wearing Course*) dengan tambahan polimer sehingga laston yang digunakan harus memenuhi ketentuan AC-WC Modified (**Tabel 2.8 dan Tabel 2.9**).

Tabel 2.8 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran	Laston		
	WC	BC	Base
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,2	
Jumlah tumbukan per bidang		75	112
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,5	
	Maks.	5,5	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	63
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800	1500
	Maks.	-	-
Kelelehan (mm)	Min.	3	5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250	300
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ⁰ C	Min.	75	
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2,5	

Sumber: Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum (2007)

Tabel 2.9 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi (AC-Modified)

Sifat-sifat Campuran	Laston		
	WC	BC	Base
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,7	
Jumlah tumbukan per bidang		75	112
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,5	
	Maks.	5,5	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	63
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	1000	1800
	Maks.	-	-
Kelelehan (mm)	Min.	3	5
	Maks.	-	-
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	300	350
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ⁰ C	Min.	75	
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2,5	

Sumber: Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum (2007)

Menurut Bina Marga, Laston dibagi menjadi 11 tipe berdasarkan sebaran butirannya. Dalam penelitian ini digunakan laston tipe IV yang digunakan untuk lapis permukaan. Adapun gradasi agregat untuk berbagai tipe laston dapat dilihat pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2.10 Batas-batas Gradasi Menerus Agregat Campuran

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"	38,1mm	-	-	-	-	-	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	18-29	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 : Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya, SNI 03-1737-1989

2.3.2 Sifat dan Karakteristik Campuran Aspal

Shell Bitumen (1990) menyatakan bahwa campuran beraspal harus mempunyai kemampuan untuk:

- Tahan terhadap deformasi permanen.
- Mampu menahan retak lelah (fatigue cracking).
- Mudah dalam pelaksanaan baik penghamparan maupun pemadatan dengan peralatan yang sesuai.
- Kedap air, untuk melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh air.
- Awet, untuk melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh air.
- Memberikan daya dukung terhadap struktur perkerasan.
- Mudah dipelihara dan yang paling penting yaitu harus mempunyai biaya yang efektif.

Sedangkan menurut **The Asphalt Institute (1993)**, suatu campuran beraspal sebagai lapis perkerasan harus memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menahan deformasi permanen pada saat menerima beban lalu lintas (baik beban statis maupun beban dinamis), tanpa terjadinya perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding.

2. Keawetan (*durability*)

Keawetan campuran beraspal menunjukkan kemampuan campuran untuk menahan pengaruh buruk dari lingkungan dan iklim, serta ketahanan terhadap beban lalu lintas. Pengaruh ini umumnya dikenal sebagai efek penuaan aspal, yaitu adanya proses oksidasi dan penguapan fraksi ringan dari aspal yang berakibat menurunnya daya lekat dan kekenyalan aspal.

3. Kelenturan (*flexibility*)

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan lapisan untuk dapat menahan lendutan (*deflection*) dan momen yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak. Nilai fleksibilitas yang tinggi dari campuran akan diperoleh dengan kadar aspal yang relative tinggi dan VMA yang cukup.

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) adalah kemampuan lapisan beraspal untuk menahan lendutan balik beban berulang sehingga tidak terlalu cepat mengalami keretakan.

5. Kemudahan dalam proses pelaksanaan (*workability*)

Kemudahan dalam proses pelaksanaan diartikan sebagai kemampuan campuran tersebut untuk dapat dihamparkan dan dipadatkan serta mencapai kepadatan yang diinginkan tanpa kesulitan. Perencanaan campuran yang menunjukkan stabilitas tinggi di laboratorium belum tentu mempunyai kemudahan pelaksanaan. Campuran akan mudah dikerjakan bila agregat cukup kering, mempunyai angularitas cukup dan

bitumen yang digunakan mempunyai viskositas pencampuran yang dapat dicapai pada suhu yang wajar.

6. Kekesatan permukaan (*skid resistance*)
Kekesatan permukaan atau ketahanan terhadap gelincir dapat diartikan campuran tersebut harus memiliki kekesatan yang cukup sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan maupun kering. Hal ini berhubungan dengan keselamatan dan keamanan pemakai jalan terutama pada waktu jalan dalam kondisi basah karena hujan.
7. Kedap air (*impermeability*)
Musuh utama jalan adalah air, sehingga diharapkan lapisan beraspal kedap air untuk melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh air dan udara yang dapat mengakibatkan berkurangnya kekuatan dan daya dukung. Di samping itu air dapat menimbulkan efek pengelupasan film aspal dari permukaan agregat (*stripping*), dimana hal tersebut merupakan awal kerusakan dari perkerasan jalan. Untuk mendapatkan lapisan yang kedap air, dalam campuran diperlukan kadar aspal yang lebih tinggi, sehingga dapat menahan tegangan permukaan akibat tekanan air dan beban kendaraan yang melewatinya.

2.4 Air Rob dan Pengaruhnya pada Campuran Aspal

Menurut **Kamus Besar Bahasa Indonesia (2008)**, rob didefinisikan sebagai pasang besar (tentang air laut atau sungai) yang menyebabkan luapan air laut. Fenomena banjir rob dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Pasang surut sendiri dipengaruhi gravitasi bulan dan matahari, serta dipengaruhi pula posisi bulan dan matahari terhadap bumi. Banjir ini biasa terjadi pada saat pasang air laut yaitu bertepatan dengan kejadian bulan baru dan bulan purnama.

Kandungan air rob tentunya akan berbeda dengan air laut. Hal ini disebabkan karena air rob telah masuk ke daratan sehingga telah bercampur dengan zat-zat atau material lain yang berada di daratan yang dilewatinya. Air laut sendiri memiliki kadar garam rata-rata 3,5%. Artinya dalam 1 liter (1000 mL) air laut terdapat 35 gram garam (terutama, namun tidak seluruhnya, garam dapur/NaCl). Keberadaan garam-garaman mempengaruhi sifat fisis air laut (seperti: densitas, kompresibilitas, titik beku, dan temperatur dimana densitas

menjadi maksimum) beberapa tingkat, tetapi tidak menentukannya. Beberapa sifat (viskositas, daya serap cahaya) tidak terpengaruh secara signifikan oleh salinitas. Dua sifat yang sangat ditentukan oleh jumlah garam di laut (salinitas) adalah daya hantar listrik (konduktivitas) dan tekanan osmosis.

Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%) dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida. Tiga sumber utama garam-garaman di laut adalah pelapukan batuan di darat, gas-gas vulkanik dan sirkulasi lubang-lubang hidrotermal (hydrothermal vents) di laut dalam.

Terkait dengan pengaruh rendaman air atau banjir rob terhadap perkerasan jalan, masih belum didapatkan kajian yang mendalam terkait hal tersebut. Air memang merupakan musuh utama perkerasan aspal, tetapi hal ini berbeda kaitannya ketika berbicara tentang air rob. Namun masih bisa ditarik kesimpulan sementara (hipotesis) bahwa air laut atau rob akan lebih merusak struktur aspal dibandingkan air biasa. Hal ini dikarenakan air rob atau air laut mengandung kandungan yang jauh berbeda dengan air standar, dimana dalam air laut banyak terkandung mineral-mineral seperti klorida, natrium, sulfat, magnesium, kalsium, potasium dan lainnya yang dapat bereaksi dengan campuran aspal atau material-material penyusunnya sehingga mempengaruhi kinerja campuran tersebut.

Air laut atau rob yang terinfiltrasi ke dalam struktur perkerasan menyebabkan campuran aspal mudah teroksidasi sehingga aspal menjadi rapuh (getas). Untuk mencegah agar air laut tidak mudah terinfiltrasi dengan mudah ke dalam struktur perkerasan, maka harus mempertimbangkan gradasi campuran, VIM, VMA dan VFA. Penggunaan gradasi yang rapat (menerus) menyebabkan rongga dalam campuran (VIM) memiliki nilai yang kecil. Apabila nilai VIM ini terlalu besar, hal ini menyebabkan campuran aspal bersifat porous sehingga air dan udara dapat dengan mudah masuk dan beroksidasi dengan campuran.

Sedangkan nilai VFA juga berpengaruh terhadap sifat kedap air campuran terhadap air dan udara serta sifat elastik campuran, sehingga akan menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. VFA (*Void Filled with*

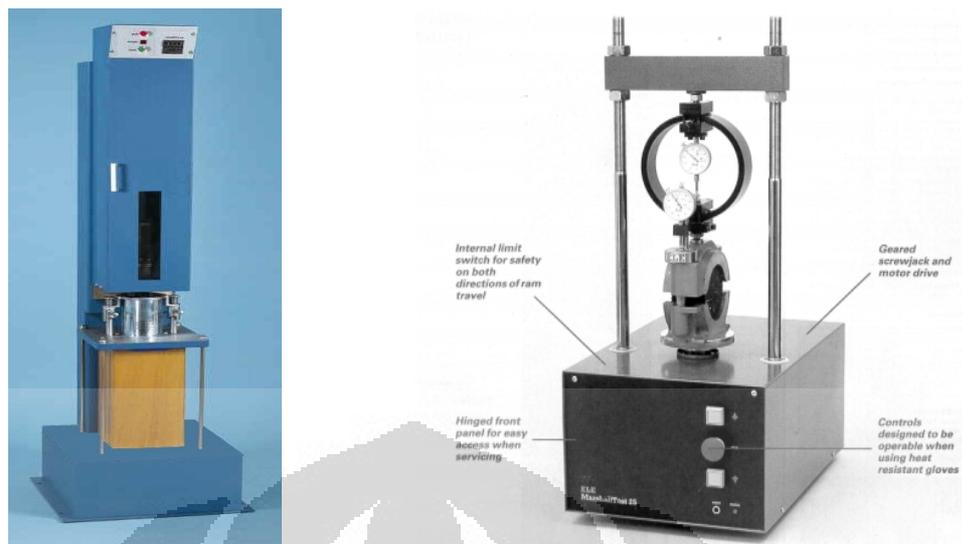
Asphalt) merupakan prosentase rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami pemadatan. Nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding* dan bila terlalu rendah akan menimbulkan campuran menjadi porous (tidak kedap air dan udara) karena lapisan film aspal tipis sehingga mudah retak jika ada pembebanan berat.

2.5 Marshall Test

Pengujian Marshall adalah suatu metoda pengujian untuk mengukur stabilitas dan kelelahan plastis campuran beraspal dengan menggunakan alat Marshall. Konsep ini dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insinyur bahan aspal bersama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian penelitian ini dilanjutkan oleh *The U.S. Army Corps of Engineers*, dengan lebih ekstensif dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian Marshall dan akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran.

Karakteristik campuran dapat diukur dengan pengujian menggunakan alat Marshall yang terdiri dari Volumetric Characteristic dan Marshall Properties. Volumetric characteristic akan menghasilkan parameter-parameter: *Void In Mineral Aggregate* (VMA), *Void In Mix* (VIM), *Void Filled With Asphalt* (VFWA) dan *Density*. Sedangkan Marshall Properties menghasilkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) yang diperoleh dari hasil pengujian dengan alat Marshall.

Untuk keperluan pencampuran, agregat dan aspal dipanaskan pada suhu dengan nilai viskositas aspal 170 ± 20 centistokes (cst) dan dipadatkan pada suhu dengan nilai viskositas aspal 280 ± 30 cst. Alat yang digunakan untuk proses pemadatan adalah *marshall compaction hammer* (**Gambar 2.2**). Benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 64 mm dan diameter 102 mm ini diuji pada temperatur $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan tingkat pembebanan konstan sebesar 51 mm/menit sampai terjadi keruntuhan. Beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji sebelum hancur dikenal sebagai stabilitas Marshall dan besarnya deformasi yang terjadi pada benda uji sebelum hancur adalah kelelahan (*flow*) Marshall dan perbandingan stabilitas dan kelelahan (*flow*) Marshall disebut Marshall Quotient, yang merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi tetap. Alat yang digunakan terdiri dari mesin uji Marshall seperti terlihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test

2.6 Penelitian Terdahulu

2.6.1 Penelitian Mengenai Pengaruh Air Rob Terhadap Campuran Aspal

Agung Hari Prabowo (2003), melakukan penelitian dengan uji laboratorium tentang pengaruh air rob terhadap kualitas campuran beraspal panas dengan jenis campuran Laston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet Wearing Course/HRS – WC*) yang mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Tahun 2001. Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi kadar keasaman air rob yang diambil dari tempat yang berbeda dan variasi waktu lamanya rendaman, (24 – 168 jam atau selama seminggu). Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi tingkat keasaman air yang merendam (air rob khususnya), stabilitas campuran *HRS – WC* semakin menurun, dengan kata lain semakin cepat rusak atau keawetan (durabilitas berkurang). Begitu juga dengan lamanya rendaman, semakin lama terendam dalam air rob, maka campuran *HRS - WC* akan semakin cepat rusak. Dari penelitian ini diberikan saran untuk dilakukan penelitian uji permeabilitas, penggunaan campuran dengan gradasi rapat (Laston) dengan aspal polimer yang memiliki daya lengket lebih tinggi.

Syukri (1999), dalam penelitiannya yang berjudul “*Effeect of Salt Water Immersion on The Durability of A Hot Rolled Sheet Mix*”, melakukan penelitian pengaruh perendaman dalam air biasa dan air yang mengandung

5%, 7,5% dan 10% garam terhadap sifat-sifat mekanik dari campuran HRS kelas A. Campuran yang digunakan dengan campuran pada kadar aspal optimum dan direndam selama 10, 20 dan 30 hari untuk kemudian diuji dengan alat Marshall, indirect tensile strength dan wheel tracking. Hasilnya menunjukkan bahwa campuran memenuhi standar konvensional Bina Marga terhadap kehilangan stabilitas (>25%) dan standar tersebut juga memenuhi bagi benda uji yang direndam selama 30 hari baik pada air biasa maupun air garam. Benda uji yang direndam dalam air biasa menunjukkan suatu penurunan tahap demi tahap terhadap kekuatan seiring pertambahan waktu perendaman, sedangkan benda uji yang direndam dalam air garam mengalami peningkatan awal terhadap kekuatan dan kemudian menunjukkan suatu kehilangan kekuatan yang berarti ketika waktu perendaman diperpanjang menjadi 30 hari. Deformasi dengan pengujian wheel tracking meningkat dengan meningkatnya waktu perendaman. Kesimpulan yang didapatkan bahwa kehilangan kekuatan yang berarti ditunjukkan oleh benda uji yang direndam dalam air biasa dan kadar garam kelihatannya mempunyai sedikit pengaruh terhadap kehilangan kekuatan.

2.6.2 Penelitian Mengenai Polymer Modified Asphalt dengan Menggunakan Styrene-Butadiene-Styrene (SBS)

Chen, Liao, dan Tsai (2002), melakukan penelitian mengenai *engineering properties* dari aspal polimer (*Polymer Modified Asphalt*). Dalam penelitian tersebut, digunakan bahan polimer *styrene-butadiene-styrene* (SBS) yang dicampur dalam aspal konvensional guna mengetahui *engineering properties* terkait penambahan polimer tersebut. Sepuluh kadar polimer digunakan dalam penelitian yaitu dari 1 % hingga 10 % dari total berat aspal. Dari hasil penelitian, SBS yang digunakan berpengaruh dalam peningkatan sifat reologi aspal karena terjadinya pembentukan ikatan antara aspal dan polimer. Pada penggunaan polimer dengan konsentrasi rendah, yaitu 1 % hingga 4 %, polimer tidak memberikan efek yang signifikan terhadap *properties* aspal. Sedangkan pada konsentrasi tinggi, mulai dari 5 % dan seterusnya, mulai terjadi ikatan lokal pada aspal dan polimer disertai

dengan peningkatan yang signifikan terhadap modulus kompleks, temperatur titik leleh dan ketangguhan (*toughness*) PMA. Pada titik leleh, peningkatan secara signifikan terjadi pada penambahan polimer sebesar 5 – 6 %, atau dengan kata lain viskositas aspal meningkat seiring penambahan polimer. Hal yang sama terjadi pada ketangguhan (*toughness*) dan keuletan (*tenacity*), dimana semakin banyak polimer yang ditambahkan, kedua *properties* tersebut pun akan meningkat hingga mencapai titik maksimalnya pada kadar 6 %.

Awanti, Amernath dan Veeraragavan (2008), melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan SBS dalam campuran perkerasan aspal. Mereka membandingkan sifat fisik antara *Polymer Modified Asphalt Binder* (PMAB) dengan SBS dan aspal semen (*asphalt cement*) *grade* 80/100. Penambahan polimer SBS sebesar 3,5 % dari total berat aspal dan aspal yang dimodifikasi adalah aspal semen *grade* 70 (PMAB-70). Selain itu juga mereka meneliti dan membandingkan nilai stabilitas marshall antara *Polymer Modified Asphalt Concrete* (PMAC) dan *asphalt concrete* (AC). Hasil penelitian menunjukkan titik leleh dan nilai viskositas PMAB-SBS lebih besar 16 % dan 98 % dari aspal semen (*asphalt cement*), sedangkan nilai penetrasi PMAB-SBS lebih kecil 36 % dari aspal semen. Nilai elastisitas PMAB-SBS juga 16 kali lebih besar dibandingkan aspal semen. Begitu juga nilai *penetration index* (PI) and *penetration viscosity number* (PVN) dari PMAB-SBS yang lebih besar dibandingkan aspal semen. Nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) pada campuran PMAC lebih besar 56 % dan 36 % dibandingkan dengan campuran *Asphalt Concrete* (AC) pada kadar aspal optimum (KAO).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rencana Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material; Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Departemen Teknik Sipil FTUI; dan Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPAUI. Penelitian meliputi pengujian material (agregat dan aspal), pembuatan benda uji, dan pengujian Marshall yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material FTUI. Sedangkan untuk pengujian kandungan air laut dilakukan di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Departemen Teknik Sipil FTUI dan Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPAUI.

Tahap awal yang dilakukan adalah pemeriksaan kandungan air rob. Sampel air rob yang diambil berasal banjir rob yang terjadi di sekitar Teluk Jakarta pada bulan Januari. Pemeriksaan sesuai dengan standar dari Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Departemen Teknik Sipil FTUI dan Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPAUI. Kandungan air rob yang dicari pada penelitian ini adalah kadar salinitas, derajat keasamannya (pH), total suspended solid (TSS), total dissolved solid (TDS), kadar klorida dan sulfat.

Pemeriksaan material dilakukan untuk memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Semua pengujian sesuai dengan standar pengujian bahan modul praktikum perkerasan jalan Laboratorium Bahan Departemen Sipil FTUI yang mengacu kepada *American Society for Testing Material* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pemeriksaan agregat baik agregat kasar maupun agregat halus meliputi :

- a. Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar
- b. Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus
- c. Analisis Butiran

Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal, terdapat dua bahan aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal keras pen 60/70 dan aspal modifikasi polimer. Bahan polimer yang digunakan adalah *styrene butadiene styrene* (SBS). Digunakannya polimer ini sebagai bahan modifikasi aspal dengan

pertimbangan karena polimer tersebut dapat meningkatkan mutu aspal pada campuran, baik stabilitas, fleksibilitas, durabilitas maupun sifat fisik lainnya.

Pemeriksaan sifat fisik aspal yang dilakukan antara lain:

- a. Pemeriksaan penetrasi aspal
- b. Pemeriksaan titik lembek
- c. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar
- d. Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal
- e. Pemeriksaan kelarutan aspal dalam karbon tetraklorida (CCl₄)
- f. Pemeriksaan daktilitas
- g. Pemeriksaan berat jenis bitumen

Untuk aspal modifikasi polimer, dilakukan pemeriksaan dengan kandungan polimer (SBS) 1 s/d 7 % dari berat aspal. Pemeriksaan yang dilakukan hanya penetrasi aspal, titik lembek, titik nyala, titik bakar dan daktilitas.

Tahap selanjutnya adalah perancangan dan pembuatan benda uji atau campuran aspal berdasarkan variasi kadar aspal dan kandungan polimer. Kadar aspal yang digunakan sebagai sampel adalah 5 %, 5,5 %, 6 %, 6,5 %, dan 7 % masing-masing menggunakan 3 sampel. Sedangkan kandungan polimer yang digunakan adalah 0 %, 1 %, 2 %, dan 3%. Penjelasan rinci pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Perhitungan Jumlah Sampel

Kadar Aspal	Kandungan Polimer			
	0 %	1 %	2 %	3 %
5 %	3	3	3	3
5,5 %	3	3	3	3
6 %	3	3	3	3
6,5 %	3	3	3	3
7 %	3	3	3	3
Sub Total	15	15	15	15
Total	60 sampel benda uji			

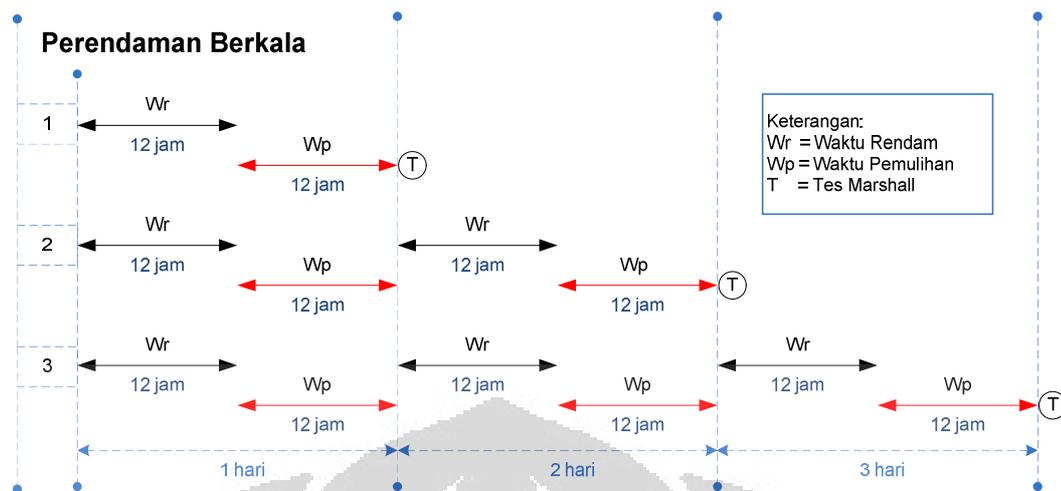
Dari keseluruhan sampel di atas, kemudian dicari satu komposisi campuran yang paling sesuai atau ideal dengan mempertimbangkan nilai stabilitas, kelelahan, VIM, VMA dan parameter lainnya setelah sebelumnya dilakukan uji marshall. Campuran aspal ideal tersebut terdiri atas campuran aspal non polimer (laston) dan campuran aspal dengan modifikasi polimer (laston

modifikasi) yang nantinya akan direndam dalam air rob untuk dapat memberikan gambaran sejauh mana lamanya rendaman mempengaruhi karakteristik campuran aspal.

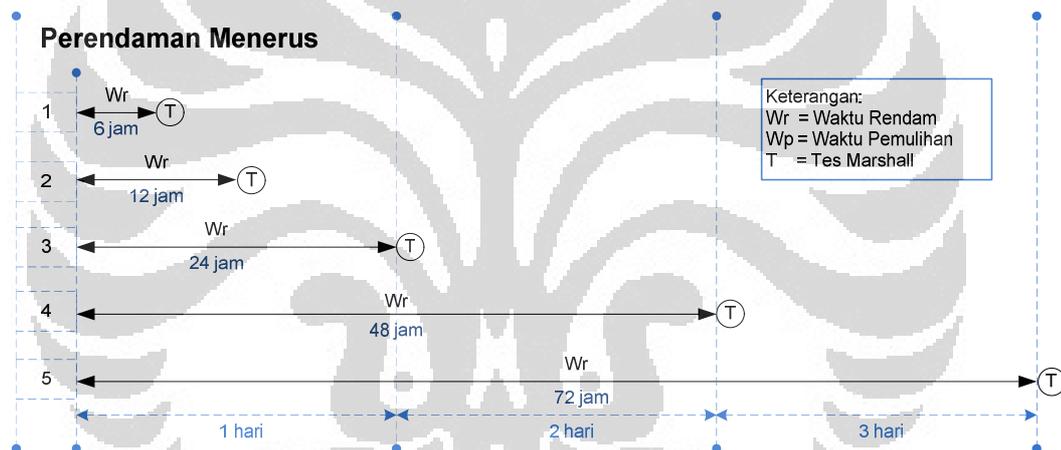
Perendaman dilakukan dengan perendaman menerus (*continous*) dan berkala atau terputus-putus (*intermittent*). Perendaman menerus dilakukan selama 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam dan 78 jam. Masing-masing waktu perendaman dibutuhkan 3 sampel benda uji. Sedangkan untuk perendaman berkala, dilakukan perendaman selama 12 jam, kemudian didiamkan selama waktu yang tersisa (waktu pemulihan) selama siklus 24 jam terus menerus selama 3 hari. Masing-masing waktu perendaman juga membutuhkan 3 sampel benda uji. Sehingga jumlah sampel benda uji yang dibutuhkan untuk adalah sebagai berikut:

- a. Perendaman berkala atau terputus-putus, masing masing 3 sampel perhari, sehingga dibutuhkan 9 sampel untuk satu campuran ideal (non polimer atau modifikasi polimer).
 - $9 \text{ sampel} \times 2 = 18 \text{ sampel}$
- b. Perendaman menerus masing-masing untuk tiap variasi waktu perendaman 3 sampel, sehingga dibutuhkan 15 sampel.
 - $15 \text{ sampel} \times 2 = 30 \text{ sampel}$
- c. Sampel campuran ideal tanpa perendaman, masing-masing 3 sampel.
 - $3 \text{ sampel} \times 2 = 6 \text{ sampel}$
- d. Total sampel yang dibutuhkan adalah sebanyak 54 sampel benda uji.

Diagram penjelasan mengenai waktu perendaman benda uji dijelaskan pada **Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.**

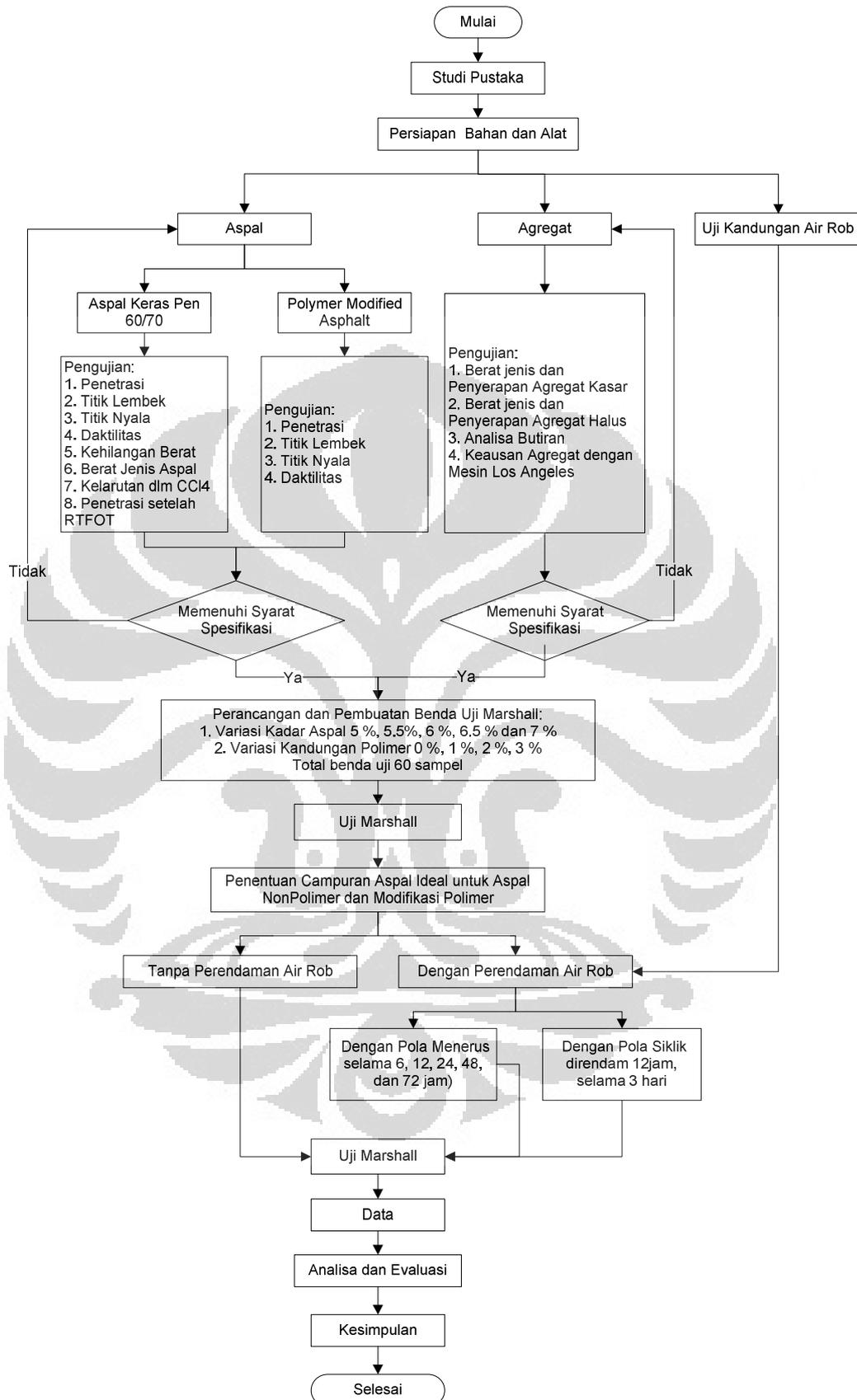


Gambar 3.1 Diagram Perendaman Berkala



Gambar 3.2 Diagram Perendaman Menerus

Setelah dilakukan perendaman, kemudian diuji Marshall untuk mendapatkan nilai atau karakteristik campuran sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap lamanya perendaman baik itu secara menerus maupun secara berkala. Agar penelitian ini dapat berjalan dengan sistematis dan sesuai dengan rencana, dibuat bagan alir penelitian untuk memberikan gambaran dari tahapan-tahapan yang akan dilakukan selama penelitian. Bagan alir dari penelitian ini dijelaskan pada **Gambar 3.3**:



Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian

Penjelasan bagan alir penelitian:

a. Tahapan Penentuan Komposisi Campuran Aspal Ideal

- Mempersiapkan material atau bahan yang akan digunakan untuk penelitian.
- Material penyusun (aspal dan agregat) dilakukan untuk menguji kesesuaian dengan spesifikasi yang ditentukan (Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007). Pemeriksaan aspal terdiri dari aspal keras pen 60/70 dan aspal modifikasi polimer.
- Apabila memenuhi spesifikasi, kemudian dilanjutkan dengan perancangan (*mix design*) dan pembuatan sampel benda uji dengan variasi kadar aspal dan kandungan polimer untuk mendapatkan komposisi campuran aspal yang ideal. Kadar aspal yang digunakan 5 %, 5,5 %, 6 %, 6,5 %, dan 7 % dengan kandungan polimer sebesar 0 %, 1 %, 2 % dan 3 %.
- Campuran aspal yang telah dibuat diuji dengan alat *Marshall* sehingga hasilnya dapat digunakan untuk menentukan komposisi campuran aspal ideal.

b. Tahapan Pengujian Kandungan Air Laut

- Air rob diambil langsung dari lokasi banjir rob yang terjadi di sekitar Teluk Jakarta.
- Pengujian dilakukan di laboratorium untuk mengetahui kandungan garam atau salinitas, tingkat keasamannya (pH), klorin, sulfat dan parameter lainnya.

c. Tahapan Pembuatan Sampel Campuran Aspal Ideal dan Pengujian

- Setelah didapat komposisi campuran aspal ideal, dibuat sampel benda uji tersebut sebanyak 60 sampel (untuk campuran aspal non polimer dan dengan polimer) dengan perincian seperti yang telah dibahas sebelumnya.
- Untuk sampel benda uji dengan perendaman, sampel direndam dengan dua metode perendaman, yaitu secara menerus (*continous*) dan berkala (*intermittent*). Pada perendaman secara menerus, sampel direndam sesuai dengan variasi waktu perendaman 6 jam, 12 jam, 24

Universitas Indonesia

jam, 48 jam dan 72 jam. Setelah mencapai waktu perendaman yang ditentukan, kemudian diuji dengan alat *Marshall* untuk mendapatkan data karakteristik campuran seperti nilai stabilitas campuran, kelelehan, *marshall quotient*, VIM, maupun VMA.

- Pada perendaman berkala, dilakukan perendaman 12 jam, kemudian ditinggalkan selama waktu yang tersisa (waktu pemulihan) selama siklus 24 jam terus menerus selama 3 hari. Kemudian dilakukan uji marshall seperti yang telah dijelaskan dalam diagram perendaman pada Gambar 3.1.
- Untuk sampel benda uji tanpa proses perendaman, sampel dapat langsung diuji dengan alat *Marshall* untuk mendapatkan data seperti nilai stabilitas campuran, kelelehan, *marshall quotient*, VIM, maupun VMA.

d. Tahapan Analisis Data Hasil Penelitian.

- Setelah didapatkan semua data hasil penelitian, data tersebut kemudian dilakukan pengolahan data dan analisis baik dalam bentuk analisis statistik deskriptif, maupun analisis korelasi antar faktor/variabel.

3.2 Pelaksanaan

3.2.1 Spesifikasi Bahan Baku Penelitian

Spesifikasi bahan baku penelitian yang meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus, dan air laut adalah:

- Aspal Pen 60/70
- 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 25,4 mm (1 inch)
 - ✓ Berat Jenis : minimum 2500 kg/m³

- Polimer : Elastomer
- ✓ Jenis : *Styrene Butadiene Styrene*
- Air Rob

3.2.2 Pemeriksaan Material

a. Pemeriksaan aspal

- Pemeriksaan penetrasi aspal

(PA-0301-76, AASHTO T-49-80, ASTM D-5-97)

Tujuan : menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran, beban dan suhu tertentu.

- Pemeriksaan titik lembek aspal

(PA-0302-76, AASHTO T-53-81, ASTM D-36-95)

Tujuan : Menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30⁰C – 200⁰C.

- Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar

(PA-0303-76, AASHTO T-48-81, ASTM D-92-02)

Tujuan : Menentukan titik nyala dan titik bakar dari aspal

- Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal

(PA-0304-76, AASHTO T-47-82, ASTM D-6-95)

Tujuan : Menentukan kehilangan berat minyak dan aspal

- Pemeriksaan kelarutan aspal dalam Karbon Tetraklorida (CCl₄)

(PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-97)

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

- Pemeriksaan daktilitas aspal

(PA-0306-76, AASHTO T-51-81, ASTM D-113-79)

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

- Pemeriksaan berat jenis bitumen (aspal)
(*PA-0307-76, AASHTO T-228-79, ASTM D-70-03*)
Tujuan : Menentukan berat jenis bitumen keras dan ter

b. Pemeriksaan agregat

- Analisis saringan agregat halus dan kasar
(*PB-0201-76, AASHTO T-27-82, ASTM D-136-04*)
Tujuan : Menentukan distribusi ukuran butiran (gradasi) agregat halus dan kasar.
- Berat jenis dan penyerapan agregat kasar
(*PB-0202-76, AASHTO T-85-81, ASTM D-127-04*)
Tujuan : Menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*), dan penyerapan dari agregat kasar.
- Berat jenis dan penyerapan agregat halus
(*PB-0203-76, AASHTO T-84-81, ASTM D-128-04*)
Tujuan : Menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*), dan penyerapan dari agregat halus.

3.2.3 Pemeriksaan Kandungan Air Rob

Pemeriksaan kandungan air rob dilakukan di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Departemen Teknik Sipil FTUI dan Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPAUI. Parameter yang dicari adalah kadar salinitas, derajat keasamannya (pH), *total suspended solid* (TSS), *total dissolved solid* (TDS), kadar klorida dan sulfat. Air rob ini selanjutnya dijadikan sebagai media perendaman campuran aspal ideal untuk mengetahui sejauh mana pengaruh air rob terhadap campuran aspal. Untuk metode dan standar pengujian diserahkan dan berpedoman pada standar pengujian di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Departemen Teknik Sipil FTUI dan juga Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPAUI.

3.2.4 Pencampuran Aspal dan Polimer

Belum ada standar baku baik SNI, ASTM maupun standar lainnya yang menetapkan bagaimana cara mencampur aspal dan polimer untuk mendapatkan aspal polimer yang homogen. Dengan melihat dari berbagai literatur baik dari jurnal penelitian maupun standar dari instansi tertentu serta hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium, berikut adalah langkah singkat pencampuran aspal dan polimer:

- a. Polimer SBS yang berbentuk bubuk (*powder*) disaring pada saringan 50 ASTM agar didapatkan polimer yang berbutir halus agar memudahkan terdispersinya polimer dalam aspal.
- b. Timbang sekitar 400 gram aspal, dan masukkan ke dalam wadah. Panaskan aspal hingga suhu 170°C hingga aspal benar-benar cair. Pertahankan suhu antara 150° hingga 180°C .
- c. Hidupkan *rotary mixer*, dan tambahkan sedikit demi sedikit polimer yang akan ditambahkan dalam aspal. Biarkan aspal dan polimer tersebut teraduk-aduk selama 20 – 30 menit hingga campuran aspal dan polimer benar-benar homogen.
- d. Setelah campuran aspal polimer selesai dibuat, dinginkan pada suhu ruang sebelum digunakan kembali untuk penelitian selanjutnya.

3.2.5 Perancangan Campuran dengan Metode Marshall

Setelah dilakukan semua pengujian material pembentuk campuran aspal yaitu aspal (aspal pen 60/70 dan aspal polimer) dan agregat, serta material tersebut memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, langkah selanjutnya adalah merancang dan membuat sampel yang akan digunakan untuk penelitian dengan metode marshall. Pengujian standar terhadap benda uji untuk marshall sesuai dengan prosedur yang ditentukan dalam SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-76)

Seperti telah dibahas pada rencana penelitian bahwa jumlah sampel yang dibutuhkan untuk mencari kadar aspal ideal sebanyak 60 buah dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dan kandungan polimer 0%,

1%, 2% dan 3%. Setelah didapat komposisi campuran aspal, kemudian dibuat sampel benda uji. Temperatur pencampuran bahan aspal dengan agregat adalah temperatur pada saat aspal mempunyai viskositas kinematis sebesar 170 ± 20 centistokes, dan temperatur pemadatan adalah temperatur pada saat aspal mempunyai nilai viskositas kinematis sebesar 280 ± 30 centistokes. Karena tidak diadakan pengujian viskositas kinematik aspal maka secara umum ditentukan suhu pencampuran berkisar antara $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $155\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan suhu pemadatan antara $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk campuran aspal non polimer. Sedangkan untuk benda uji yang menggunakan polimer suhu pencampuran dan pemadatan mengacu pada penelitian sebelumnya sebesar 180°C dan 170°C (Awanti, Amarnath, Veeraragavan, 2008).

Pemadatan untuk kondisi lalu lintas berat, dilakukan penumbukkan sebanyak 2×75 kali, dengan menggunakan alat *marshall compaction hammer*. Benda uji setelah dipadatkan, disimpan pada temperatur ruang selama 24 jam, kemudian diukur tinggi dan timbang berat dalam kondisi kering. Benda uji direndam selama 24 jam dalam air, kemudian ditimbang berat dalam air dan dalam kondisi jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*). Sampel kemudian direndam dalam *waterbath* pada temperature 60°C selama 30 menit, setelah itu diuji dengan alat Marshall untuk didapatkan data empiris (stabilitas, kelelahan dan *marshall quotient*). Setelah didapatkan data hasil uji marshall berupa stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, dan *marshall quotient*, kemudian dianalisis untuk mendapatkan komposisi campuran aspal ideal yang akan digunakan sebagai benda uji untuk tahap selanjutnya yaitu perendaman dalam air rob untuk mencari pengaruh lamanya perendaman terhadap karakteristik campuran aspal.

3.2.6 Perendaman Sampel dalam Air Rob dan Uji Marshall

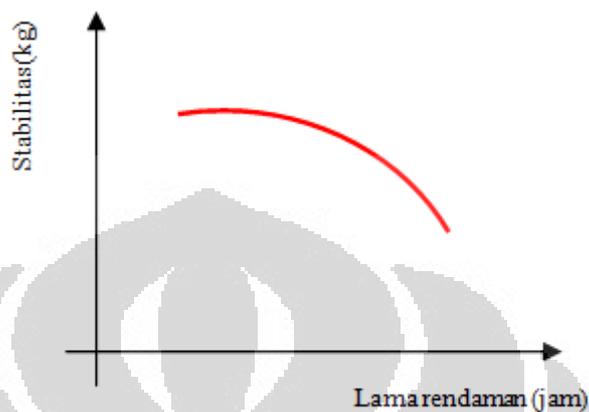
Perendaman campuran aspal dilakukan dengan dua metode perendaman, yaitu dengan pola perendaman menerus (*continous*) dan berkala atau terputus-putus (*intermittent*). Perendaman menerus dilakukan selama 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam dan 78 jam dimana masing-masing variasi waktu perendaman membutuhkan 3 sampel benda uji. Sedangkan untuk perendaman berkala, dilakukan perendaman dengan waktu 12 jam, kemudian didiamkan selama waktu yang tersisa (waktu pemulihan) selama siklus 24 jam terus menerus selama 3 hari. Penentuan metode dan waktu perendaman ini didasarkan pada pengalaman di lapangan atau lokasi banjir rob dimana banjir rob dapat menggenangi suatu kawasan secara menerus selama sehari-hari karena cuaca buruk atau kondisi lain, dan ada juga yang hanya tergenang pada saat-saat tertentu atau terputus-putus (berkala), misalnya pada tengah malam hingga pagi hari tergenang banjir rob, kemudian pada siang hari telah surut, namun pada malam harinya kembali tergenang air rob. Setelah sampel direndam, sampel diuji dengan alat Marshall untuk mengetahui pengaruh perendaman air rob yang terhadap karakteristik campuran aspal dan membandingkannya dengan sampel yang tidak direndam air rob. Karakteristik yang dicari dari uji Marshall ini adalah nilai stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *marshall quotient*, VIM dan VMA.

3.3 Tahap Analisis dan Pembahasan

Setelah dilakukan serangkaian penelitian dan didapatkan data, maka tahapan selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis hasil pemeriksaan material campuran aspal yaitu agregat dan aspal, apakah sesuai dengan spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007.
- b. Menganalisis pengaruh penambahan polimer terhadap terhadap karakteristik aspal sebagai bahan dasar dan karakteristik campuran aspal seperti stabilitas; kelelahan; *marshall quotient*; *void in mix* (VIM); dan *void in mineral aggregate* (VMA).
- c. Memplot data nilai stabilitas (*stability*); kelelahan (*flow*); *marshall quotient*; *void in mix* (VIM); *void in mineral aggregate* (VMA) terhadap lamanya

waktu perendaman campuran dalam air laut. Dari grafik ini akan diketahui apakah ada perubahan yang terjadi baik penurunan atau kenaikan parameter-parameter tersebut selama mengalami proses perendaman dalam air rob. Contoh grafiknya seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.4 Contoh Grafik Stabilitas vs Waktu Rendaman

- d. Membandingkan data hasil uji Marshall untuk sampel yang tidak terendam dan sampel yang terendam air rob, kemudian dianalisis hubungan antara lama perendaman air rob dengan karakteristik campuran. Sehingga nantinya akan diketahui bagaimana pengaruh lamanya rendaman terhadap keawetan (*durability*) dari campuran aspal.
- e. Membandingkan data hasil uji Marshall untuk sampel yang direndam dengan pola perendaman menerus dan perendaman berkala, kemudian dianalisis pola perendaman mana yang memberikan pengaruh lebih besar terhadap karakteristik campuran aspal.

3.4 Tahap Kesimpulan dan Saran

Setelah diperoleh grafik hubungan antara waktu perendaman dan kadar garam dengan faktor-faktor kinerja (karakteristik) campuran aspal dan dilakukan analisis terhadap faktor-faktor kinerja campuran aspal tersebut, maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan dan kemudian dilanjutkan dengan pemberian usulan.

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

4.1 Pengujian Material

4.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Aspal

Dalam penelitian ini, digunakan dua jenis aspal yaitu aspal keras penetrasi 60/70 dan aspal polimer. Aspal keras yang digunakan berasal dari AMP Widya Sapta Colas dengan merk Pertamina. Hasil pengujian aspal keras dijelaskan pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal Keras Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Unit	Metode Uji	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan
				Min	Max	
1	Penetrasi 25 °C, 100 gr, 5 detik	0,1 mm	SNI-06-2456-1991	60	79	71
2	Titik Lembek 5 °C	°C	SNI-06-2434-1991	48	58	49.5
3	Titik Nyala	°C	SNI-06-2433-1991	232	-	320
4	Titik Bakar	°C	SNI-06-2433-1991	-	-	380
5	Kehilangan Berat (dengan TFOT)	%	SNI-06-2440-1991	-	0.4	0.02
6	Kelarutan dalam CCl ₄	%	SNI-06-2438-1991	99	-	99
7	Daktilitas	cm	SNI-06-2432-1991	100	-	> 100
8	Penetrasi setelah TFOT	%	SNI-06-2456-1991	75	-	75.25
9	Berat Jenis	gr/cc	SNI-06-2441-1991	1	-	1.033

a. Pemeriksaan penetrasi aspal

Pengujian ini berdasarkan PA-0301-76, AASHTO T-49-80, ASTM D-5-97 atau SNI-06-2456-1991. Pengujian penetrasi dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah *Thin Film Oven Test* (TFOT). Dari hasil pengujian sebelum TFOT, didapatkan nilai penetrasi sebesar 71 yang menunjukkan aspal termasuk aspal penetrasi 60/70. Nilai penetrasi ini memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan nilai penetrasi aspal pada rentang 60 – 79.

Hasil pemeriksaan penetrasi setelah TFOT didapatkan penurunan angka penetrasi sebesar 75,25% dari penetrasi sebelum TFOT. Nilai ini telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum tahun 2007 yang mensyaratkan nilai penetrasi TFOT untuk aspal Pen 60/70 minimal mengalami penurunan sebesar 75%. Terjadinya penurunan nilai penetrasi

ini disebabkan karena pengaruh pemanasan pada suhu 163°C selama 5 jam pada pengujian TFOT yang mengakibatkan fraksi minyak ringan banyak hilang dalam kandungan aspal. Pengerasan aspal dapat terjadi karena oksidasi, penguapan dan perubahan kimia lainnya. Reaksi kimia dapat mengubah bahan kimia pembentuk aspal yaitu resin menjadi aspalten dan *oils* menjadi resin, yang secara keseluruhan akan meningkatkan viskositas aspal dimana aspal menjadi lebih keras (penetrasi rendah).

b. Pemeriksaan Titik Lembek

Pengujian ini berdasarkan PA-0302-76, AASHTO T-53-81, ASTM D36-95 atau SNI-06-2434-1991. Dari hasil pemeriksaan, didapatkan nilai titik lembek aspal sebesar 49,5, nilai ini telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan titik lembek untuk aspal pen 60/70 sebesar $48^{\circ} - 58^{\circ}\text{C}$.

c. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian ini berdasarkan PA-0303-76, AASHTO T-48-81, ASTM D-92-02 atau SNI-06-2433-1991. Nilai titik nyala dari hasil pemeriksaan aspal pen 60/70 ini adalah sebesar 320°C dan titik bakarnya adalah sebesar 380°C . Nilai titik nyala ini telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan titik nyala untuk aspal pen 60/70 minimum sebesar 232°C .

d. Pemeriksaan Kehilangan Berat

Pengujian ini berdasarkan PA-0304-76, AASHTO T-47-82, ASTM D-6-95 atau SNI-06-2440-1991. Untuk pemeriksaan kehilangan berat ini menggunakan sampel yang sama untuk pemeriksaan penetrasi, yaitu setelah aspal dilakukan TFOT. Hasil pemeriksaan kehilangan berat menunjukkan aspal kehilangan berat sebesar 0,02%, masih jauh di bawah spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan maksimal sebesar 0,4%.

e. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam Karbon Tetraklorida (CCl_4)

Pengujian ini berdasarkan PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-97 atau SNI-06-2438-1991. Nilai pemeriksaan kelarutan

menunjukkan kemurnian aspal dan normalnya bebas dari air. Dari hasil pemeriksaan, didapatkan nilai kelarutan dalam CCl_4 adalah sebesar 99%, masih memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan minimal sebesar 99%.

f. Pemeriksaan Daktilitas

Pengujian ini berdasarkan PA-0306-76, AASHTO T-51-81, ASTM D-113-79. Pada uji daktilitas menggunakan 2 sampel yang disusun sejajar yang diletakkan pada alat penarik dengan kecepatan tarik 5 cm/menit pada suhu 25°C . Berdasarkan hasil uji laboratorium, didapatkan hasil di atas 100 cm, sehingga aspal memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan batas minimum 100 cm.

g. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Pengujian ini berdasarkan PA-0307-76, AASHTO T-228-79, ASTM D-70-03 atau SNI-06-2441-1991. Dari hasil pengujian, didapatkan berat jenis aspal sebesar 1,033 gr/cc, dimana hasil ini telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan batas minimum berat jenis aspal sebesar 1 gr/cc.

Pemeriksaan sifat fisik aspal polimer meliputi penetrasi, titik lembek, titik nyala, titik bakar, dan daktilitas aspal. Aspal yang akan dimodifikasi dengan polimer adalah aspal keras penetrasi 60/70 merk Pertamina yang didapatkan dari AMP PT Widya Sapta Colas (WASCO). Sedangkan polimer yang digunakan sebagai bahan modifikasi adalah styrene-butadiene-styrene (SBS), produk dari LG Chemical Ltd., Korea, juga diperoleh dari AMP PT Widya Sapta Colas (WASCO). Aspal polimer yang akan diuji sifat dasarnya memiliki persentasi polimer sebesar 1% hingga 7% dari berat aspal, agar dapat diketahui sejauh mana penambahan polimer mempengaruhi sifat dasar aspal keras.

Proses pencampuran aspal dan polimer dilakukan secara manual, dengan arti tanpa menggunakan teknologi pencampuran aspal seperti pada industri konstruksi jalan. Dari literatur yang diperoleh, pencampuran aspal dan polimer dilakukan dengan menggunakan *rotary mixer* dengan kecepatan 150 rpm (Chen, et al., 2002) hingga 3000 rpm (Al Hadidy, 2009) dengan suhu

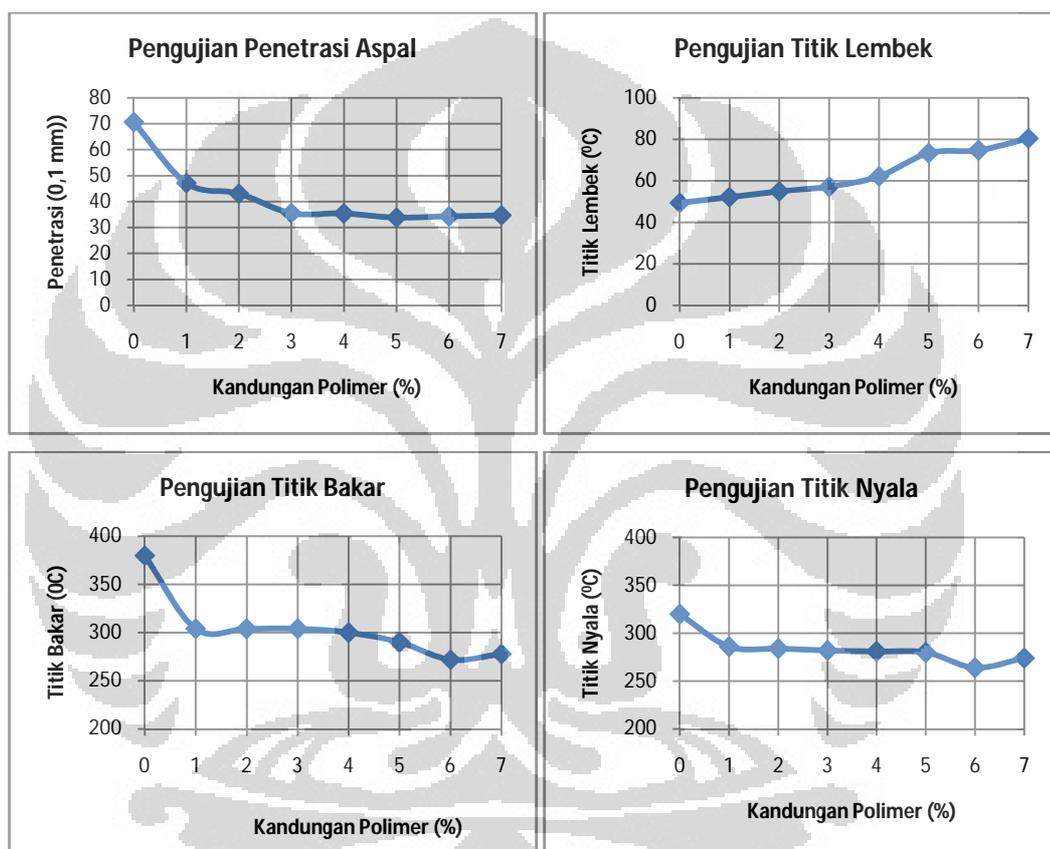
pencampuran antara 150°C – 180°C selama 2 jam. Saat melakukan pencampuran dengan prosedur ini, aspal polimer yang dihasilkan bersifat homogen namun dari hasil uji penetrasi menunjukkan bahwa aspal terlalu keras (penetrasi rendah) akibat proses pemanasan dengan suhu tinggi dan dalam waktu lama yang memungkinkan fraksi minyak dalam malten menguap sehingga rasio aspalten dalam aspal meningkat yang berakibat viskositas meningkat dan aspal menjadi lebih keras. Karena permasalahan ini, proses pencampuran dilakukan selama 20 menit sesuai dengan prosedur yang dikeluarkan *Texas Department of Transportation Designation Tex 533-C*. Tetapi penggunaan prosedur ini menyebabkan hasil campuran aspal polimer yang digunakan tidak homogen yang terlihat pada angka penetrasi yang tidak sama pada setiap titik pengujian, dan jika dilihat dari uji daktilitas akan terlihat butiran-butiran partikel polimer SBS yang masih menggumpal.

Kegagalan pencampuran aspal dan polimer yang dilakukan kemungkinan besar disebabkan karena alat pengaduk yang dipergunakan yang tidak memenuhi prosedur pencampuran, dikarenakan sulitnya untuk memperoleh alat pencampur yang sesuai dengan prosedur dari referensi yang digunakan. Alat *mixer* yang digunakan adalah modifikasi alat *mixer* untuk pembuatan kue dengan merk Maspion dengan 5 variasi kecepatan putar. Pisau *mixer* juga diganti dengan mata *blender* agar putaran pada saat pencampuran membentuk pusaran sehingga polimer yang berbentuk bubuk dapat tercampur secara merata dan homogen dengan aspal.

Dengan kondisi keterbatasan alat dan berdasarkan referensi yang diperoleh dari laporan aplikasi dari Silverson Machines Ltd, dipertimbangkan untuk menyaring polimer SBS terlebih dahulu dengan saringan No.50 ASTM sebelum dilakukan pencampuran dengan suhu 150°C – 180°C selama 20 menit agar didapatkan butiran SBS yang halus sehingga mudah tercampur dengan aspal dan didapatkan aspal polimer yang homogen. Hasil pengujian aspal polimer dijelaskan pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal Polimer

No	Jenis Pemeriksaan	Unit	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan						
			Min	Max	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
1	Penetrasi 25 °C, 100 gr, 5 detik	0,1 mm	50	80	47.2	43.1	35.6	35.5	33.9	34.4	34.8
2	Titik Lembek 5 °C	°C	54	-	52.25	55	57.25	62.25	73.5	74.75	80.5
3	Titik Nyala	°C	225	-	286	284	282	281	280	264	274
4	Titik Bakar	°C	225	-	304	304	304	300	290	272	278
5	Daktalitas	cm	50	-	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Penambahan Polimer terhadap Sifat Fisik Aspal

a. Pemeriksaan penetrasi aspal

Pengujian ini berdasarkan PA-0301-76, AASHTO T-49-80, ASTM D-5-97 atau SNI-06-2456-1991. Dari hasil pengujian terhadap aspal polimer dengan kandungan polimer SBS 1 – 7%, didapatkan nilai penetrasi antara 30 - 50 yang menunjukkan nilai penetrasi ini tidak memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan nilai penetrasi aspal polimer minimum sebesar 50. Namun hal ini tidak menjadi persoalan, karena pada awalnya penambahan

Universitas Indonesia

polimer ini diharapkan dapat menurunkan nilai penetrasi dalam rentang 40 – 60 sehingga aspal polimer tersebut nantinya akan masuk ke dalam spesifikasi aspal keras pen 40/60 standar AASHTO M 20-70-2004. Terjadinya penurunan nilai penetrasi ini kemungkinan besar disebabkan perubahan kimia dalam kandungan aspal yang mengakibatkan pengerasan aspal. Saat pencampuran, fase elastomer dari kopolimer SBS menyerap maltenes (fraksi minyak) dari aspal, sehingga rasio asphaltenes dalam aspal meningkat sehingga viskositas aspal pun meningkat dimana aspal akan menjadi lebih keras atau memiliki penetrasi rendah. Dengan demikian, semakin banyak kandungan polimer SBS dalam aspal, maka akan meningkatkan viskositas dan menyebabkan aspal akan menjadi lebih keras atau penetrasinya menurun.

b. Pemeriksaan Titik Lembek

Pengujian ini berdasarkan PA-0302-76, AASHTO T-53-81, ASTM D-36-95 atau SNI-06-2434-1991. Dari hasil pemeriksaan terhadap titik lembek aspal polimer dengan kandungan polimer SBS 1 – 7%, terlihat bahwa titik lembek semakin meningkat seiring peningkatan jumlah kandungan polimer SBS. Ketika aspal ditambahkan polimer SBS 1%, nilai titik lembeknya meningkat menjadi $52,25^{\circ}\text{C}$ dimana nilai ini masih belum memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan titik lembek untuk aspal polimer (elastomer) minimal 54°C , tetapi untuk penambahan polimer dari 2 – 7%, keseluruhan hasil pemeriksaan titik lembeknya telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Hal ini tidak menjadi persoalan karena pada dasarnya tujuan penggunaan polimer ini adalah meningkatkan titik lembek dan hal tersebut telah tercapai dengan meningkatnya titik lembek dari sebelumnya sebesar $49,5^{\circ}\text{C}$ menjadi $52,5^{\circ}\text{C}$ dan terus meningkat seiring penambahan jumlah kandungan polimer.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan Chen, Liao, dan Tsai pada tahun 2002, penambahan polimer 1% SBS belum membawa pengaruh kuat terhadap perubahan sifat dasar aspal, dalam hal ini titik lembek, karena ikatan yang terjadi antara SBS dan aspal belum terlalu

kuat. Seiring penambahan jumlah kandungan polimer SBS, pada kadar 2 – 4 %, mulai terjadi *cross linking* atau ikatan kimia antara SBS dan aspal, sehingga meningkatkan viskositas dan titik lelehnya pun meningkat secara perlahan, hingga akhirnya terjadi kenaikan yang signifikan pada penambahan polimer dari 4% ke 5% dengan selisih kenaikan hingga 10⁰C.. Kenaikan titik leleh seiring penambahan kandungan polimer pada aspal dapat membuat aspal memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kenaikan suhu.

c. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian ini berdasarkan PA-0303-76, AASHTO T-48-81, ASTM D-92-02 atau SNI-06-2433-1991. Secara keseluruhan, nilai titik nyala dan titik bakar dari hasil pemeriksaan aspal polimer dengan kandungan polimer SBS 1 – 7% telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan titik nyala dan titik bakar untuk aspal polimer (elastomer) minimum sebesar 225⁰C. Dari **Tabel 4.2** dan **Gambar 4.1**, dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah kandungan polimer dalam aspal, maka nilai titik nyala dan titik bakarnya semakin menurun. Hal ini menunjukkan semakin besar penambahan polimer SBS, dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap panas atau temperature tinggi.

d. Pemeriksaan Daktilitas

Pengujian ini berdasarkan PA-0306-76, AASHTO T-51-81, ASTM D-113-79. Berdasarkan hasil uji laboratorium, secara keseluruhan nilai daktilitas dari aspal polimer dengan kandungan polimer SBS 1 – 7% menunjukkan hasil di atas 100 cm, sehingga keseluruhan aspal polimer tersebut telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan batas minimum untuk aspal polimer 50 cm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan polimer SBS selain dapat meningkatkan titik leleh atau kepekaan terhadap temperatur, juga dapat meningkatkan daktilitas atau elastisitas aspal sehingga campuran aspal nantinya akan lebih fleksibel ketika menahan beban lalu lintas.

4.1.2 Hasil dan Analisis Pengujian Agregat

Untuk mengetahui sifat-sifat fisik atau karakteristik agregat kasar, agregat medium dan agregat halus yang akan digunakan dalam perencanaan campuran, maka dilakukan beberapa pengujian dimana hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 4.3**. Agregat yang digunakan berasal dari AMP PT Widya Sapta Colas (WASCO) yang diambil dari *quarry* di daerah Sudamanik, Bogor, Jawa Barat. Pengujian dilakukan berdasarkan kepada *American Society for Testing Material* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Gradasi yang ditinjau berdasarkan pada gradasi Laston Lapis Permukaan (AC – WC) dari spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007. Hasil uji menunjukkan bahwa agregat yang diuji memenuhi persyaratan sebagaimana yang tertera dalam spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Fisik Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Syarat	Hasil	Keterangan
A Agregat Kasar (SNI 03 – 1969 – 1990)					
1	Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2.525	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>saturated surface dry</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2.591	Memenuhi
3	Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2.703	Memenuhi
4	Penyerapan (<i>absorption</i>)	%	< 3	2.6	Memenuhi
B Agregat Medium (SNI 03 – 1969 – 1990)					
1	Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2.52	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>saturated surface dry</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2.59	Memenuhi
3	Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2.71	Memenuhi
4	Penyerapan (<i>absorption</i>)	%	< 3	2.6	Memenuhi
C Agregat Halus (SNI 03 – 1970 – 1990)					
1	Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2.611	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>saturated surface dry</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2.632	Memenuhi
3	Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2.667	Memenuhi
4	Penyerapan (<i>absorption</i>)	%	< 3	0.806	Memenuhi

Selain itu juga dilakukan pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles untuk mengetahui nilai keausannya sesuai dengan SNI 03 – 2417 – 1991. Terdapat 2 tipe agregat yang digunakan untuk pengujian abrasi ini, yaitu tipe B untuk agregat yang tertahan saringan 1/2” dan 3/8” ASTM, dan

Universitas Indonesia

tipe C untuk agregat yang tertahan saringan 1/4” dan No.4 ASTM. Berikut adalah hasil pengujiannya seperti tertera dalam **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Abrasi Agregat

No	Tipe Abrasi	Keausan (%)	Syarat (%)	Keterangan
1	Tipe B (tertahan saringan 1/2” dan 3/8”)	23.32	< 40	Memenuhi
2	Tipe C (tertahan saringan 1/4” dan No. 04)	25.04	< 40	Memenuhi

Pengujian dari sifat-sifat fisik atau karakteristik baik agregat kasar, agregat medium maupun agregat halus seperti terlihat pada **Tabel 4.3** dan **Tabel 4.4** menunjukkan bahwa agregat yang digunakan telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007.

a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan medium

Pengujian ini berdasarkan PB-0202-76, AASHTO T-85-81, ASTM D-127-04 atau SNI 03 – 1969 – 1990. Agregat kasar dan medium berasal dari AMP PT. Widya Sapta Colas yang diambil dari *quarry* di daerah Sudamanik, Bogor, Jawa Barat. Untuk pengujian agregat kasar, memakai agregat yang lolos saringan 3/4” atau berdiameter sekitar 19,1 mm sedangkan untuk agregat medium memakai agregat lolos saringan 1/2” atau berdiameter sekitar 12,7 mm. Dengan mengacu pada spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum tahun 2007, maka pengujian berat jenis yang dilakukan pada agregat kasar dan agregat medium didapat nilai-nilai berat jenis curah (*bulk specific gravity*) yang diperoleh untuk agregat kasar sebesar 2,525 gr/cm³ dan agregat medium sebesar 2,52 gr/cm³. Nilai ini memenuhi dari spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan berat jenis curah (*bulk specific gravity*) agregat kasar dan agregat medium minimum sebesar 2,5 gr/cm³. Sedangkan untuk berat jenis semu (*apparent specific gravity*) untuk agregat kasar sebesar 2,703 gr/cm³ dan untuk agregat medium sebesar 2,71 gr/cm³. Nilai ini juga memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan berat jenis semu

(*apparent specific gravity*) agregat kasar dan agregat medium minimum sebesar $2,5 \text{ gr/cm}^3$.

Untuk pemeriksaan penyerapan air (*absorption*) nilai yang diperoleh untuk agregat kasar dan medium masing-masing sebesar 2,6% dan 2,6%. Nilai absorpsi ini memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan penyerapan air oleh agregat baik kasar maupun medium yaitu maksimum sebesar 3%. Semakin besar persentase nilai penyerapan air, maka semakin banyak air yang dapat terserap oleh agregat tersebut. Nilai penyerapan air bergantung pada luas permukaan agregat dan banyaknya pori di dalam agregat itu sendiri.

b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pengujian ini berdasarkan PB-0203-76, AASHTO T-84-81, ASTM D-128-04 atau SNI 03 – 1970 – 1990. Agregat halus juga berasal dari AMP PT. Widya Sapta Colas yang diambil dari *quarry* di daerah Sudamanik, Bogor, Jawa Barat. Dari hasil pengujian didapatkan nilai berat jenis curah berat jenis curah (*bulk specific gravity*) untuk agregat halus sebesar $2,611 \text{ gr/cm}^3$, lebih besar dari spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan minimum yaitu sebesar $2,5 \text{ gr/cm}^3$. Begitu juga berat jenis semu (*apparent specific gravity*), didapatkan sebesar $2,667 \text{ gr/cm}^3$ dan memenuhi persyaratan dari spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007. Sedangkan untuk pemeriksaan penyerapan air untuk agregat halus didapatkan sebesar 0,806% berada di bawah batas maksimum menurut spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu sebesar 3%.

c. Pemeriksaan Ketahanan Terhadap Abrasi dengan Mesin Los Angeles

Pengujian ini mengacu pada SNI 03 – 2417 – 1991 untuk mengetahui nilai kekerasan dari agregat kasar. Kekerasan dari agregat kasar diukur dengan mesin Abrasi Los Angeles dimana nilai yang diperoleh dari pengujian tersebut adalah sebesar 23,32% untuk gradasi tipe B dan 25,04% untuk gradasi tipe C. Nilai abrasi ini memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan

maksimal nilai abrasi sebesar 40% untuk agregat kasar. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa agregat ini mempunyai nilai keausan yang cukup kuat sehingga tidak akan mudah pecah selama pemadatan atau akibat pengaruh beban lalu lintas. Agregat dengan nilai keausan yang cukup kuat tidak merubah gradasi yang direncanakan karena agregat kasar tidak menjadi butiran yang lebih halus.

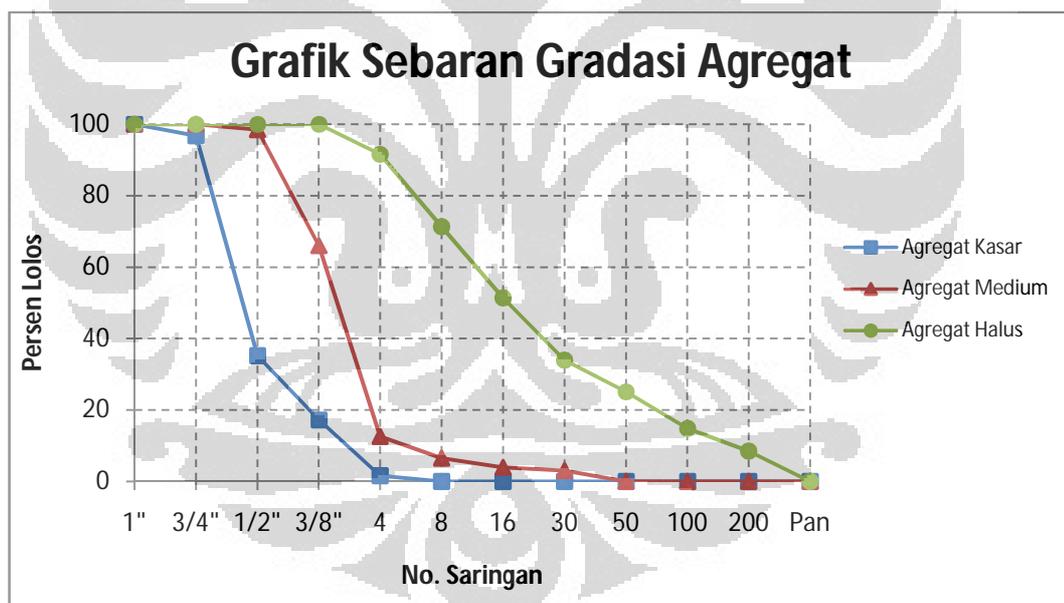
d. Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar, Medium dan Halus

Pengujian analisis saringan agregat kasar, medium dan halus ini mengacu pada PB-0201-76, AASHTO T-27-82, ASTM D-136-04. Berikut ini adalah hasil analisis saringan ketiga jenis agregat tersebut seperti dijelaskan pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Data Analisis Saringan Agregat Kasar, Medium dan Halus

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Jumlah Persen (%) Tertahan	Lewat
Agregat Kasar				
1"	25.4	0	0	100
¾"	19.1	197	3.21	96.79
½"	12.7	3783	61.58	35.21
3/8"	9.52	1100	17.91	17.3
No. 4	4.76	962	15.66	1.64
Pan		101	1.64	0
Total		6143	100	
Agregat Medium				
½"	12.7	101	1.58	98.42
3/8"	9.52	2075	32.45	65.97
No. 4	4.76	3413	53.38	12.59
No. 8	2.38	389	6.08	6.51
No.16	1.19	160	2.5	4
No.30	0.59	62	0.97	3.03
Pan		194	3.03	0
Total		6394	100	
Agregat Halus				
No. 4	4.76	228	8.40	91.60
No. 8	2.38	552	20.34	71.26
No.16	1.19	540	19.90	51.36
No.30	0.59	473	17.43	33.94
No. 50	0.279	238	8.77	25.17
No. 100	0.149	281	10.35	14.81
No. 200	0.074	171	6.30	8.51
Pan		231	8.51	0
Total		2714	100	

Dari hasil analisis saringan seperti tertera pada **Tabel 4.5** di atas, dapat dilihat pada analisis saringan untuk agregat kasar, sebanyak 96,79% dari total berat sampel agregat kasar lolos saringan $\frac{3}{4}$ " atau 19,1 mm atau tertahan sebanyak 3,21%. Agregat kasar sebagian besar tertahan saringan $\frac{1}{2}$ " dan lolos sebanyak 35,21 %. Pada agregat medium, agregat sebagian besar tertahan pada saringan no. 4 yaitu sebesar 53,38%, diikuti tertahan pada saringan $\frac{3}{8}$ " sebesar 32,45%. Pada saringan $\frac{1}{2}$ ", agregat medium lolos saringan sebanyak 98,42% dari total berat sampel agregat medium. Sedangkan pada agregat halus, persebaran agregat cukup merata dengan tiga saringan mendominasi persebaran yaitu pada saringan no.8, saringan no.16 dan saringan 30 masing-masing tertahan sebesar 20,34%, 19,90%, dan 17,43%. Sedangkan sisanya tertahan saringan no.4, no.50, no.100 dan no.200 masing-masing sebesar 8,4%, 8,77%, 10,35% dan 6,3%.



Gambar 4.2 Grafik Sebaran Gradasi Agregat Hasil Analisis Saringan

4.1.3 Hasil dan Analisis Pengujian Air Rob

Air rob dalam penelitian ini digunakan sebagai media perendaman sampel benda uji dimana air ini berasal dari banjir rob yang terjadi di Muara Baru Jakarta Utara pada tanggal 20 Januari 2011. Air rob disimpan dalam kotak plastik dan ditutup rapat-rapat untuk mencegah penguapan yang dapat meningkatkan kadar garam dalam air rob tersebut. Air rob diuji kandungannya di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Departemen Teknik Sipil FTUI dan Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPAUI. Berikut adalah hasil pengujian kandungan air rob yang tertera pada **Tabel 4.6**:

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kandungan Air Rob

No.	Parameter Pemeriksaan	Satuan	Hasil Analisis
1	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	38
2	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	1236
3	Klorida (Cl)	mg/L	9550
4	Sulfat (SO ₄)	mg/L	2000
5	Kadar garam/salinitas (NaCl)	g/L	22.58
6	pH		7.15

Untuk membandingkan kandungan air rob dan air laut, dilakukan juga pengujian air laut yang diambil di kawasan Pantai Ancol, Taman Impian Jaya Ancol, Jakarta Utara. Berikut adalah hasil pengujian kandungan air laut yang tertera pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kandungan Air Laut

No.	Parameter Pemeriksaan	Satuan	Hasil Analisis
1	Klorida (Cl)	mg/L	11666
2	Sulfat (SO ₄)	mg/L	1666
3	pH		7.16

Dari hasil pengujian tersebut, dapat dilihat bahwa kandungan air rob menunjukkan hasil yang berbeda dengan air laut. Dilihat dari kadar garam/salinitas, kandungan garam air rob yang diambil sebesar 2,25 %, berbeda dengan kandungan garam air laut pada umumnya, yaitu sekitar 3 – 3,5 % (<http://www.ilmukelautan.com/oseanografi/kimia-oseanografi/412-salinitas-air-laut>). Hal ini disebabkan karena air rob merupakan air laut yang

tertumpah atau menggenangi daratan, sehingga tentunya air rob tersebut sudah tercampur dengan material/zat yang berada di daratan atau telah bercampur air tawar sehingga kadar garamnya berkurang. Selain itu, dapat dilihat juga kandungan klorida juga lebih besar dari air laut dibandingkan dengan air rob, sedangkan untuk kandungan sulfat, lebih rendah air laut dibanding air rob. Untuk kadar keasaman atau pH, tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan, sehingga dapat dikatakan air laut dan air rob memiliki tingkat keasaman yang sama. Dari hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa air rob memiliki kandungan yang berbeda dengan air laut karena air rob telah bercampur dengan zat lain yang berada di daratan.

4.2 Perumusan Campuran Benda Uji Marshall

Penentuan atau perumusan proporsi agregat dibuat dari data hasil analisis butiran masing-masing agregat yang tertahan di masing-masing saringan. Jenis campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran laston lapis permukaan (AC-WC) dengan gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi menerus menggunakan kelas IV menurut SNI 03-1737-1989. **Tabel 4.8** menunjukkan komposisi sebaran agregat yang digunakan untuk kelas IV.

Tabel 4.8 Distribusi Agregat dengan Gradasi Menerus

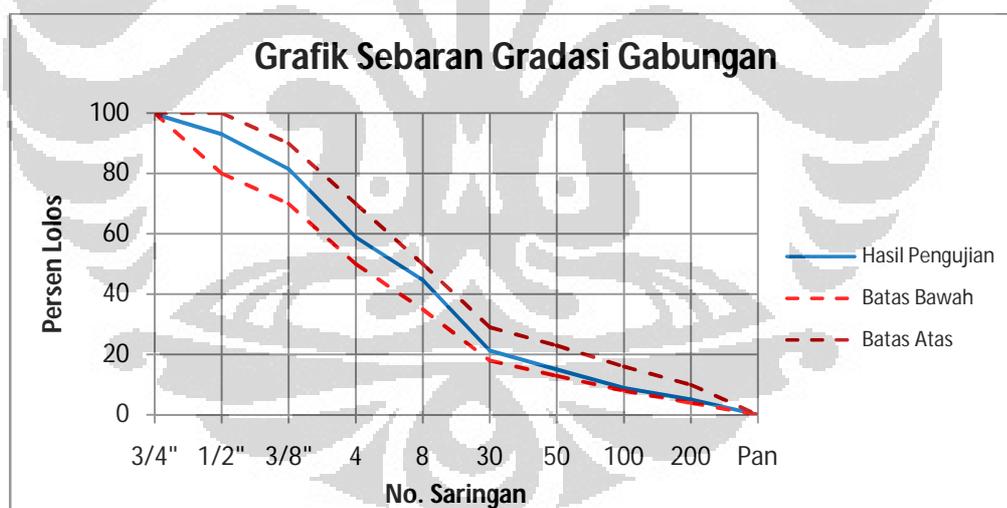
No.Campuran	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Gradasi/Tekstur	Kasar	Kasar	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat
Tebal Padat (mm)	20 - 40	25-50	20-40	25-50	40-65	50-75	40-50	20-40	40-65	40-65	40-50
Ukuran Saringan	% berat yang lolos saringan										
1 1/2"	38,1mm	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
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
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
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
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
No.30	0,59 mm	10-22	10-22	18-29	18-29	18-29	24-36	26-38	28-40	20-35	13-28
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
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

Sumber: SNI 03-1737-1989

Dari hasil analisis saringan dan disesuaikan dengan sebaran gradasi menerus untuk kelas IV, didapatkan persentasi masing-masing agregat yaitu agregat kasar sebesar 10%, agregat medium sebesar 30%, dan agregat halus sebesar 60%. Persentase tiap agregat ini yang kemudian dikalikan dengan persen lolos saringan untuk tiap jenis agregat tersebut. Perincian persentase gradasi agregat untuk campuran Laston Lapis Permukaan pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9 Persentase Agregat untuk Laston Kelas IV

Saringan No	Agregat Kasar		Agregat Medium		Agregat Halus		Total (%)	Spek IV
	100%	10%	100%	30%	100%	60%		
3/4"	96.79	9.679	100	30	100	60	99.679	100
1/2"	35.21	3.521	98.42	29.526	100	60	93.047	80 - 100
3/8"	17.3	1.73	65.97	19.791	100	60	81.521	70 - 90
4	1.64	0.164	12.59	3.777	91.6	54.96	58.901	50 - 70
8			6.51	1.953	71.26	42.756	44.709	35 - 50
30			3.03	0.909	33.94	20.364	21.273	18 - 29
50					25.17	15.102	15.102	13 - 23
100					14.81	8.886	8.886	8 - 16
200					8.51	5.106	5.106	4 - 10



Gambar 4.3 Grafik Persentase Agregat Campuran Laston Kelas IV

Dari **Tabel 4.9** dapat dilihat bahwa persentase agregat sudah memenuhi spesifikasi yang direncanakan atau berada di antara batas atas dan batas bawah persentase yang ditentukan. Dari **Gambar 4.3** juga terlihat persentase sebaran agregat yang direncanakan tidak ada yang keluar dari batas atas dan batas bawah yang ditentukan pada Laston kelas IV. Dengan diperolehnya persentase agregat

kasar, medium, dan halus tersebut maka perlu dihitung pula komposisi berat masing-masing agregat dari berat total campuran sebesar 1200 gram.

Pada penelitian ini, seperti telah dibahas pada bab metodologi penelitian bahwa jumlah sampel yang dibutuhkan untuk mencari kadar aspal ideal sebanyak 60 buah dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dan kandungan polimer 0%, 1%, 2% dan 3%. Komposisi berat aspal dan agregat untuk pembuatan benda uji dijelaskan pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Komposisi Campuran Aspal

No	Kadar Aspal (%)	Kadar Agregat (%)	Berat Total Campuran (gr)	Berat Total Aspal (gr)	Berat Total Agregat (gr)	Berat Agregat (gr)		
						Kasar 10%	Medium 30%	Halus 60%
1	5.0	95		60	1140	114	342	684
2	5.5	94.5		66	1134	113.4	340.2	680.4
3	6.0	94	1200	72	1128	112.8	338.4	676.8
4	6.5	93.5		78	1122	112.2	336.6	673.2
5	7.0	93		84	1116	111.6	334.8	669.6

Sampel benda uji dibuat dengan metode Marshall. Temperatur pencampuran aspal dan agregat adalah temperatur pada saat aspal mempunyai viskositas kinematis sebesar 170 ± 20 centistokes, dan temperatur pemadatan adalah temperatur pada saat aspal mempunyai nilai viskositas kinematis sebesar 280 ± 30 centistokes. Karena tidak dilakukan pengujian viskositas kinematik aspal maka secara umum ditentukan suhu pencampuran berkisar antara 145°C - 155°C , sedangkan suhu pemadatan antara 110°C - 135°C untuk campuran aspal non polimer. Sedangkan untuk benda uji yang menggunakan polimer suhu pencampuran dan pemadatan mengacu pada penelitian sebelumnya sebesar 180°C dan 170°C (Awanti, Amarnath, Veeraragavan, 2008). Pemadatan dilakukan dengan penumbukkan sebanyak 2 x 75 kali, dengan menggunakan alat *marshall compaction hammer*.

4.3 Pengujian Campuran Dengan Variasi Kadar Aspal Dan Polimer

Sebelum diuji dengan alat Marshall, dilakukan pengukuran fisik terhadap sampel untuk masing-masing persentase kadar aspal dan variasi kandungan polimer. Sampel diuji dengan menggunakan alat Marshall sesuai dengan metode standar yaitu sampel direndam dalam waterbath pada suhu 60⁰ C selama 30 menit.

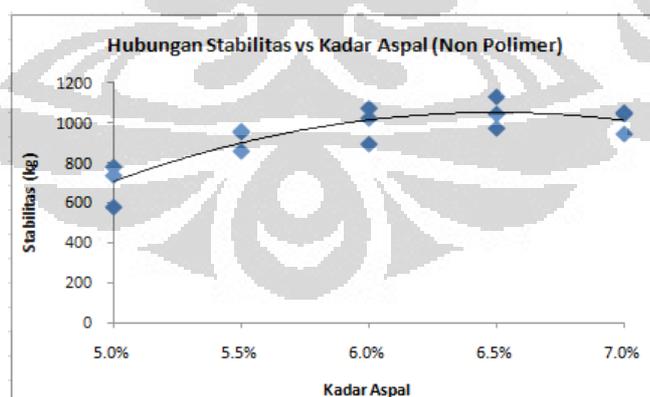
4.3.1 Campuran Aspal Non Polimer (AC-WC)

Data volumetrik dan empiris campuran didapatkan dari hasil uji marshall. Data volumetrik berupa nilai *void in mixture* (VIM) dan *Void in Mineral Aggregate* (VMA), sedangkan nilai empiris berupa nilai stabilitas, kelelahan (*flow*) dan *marshall quotient* (MQ). Berikut adalah analisis hasil pengujian marshall pada campuran aspal non polimer:

a. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas

Tabel 4.11 Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas

Karakteristik	No	Spek (kg)	Kadar Aspal (%)				
			5	5.5	6	6.5	7
Stabilitas Marshall (kg)	1	> 800	778.06	855.48	1020.30	1046.84	945.78
	2	> 800	733.01	954.39	1073.78	1128.28	1046.22
	3	> 800	575.23	956.52	891.95	974.70	1051.12
	Δ	> 800	695.43	922.13	995.34	1049.94	1014.37



Gambar 4.4 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas

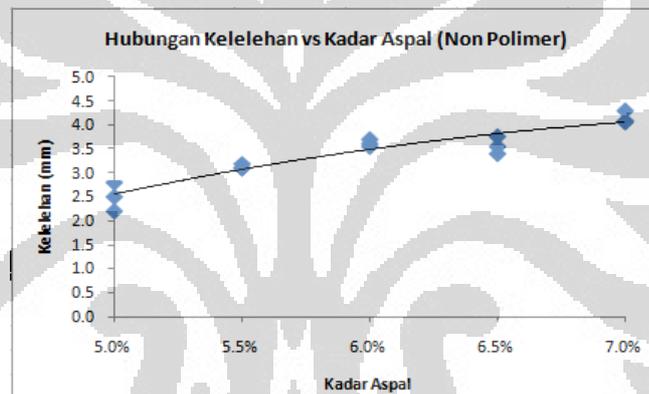
Pada **Gambar 4.4** dapat dilihat bahwa nilai stabilitas campuran aspal meningkat seiring peningkatan kadar aspal hingga mencapai titik optimalnya dan kemudian cenderung menurun. Nilai stabilitas pada kadar aspal 5,5% masih di bawah spesifikasi Departemen Pekerjaan

Umum 2007 yang menetapkan persyaratan minimal sebesar 800 kg, sedangkan untuk kadar aspal 5,5 – 7% telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Nilai marshall maksimum adalah 1128,28 kg dengan kadar aspal 6,5%.

b. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelehan (*flow*)

Tabel 4.12 Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelehan

Karakteristik	No	Spek (mm)	Kadar Aspal (%)				
			5	5.5	6	6.5	7
Kelelehan (mm)	1	> 3	2.8	3.1	3.55	3.55	4.3
	2	> 3	2.5	3.2	3.6	3.4	4.1
	3	> 3	2.2	3.1	3.7	3.75	4.05
	Δ	> 3	2.50	3.13	3.62	3.57	4.15



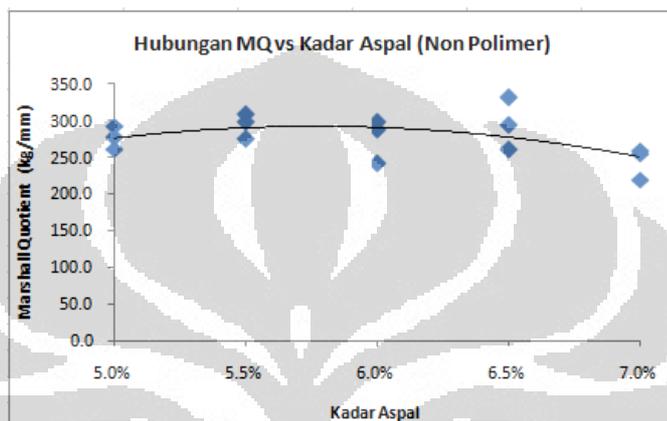
Gambar 4.5 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelehan

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai kelelehan campuran aspal meningkat seiring peningkatan kadar aspal. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya kadar aspal, campuran menjadi semakin plastis. Sesuai sifat aspal sebagai bahan pengikat, maka semakin banyak aspal menyelimuti batuan semakin baik ikatan antara agregat dengan aspal yang menyebabkan nilai *flow* menjadi tinggi. Secara keseluruhan, hanya kadar aspal 5,5% saja yang tidak memenuhi persyaratan nilai kelelehan yang ditetapkan minimal sebesar 3 mm.

c. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai *Marshall Quotient* (MQ)

Tabel 4.13 Kadar Aspal terhadap Nilai *Marshall Quotient*

Karakteristik	No	Spek (mm)	Kadar Aspal (%)				
			5	5.5	6	6.5	7
Marshall Quotient (kg/mm)	1	> 250	277.88	275.96	287.41	294.89	219.95
	2	> 250	293.20	298.25	298.27	331.85	255.18
	3	> 250	261.47	308.55	241.07	259.92	259.54
	Δ	> 250	277.52	294.25	275.58	295.55	244.89



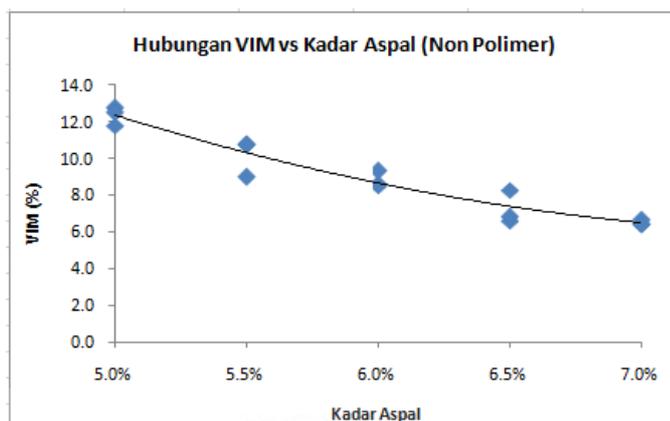
Gambar 4.6 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai *Marshall Quotient*

Nilai MQ merupakan hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan campuran dimana nilai ini merupakan indikator kekakuan dari campuran aspal. Berdasarkan **Gambar 4.6** dapat terlihat bahwa nilai MQ cenderung naik dengan peningkatan kadar aspal hingga pada kadar aspal 6% dan kemudian menurun dengan makin banyaknya kadar aspal dalam campuran. Secara keseluruhan, nilai MQ ini telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum yang menetapkan persyaratan minimal sebesar 250 kg/mm.

d. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai *Void in Mixture* (VIM)

Tabel 4.14 Kadar Aspal terhadap Nilai *Void in Mixture*

Karakteristik	No	Spek (%)	Kadar Aspal (%)				
			5	5.5	6	6.5	7
VIM (%)	1	3.5 - 5.5	11.81	10.77	8.56	8.29	6.64
	2	3.5 - 5.5	12.76	8.99	8.54	6.61	6.40
	3	3.5 - 5.5	12.53	10.79	9.31	6.83	6.45
	Δ	3.5 - 5.5	12.37	10.19	8.80	7.24	6.50



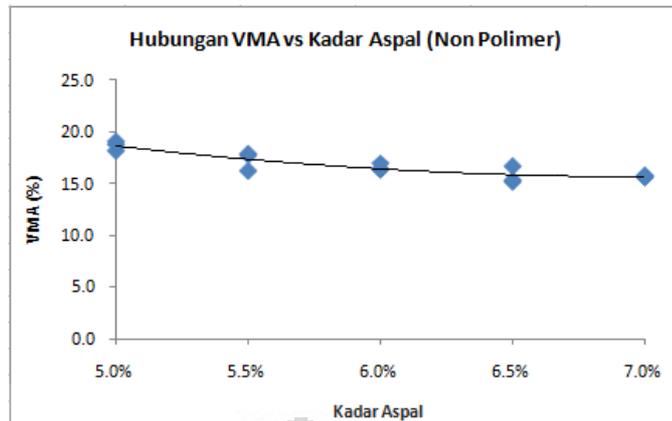
Gambar 4.7 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai *Void in Mixture*

Pada **Gambar 4.7** dapat terlihat bahwa nilai rongga dalam campuran (VIM) menurun seiring peningkatan kadar aspal dalam campuran. Hal ini disebabkan karena makin banyak kadar aspal atau jumlah aspal dalam campuran, aspal tersebut akan makin banyak mengisi rongga-rongga dan menyelimuti agregat sehingga rongga yang tersisa dalam campuran semakin sedikit. Terlihat dari **Tabel 4.14** bahwa seluruh nilai VIM tidak memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan syarat maksimal untuk nilai VIM sebesar 5,5%, tetapi hasil pengujian menunjukkan nilai VIM berada di atas nilai tersebut. Hal ini kemungkinan besar diakibatkan suhu pada saat pencampuran yang terlalu tinggi, sehingga aspal yang terserap lebih banyak dibandingkan yang menyelimuti agregat. Selain itu juga kemungkinan disebabkan fluktuasi suhu pada saat pemadatan yang mengakibatkan aspal kurang menyelimuti agregat dengan sempurna.

e. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai *Void in Mineral Aggregate*

Tabel 4.15 Kadar Aspal terhadap Nilai *Void in Mineral Aggregate*

Karakteristik	No	Spek (%)	Kadar Aspal (%)				
			5	5.5	6	6.5	7
VMA (%)	1	> 15	18.18	17.81	16.37	16.72	15.82
	2	> 15	19.06	16.17	16.35	15.19	15.60
	3	> 15	18.84	17.83	17.06	15.39	15.65
	Δ	> 15	18.69	17.27	16.59	15.77	15.69



Gambar 4.8 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai *Void in Mineral Aggregate*

Pada **Gambar 4.8** terlihat bahwa semakin besar kadar aspal, nilai VMA cenderung menurun sampai nilai minimal, kemudian naik lagi dengan naiknya kadar aspal dalam campuran. Secara keseluruhan, nilai VMA ini telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum yang menetapkan persyaratan minimal sebesar 15%.

4.3.2 Campuran Aspal Modifikasi Polimer (*ACWC- Modified*)

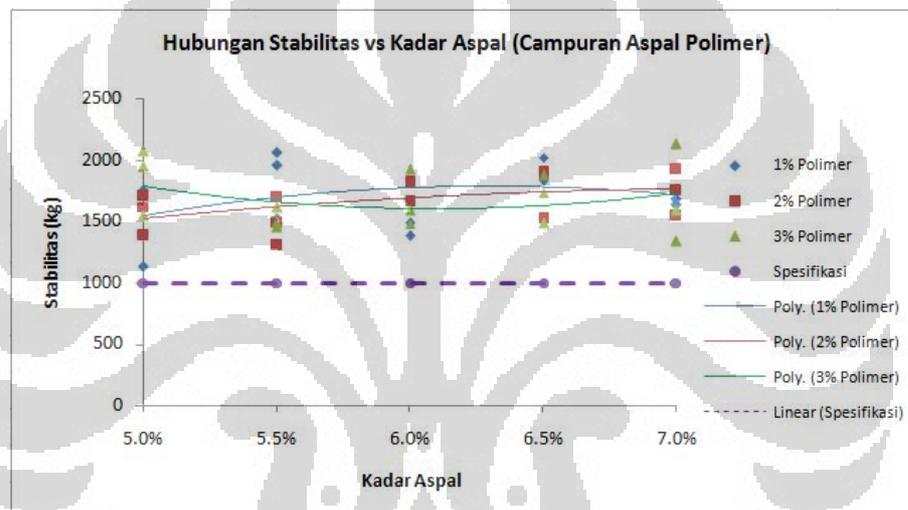
Pada campuran aspal modifikasi polimer, digunakan 3 variasi campuran yang berbeda berdasarkan kandungan polimernya yaitu dengan kadar 1%, 2% dan 3%, dimana masing-masing variasi tersebut juga terdiri dari 5 variasi kadar aspal. Berikut adalah analisis hasil pengujian marshall pada campuran aspal polimer:

a. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas

Dari hasil uji marshall, secara keseluruhan nilai stabilitas pada pada semua campuran aspal modifikasi polimer telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan minimal sebesar 1000 kg seperti terlihat pada **Tabel 4.16**. Pada grafik yang ditunjukkan **Gambar 4.9** juga terlihat bahwa nilai stabilitas berada di atas *trendline* spesifikasi yang telah ditetapkan.

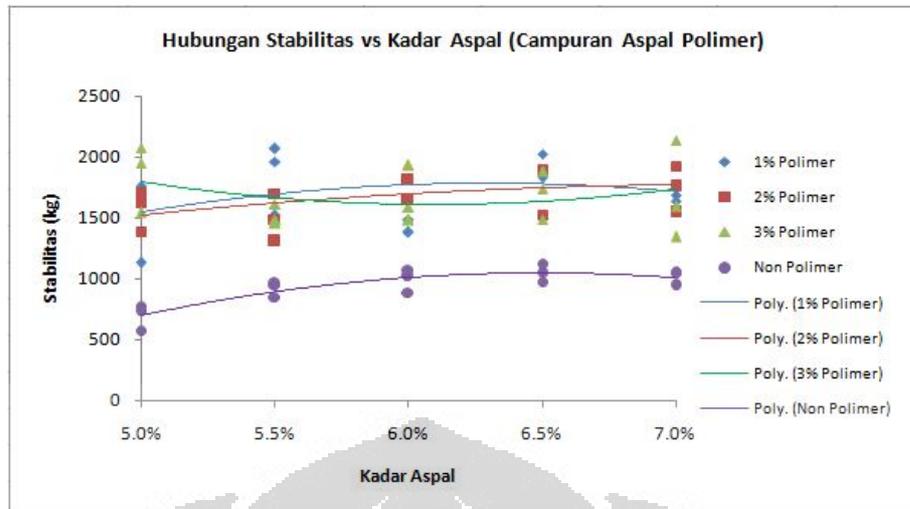
Tabel 4.16 Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas

Campuran Polimer	Spek (kg)	Kadar Aspal (%)				
		5	5.5	6	6.5	7
1%	> 1000	1756.45	2065.20	1380.82	1857.59	1680.22
	> 1000	1619.65	1961.69	1489.10	1831.14	1636.69
	> 1000	1131.12	1519.50	1817.86	2023.32	1744.25
2%	> 1000	1712.26	1699.07	1822.25	1526.55	1755.71
	> 1000	1387.11	1485.33	1660.77	1900.79	1544.33
	> 1000	1620.52	1309.85	1810.51	1885.22	1923.41
3%	> 1000	1950.78	1490.79	1588.92	1488.66	1343.49
	> 1000	1543.69	1456.50	1482.93	1881.27	2136.80
	> 1000	2069.78	1611.49	1929.44	1736.12	1591.97



Gambar 4.9 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas

Pada **Gambar 4.9** terlihat bahwa pada *trend line* campuran aspal dengan kandungan polimer 1% dan 2%, semakin besar kadar aspal dalam campuran maka nilai stabilitasnya makin meningkat dan kemudian turun ketika kadar aspal makin bertambah. Tetapi pada kandungan polimer 3% menunjukkan hasil yang berbeda dimana pada kadar aspal 5% nilai stabilitasnya telah menunjukkan nilai stabilitas yang tinggi yaitu rata-rata sekitar 1854 kg, kemudian turun pada kadar aspal 6% dan naik lagi pada kadar aspal 6,5% seiring penambahan kadar aspal. Fluktuasi suhu pada saat pencampuran dan pemadatan menjadi penyebab perbedaan data hasil pengujian selain kekurangakuratan dalam pembacaan dial nilai stabilitas pada saat pengujian marshall.



Gambar 4.10 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas

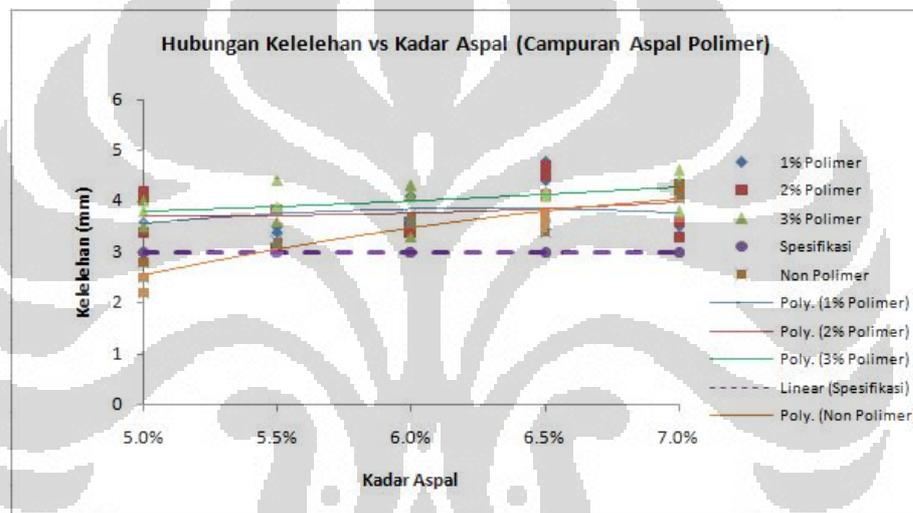
Pada **Gambar 4.10** di atas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas campuran aspal polimer jauh lebih tinggi dibandingkan campuran aspal non polimer, terlihat dari *trendline* campuran aspal polimer yang berada jauh di atas *trendline* campuran aspal non polimer. Hal ini dikarenakan aspal polimer memiliki viskositas yang lebih tinggi dibanding aspal non polimer, sehingga memiliki kohesi yang lebih kuat dan menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi.

b. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelahan (*Flow*)

Dari hasil uji marshall, secara keseluruhan nilai kelelahan pada pada semua campuran aspal modifikasi polimer telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan minimal sebesar 3 mm seperti terlihat pada **Tabel 4.17**. Pada grafik yang ditunjukkan **Gambar 4.11** juga terlihat nilai stabilitas pada semua campuran aspal modifikasi polimer berada di atas *trendline* spesifikasi yang telah ditetapkan.

Tabel 4.17 Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelehan

Campuran Polimer	Spek (mm)	Kadar Aspal (%)				
		5	5.5	6	6.5	7
1%	> 3	3.40	3.50	3.50	4.80	3.70
	> 3	3.60	3.40	3.50	3.60	3.60
	> 3	4.10	3.80	4.10	4.40	3.50
2%	> 3	4.20	3.80	3.40	4.70	3.30
	> 3	4.00	3.80	3.40	4.10	3.60
	> 3	3.40	3.10	3.60	4.50	4.30
3%	> 3	3.50	3.60	4.10	4.20	3.80
	> 3	3.80	4.40	3.30	4.10	4.60
	> 3	4.00	3.90	4.30	4.20	4.40



Gambar 4.11 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelehan

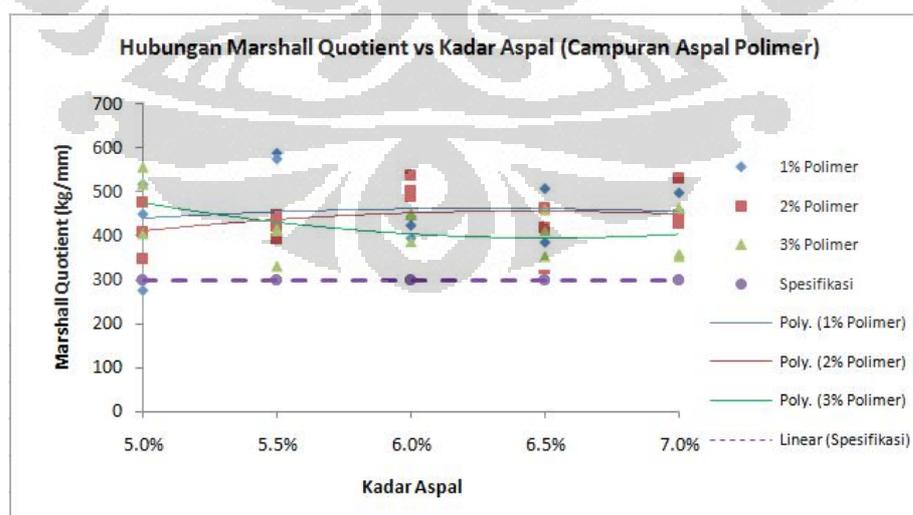
Pada grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.11**, terlihat bahwa *trendline* nilai kelelehan campuran aspal polimer secara keseluruhan (kandungan polimer 1% s/d 3%) meningkat seiring peningkatan kadar aspal. Tetapi kenaikan atau kemiringan kurva pada campuran aspal polimer ini tidak setajam seperti pada campuran aspal non polimer, dimana terlihat *trendline* pada grafik memiliki kemiringan kurva lebih tajam (**Gambar 4.11**). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan kadar aspal pada campuran aspal polimer tidak memberikan dampak perubahan yang signifikan terhadap nilai kelelehan. Hal ini kemungkinan disebabkan karena gaya tarik menarik atau kohesi aspal polimer yang lebih tinggi dari aspal non polimer sehingga campuran lebih lentur ketika diberikan beban.

c. **Pengaruh Kadar Aspal terhadap Marshall Quotient (MQ)**

Pada **Tabel 4.18** terlihat secara keseluruhan nilai *marshall quotient* pada pada semua campuran aspal modifikasi polimer telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan minimal sebesar 300 kg/mm, meskipun terdapat satu nilai MQ pada campuran polimer 1% dengan kadar aspal 5% yang tidak memenuhi dengan nilai MQ sebesar 275,88 kg/mm. Pada grafik yang ditunjukkan **Gambar 4.12** juga terlihat nilai stabilitas pada semua campuran aspal modifikasi polimer berada di atas *trendline* spesifikasi yang telah ditetapkan.

Tabel 4.18 Kadar Aspal terhadap Nilai Marshall Quotient

Campuran Polimer	Spek (kg/mm)	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
1%	> 300	516.60	590.06	394.52	387.00	454.11
	> 300	449.90	576.97	425.46	508.65	454.64
	> 300	275.88	399.87	443.38	459.85	498.36
2%	> 300	407.68	447.12	535.95	324.80	532.03
	> 300	346.78	390.88	488.46	463.61	428.98
	> 300	476.62	422.53	502.92	418.94	447.30
3%	> 300	557.37	414.11	387.54	354.44	353.55
	> 300	406.23	331.02	449.37	458.85	464.52
	> 300	517.44	413.20	448.71	413.36	361.81



Gambar 4.12 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Marshall Quotient

Pada grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.12**, dapat terlihat bahwa nilai MQ pada campuran aspal polimer 1% dan 2% cenderung naik dengan peningkatan kadar aspal dan kemudian menurun dengan makin banyaknya kadar aspal dalam campuran. Namun berbeda dengan campuran dengan kadar polimer 3% dimana nilai MQ memiliki kurva yang berkebalikan dengan campuran aspal dengan kadar polimer 1% dan 2%. Hal ini disebabkan karena nilai stabilitas yang didapatkan pada campuran aspal dengan polimer 3%, pada kadar aspal 5% telah menunjukkan grafik stabilitas yang tinggi dan kemudian turun dan naik kembali seiring dengan penambahan kadar aspal. Karena nilai MQ merupakan hasil bagi antara stabilitas dan keelehan, maka grafik MQ pun akan sebanding dengan grafik stabilitas dan berbanding terbalik dengan keelehan.

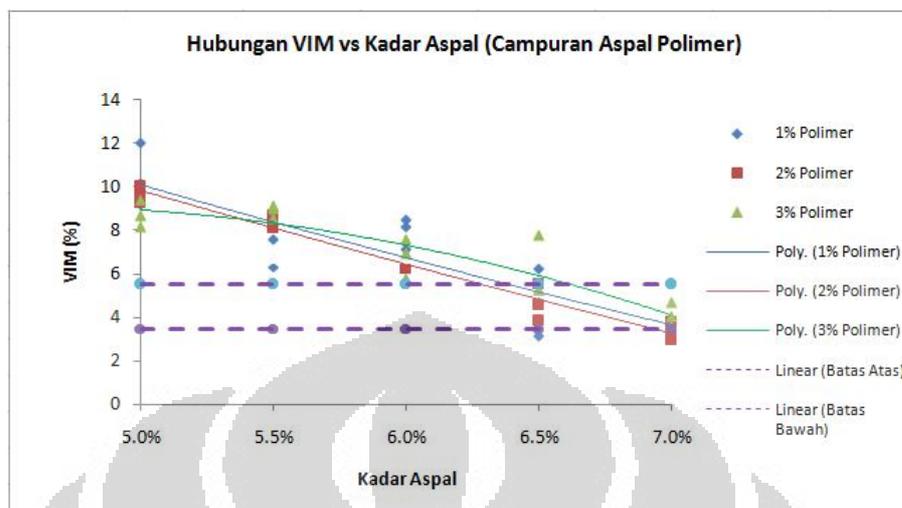
d. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Void in Mixture* (VIM)

Tabel 4.19 Kadar Aspal terhadap Nilai *Void in Mixture*

Campuran Polimer	Spek (%)	Kadar Aspal (%)				
		5	5.5	6	6.5	7
1%	3.5 - 5.5	9.19	6.33	8.51	3.15	3.91
	3.5 - 5.5	10.14	7.61	8.16	4.72	3.64
	3.5 - 5.5	12.01	8.23	7.11	6.21	3.70
2%	3.5 - 5.5	9.71	8.09	6.27	5.53	3.46
	3.5 - 5.5	10.02	8.64	6.39	3.86	3.77
	3.5 - 5.5	9.29	8.68	6.32	4.59	2.98
3%	3.5 - 5.5	8.18	8.53	7.58	7.76	4.04
	3.5 - 5.5	9.39	9.03	6.92	5.27	4.67
	3.5 - 5.5	8.66	9.15	5.76	5.26	3.63

Pada **Gambar 4.13** disajikan grafik hubungan perubahan kadar aspal terhadap rongga dalam campuran (VIM). *Trendline* yang terdapat pada grafik menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal pada campuran aspal polimer (kandungan polimer 1% s/d 3%) menyebabkan nilai VIM campuran semakin menurun. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya kadar aspal maka akan menyebabkan jumlah aspal yang menyelimuti

agregat menjadi lebih banyak, sehingga mengurangi rongga dalam campuran dan campuran akan menjadi lebih mampat.



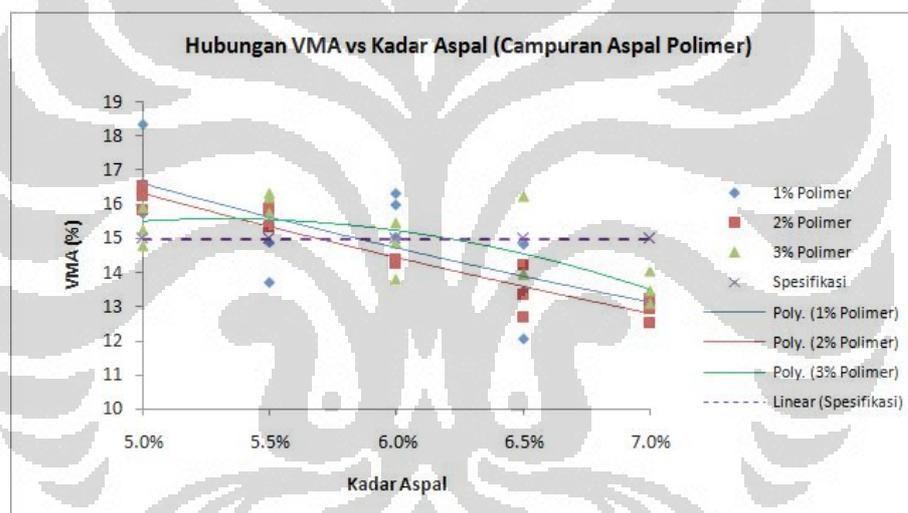
Gambar 4.13 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai Void in Mixture

Pada **Gambar 4.13** juga terlihat bahwa nilai VIM pada kadar aspal 5% s/d 6% tidak memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan nilai VIM dengan nilai rentang sebesar 3,5% – 5,5%. Pada **Tabel 4.19** terlihat nilai VIM yang tidak memenuhi spesifikasi ditandai dengan angka berwarna merah, sedangkan warna hitam adalah nilai VIM yang telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007. Dari tabel tersebut terlihat hanya pada kadar aspal 6,5% dan 7% saja nilai VIM memenuhi spesifikasi atau berada di antara batas atas dan batak bawah yang ditentukan. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar aspal yang rendah, terdapat masih banyak rongga yang belum menyelimuti agregat dan aspal belum mampu mengisi rongga dengan optimal. Hal ini kemungkinan disebabkan karena viskositas aspal polimer yang lebih tinggi sehingga ketika pencampuran membutuhkan suhu yang lebih tinggi agar lebih encer dan mudah dalam menyelimuti agregat, tetapi sebaliknya ketika suhu tersebut tidak tercapai, maka aspal tidak mampu mengisi rongga dan menyelimuti agregat dengan sempurna yang menyebabkan nilai VIM menjadi lebih besar. Nilai VIM yang besar ini dapat menyebabkan campuran lebih *porous* (berongga) dan lebih mudah teroksidasi ketika berinteraksi dengan air yang masuk ke dalam campuran.

e. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai *Void in Mineral Aggregate*

Tabel 4.20 Kadar Aspal terhadap VMA Campuran Aspal Polimer

Campuran Polimer	Spek (%)	Kadar Aspal (%)				
		5	5.5	6	6.5	7
1%	> 15	15.75	13.72	16.33	12.05	13.35
	> 15	16.63	14.90	16.00	13.47	13.11
	> 15	18.36	15.47	15.05	14.83	13.17
2%	> 15	16.23	15.34	14.28	14.21	12.95
	> 15	16.52	15.84	14.39	12.69	13.22
	> 15	15.84	15.89	14.32	13.36	12.52
3%	> 15	14.81	15.74	15.47	16.24	13.47
	> 15	15.93	16.21	14.88	13.98	14.04
	> 15	15.25	16.31	13.81	13.97	13.10



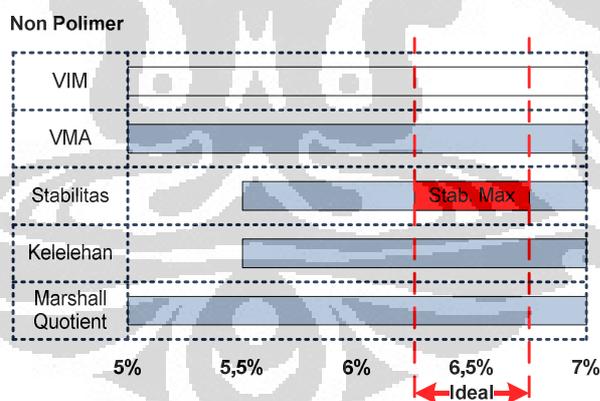
Gambar 4.14 Hubungan Kadar Aspal terhadap Nilai *Void in Mineral Aggregate*

Pada **Gambar 4.14** terlihat bahwa *trendline* nilai VMA pada keseluruhan campuran aspal polimer cenderung semakin menurun seiring penambahan kadar aspal. Berbeda halnya dengan campuran aspal non polimer dimana nilai VMA memiliki kecenderungan menurun sampai titik minimal ketika kadar aspal bertambah, dan kemudian naik kembali ketika kadar aspal semakin meningkat. Departemen Pekerjaan Umum menetapkan persyaratan nilai VMA minimum sebesar 15%. Pada kadar aspal 5% hingga 6% nilai VMA pada campuran aspal modifikasi polimer secara keseluruhan (dari kandungan polimer 1% – 3%) telah memenuhi spesifikasi, pada kadar aspal 6,5% hanya campuran aspal 1%

polimer yang memenuhi, sedangkan campuran lainnya tidak memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 6,5% dan 7%. Pada **Tabel 4.20**, nilai VMA yang tidak memenuhi spesifikasi ditandai dengan angka yang berwarna merah, sedangkan yang berwarna hitam memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007.

4.4 Penentuan Campuran Aspal Ideal dan Pembuatan Sampel

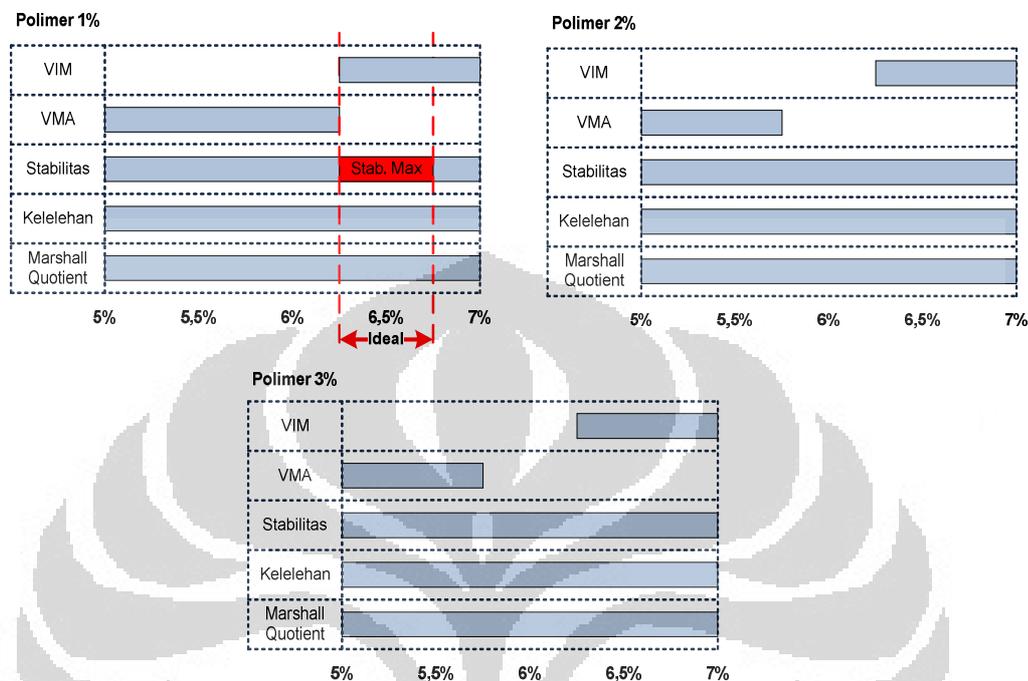
Dari hasil pengujian marshall dan analisisnya terhadap spesifikasi yang disyaratkan oleh Departemen Pekerjaan Umum tahun 2007, hasil pengujian tersebut direpresentasikan ke dalam skala grafis baik pada campuran aspal non polimer maupun modifikasi polimer. Skala grafis dibuat untuk menentukan campuran aspal ideal yang akan digunakan sebagai campuran yang akan direndam dalam air rob, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh rendaman air rob terhadap karakteristik campuran tersebut. Campuran aspal ideal tidak hanya untuk campuran aspal modifikasi polimer saja, tetapi juga campuran aspal non polimer yang digunakan sebagai pembandingan untuk mengetahui pengaruh rendaman air rob terhadap karakteristik kedua jenis campuran aspal tersebut.



Gambar 4.15 Review Hasil Uji untuk Penentuan Campuran Aspal Non Polimer Ideal

Pada campuran aspal non-polimer seperti terlihat pada **Gambar 4.15**, terlihat nilai VIM tidak memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 pada semua kadar aspal yang menetapkan persyaratan dengan rentang 3,5% s/d 5,5%. Tetapi untuk nilai volumetrik dan empiris lainnya seperti nilai VMA, stabilitas, kelelahan dan MQ telah memenuhi spesifikasi. Dengan

mempertimbangkan nilai stabilitas yang maksimal pada kadar aspal 6,5%, sehingga ditetapkan kadar aspal untuk campuran ideal pada campuran aspal non polimer sebesar 6,5%.



Gambar 4.16 Review Hasil Uji untuk Penentuan Campuran Aspal Polimer Ideal

Secara keseluruhan pada campuran aspal polimer, baik pada kandungan polimer 1%, 2%, maupun 3%, tidak didapatkan nilai hasil pengujian marshall yang beririsan, sehingga sulit untuk menentukan campuran aspal idealnya. Pada kandungan polimer 2% dan 3%, terlihat dari **Gambar 4.16** nilai VIM dan VMA tidak beririsan pada kadar aspal yang sama, nilai VIM hanya memenuhi spesifikasi pada rentang kadar aspal 5% – 5,5%, sedangkan nilai VMA dimana Departemen Pekerjaan Umum menetapkan persyaratan VMA minimal sebesar 15%, hanya memenuhi spesifikasi pada rentang kadar aspal 6,5% – 7%.

Tabel 4.21 Hasil Uji Sifat Dasar Aspal Polimer

No	Jenis Pemeriksaan	Unit	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan		
			Min	Max	1%	2%	3%
1	Penetrasi 25 °C, 100 gr, 5 detik	0,1 mm	50	80	47.2	43.1	35.6
2	Titik Lembek 5 °C	°C	54	-	52.25	55	57.25
3	Titik Nyala	°C	225	-	286	284	282
4	Titik Bakar	°C	225	-	304	304	304
5	Daktilitas	cm	50	-	>100	>100	>100

Karena sulit menentukan campuran aspal ideal untuk campuran polimer ini, maka sifat dasar dari aspal polimer juga menjadi pertimbangan dalam menentukan campuran aspal ideal. Penetrasi aspal menjadi salah satu pertimbangan dalam penentuan campuran ideal. Pada **Tabel 4.21**, nilai penetrasi pada semua aspal polimer tidak memenuhi spesifikasi yaitu sebesar 50 mm. Penetrasi aspal dengan kandungan polimer 1% memiliki nilai yang paling dekat dengan spesifikasi yaitu sebesar 47,2 mm, sedangkan pada kandungan polimer 2% dan 3%, penetrasinya makin keras dengan nilai masing-masing sebesar 43,1 mm dan 35,6 mm. Karena nilai penetrasi kandungan polimer 1% paling mendekati spesifikasi, sehingga kandungan polimer 1% menjadi pertimbangan dalam penentuan campuran aspal ideal.

Pada campuran dengan kandungan polimer 1%, terlihat pada **Gambar 4.16** bahwa nilai stabilitas, kelelahan dan MQ telah memenuhi spesifikasi, sedangkan nilai VMA dan VIM tidak beririsan dengan nilai lainnya. Nilai VMA hanya memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 5% – 6%, sedangkan VIM hanya memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 6,5% – 7%. Dengan mempertimbangkan nilai stabilitas maksimal pada kadar aspal 6,5%, sehingga diputuskan campuran aspal ideal adalah campuran dengan kadar aspal 6,5% dan kandungan polimer 1%.

Sampel kemudian dibuat dengan metode Marshall untuk proses perendaman dalam air rob. Temperatur pencampuran aspal dan agregat adalah temperatur pada saat aspal mempunyai viskositas kinematis sebesar 170 ± 20 centistokes, dan temperatur pemadatan adalah temperatur pada saat aspal mempunyai nilai viskositas kinematis sebesar 280 ± 30 centistokes. Karena tidak diadakan pengujian viskositas kinematik aspal maka secara umum ditentukan suhu pencampuran berkisar antara $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $155\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan suhu pemadatan antara $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk campuran aspal non polimer. Sedangkan untuk benda uji yang menggunakan polimer suhu pencampuran dan pemadatan mengacu pada penelitian sebelumnya sebesar 180°C dan 170°C (**Awanti, Amarnath, Veeraragavan, 2008**). Pemadatan dilakukan dengan penumbukkan sebanyak 2 x 75 kali, dengan menggunakan alat *marshall compaction hammer*.

4.5 Perendaman Sampel dalam Air Rob dan Pengujian Marshall

Untuk mengetahui pengaruh rendaman air rob terhadap karakteristik campuran aspal, dilakukan pengujian marshall terhadap campuran aspal yang telah direndam pada dua variasi atau pola waktu perendaman yaitu perendaman secara menerus (*continous*) dan secara berkala (*intermittent*). Pada perendaman sampel dengan pola menerus, setelah sampel dibuat dilakukan pengukuran tinggi dan berat sampel untuk mendapatkan data-data volumetrik. Sampel benda uji direndam selama waktu yang telah ditentukan (6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam dan 72 jam), kemudian diangkat dan ditimbang untuk mendapatkan berat dalam air dan berat dalam keadaan kering permukaan (SSD). Sebelum sampel diuji dengan alat marshall, terlebih dahulu direndam dalam *waterbath* dengan suhu 60⁰C selama 30 menit. Sampel diuji dengan alat *marshall* untuk mendapatkan data-data empiris berupa nilai stabilitas, kelelahan dan hasil bagi marshall (*marshall quotient*).

Pada perendaman sampel dengan pola berkala, setelah sampel benda uji dibuat, dilakukan juga pengukuran tinggi dan berat benda uji sebelum direndam dalam air rob. Benda uji direndam selama 12 jam, kemudian diangkat untuk diukur berat dalam air dan berat dalam kondisi SSD, lalu diuji dengan alat marshall dengan terlebih dahulu direndam dalam *waterbath* dengan suhu 60⁰C selama 30 menit. Sisa sampel benda uji lainnya didiamkan pada suhu ruang selama waktu pemulihan (selama 12 jam berikutnya) atau hingga keesokan harinya. Proses inilah yang disebut dengan siklus satu hari. Proses perendaman dan pengujian marshall ini terus dilakukan selama tiga hari atau siklus hari ketiga.

Dari data volumetrik dan hasil uji marshall (data empiris), nantinya diplot ke dalam bentuk grafik hubungan antara waktu perendaman dan karakteristik campuran. Sebaran data karakteristik campuran akibat pengaruh lamanya rendaman diwakili dengan persamaan polinomial dimana nantinya nilai R² dapat menunjukkan indikasi keakuratan persamaan garis perkiraan terhadap titik sebaran aslinya.

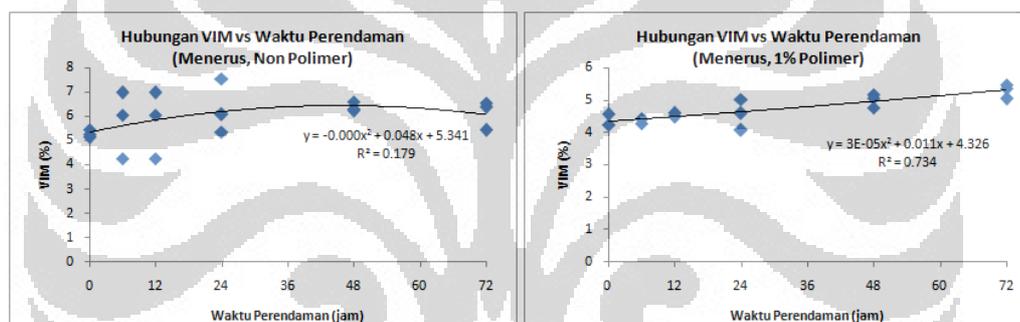
4.5.1 Pengaruh Perendaman Air Rob Terhadap *Void In Mixture*

4.5.1.1 Perendaman Menerus

Pada **Tabel 4.22** disajikan data hasil uji marshall berupa nilai VIM pada campuran aspal polimer dan non polimer pasca perendaman menerus.

Tabel 4.22 Nilai VIM Pasca Perendaman Menerus

Campuran Aspal	Waktu Perendaman					
	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam	48 jam	72 jam
Non polimer	5.12	6.05	6.05	7.54	6.59	5.42
	5.46	4.23	4.23	5.35	6.22	6.54
	5.22	6.96	6.96	6.06	6.27	6.37
Rata-rata	5.26	5.75	5.75	6.32	6.36	6.11
Polimer 1%	4.23	4.43	4.50	4.06	4.75	5.04
	4.55	4.28	4.58	4.58	5.18	5.36
	4.23	4.41	4.47	5.02	5.05	5.46
Rata-rata	4.34	4.37	4.52	4.55	4.99	5.29



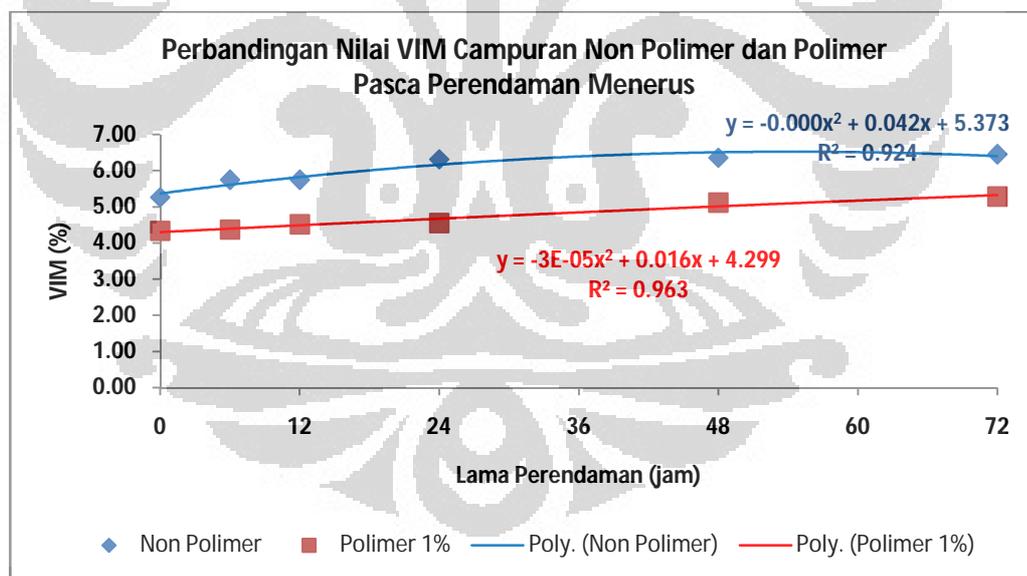
Gambar 4.17 Grafik Hubungan Nilai VIM dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Non Polimer dan Polimer

Pada **Gambar 4.17** dan **Tabel 4.22** dapat dilihat bahwa baik pada campuran aspal polimer maupun non polimer, semakin lama kedua campuran tersebut terendam dalam air rob, nilai VIM cenderung meningkat. Besarnya peningkatan nilai VIM pada campuran aspal non polimer maupun polimer dapat dilihat pada **Tabel 4.23**. Sebelumnya dilakukan seleksi data secara manual dengan mempertimbangkan *trend line* dari grafik hubungan nilai VIM terhadap waktu perendaman dan atau diambil nilai rata-ratanya.

Tabel 4.23 Perbandingan Perubahan Nilai VIM Pasca Perendaman Menerus

Waktu Rendam	Non Polimer		Polimer	
	VIM (%)	Peningkatan VIM (%)	VIM (%)	Peningkatan VIM (%)
0 jam	5.26	0.00	4.34	0.00
6 jam	5.75	0.48	4.37	0.03
12 jam	5.75	0.48	4.52	0.18
24 jam	6.32	1.05	4.55	0.22
48 jam	6.36	1.10	5.12	0.78
72 jam	6.45	1.19	5.29	0.95

Peningkatan nilai VIM ini disebabkan karena pada saat campuran aspal direndam, air rob semakin lama akan terinfiltrasi ke dalam rongga-rongga yang tersisa dalam campuran (*air void*), kemudian mendesak aspal baik yang menyelimuti agregat maupun mengisi rongga akibat gaya tekan air (*water pressure*) ke segala arah sehingga menyebabkan rongga dalam campuran meningkat. Rongga yang meningkat dan terisi air rob inilah yang memicu resiko campuran akan lebih mudah teroksidasi dan mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.



Gambar 4.18 Perbandingan Nilai VIM Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Menerus

Dari Tabel 4.23 dan Gambar 4.18 di atas terlihat bahwa peningkatan nilai VIM pada campuran aspal polimer lebih kecil dibandingkan campuran aspal non polimer. Hal ini disebabkan karena kohesi aspal polimer yang lebih tinggi dari aspal non polimer. Ketika ada gaya tekan

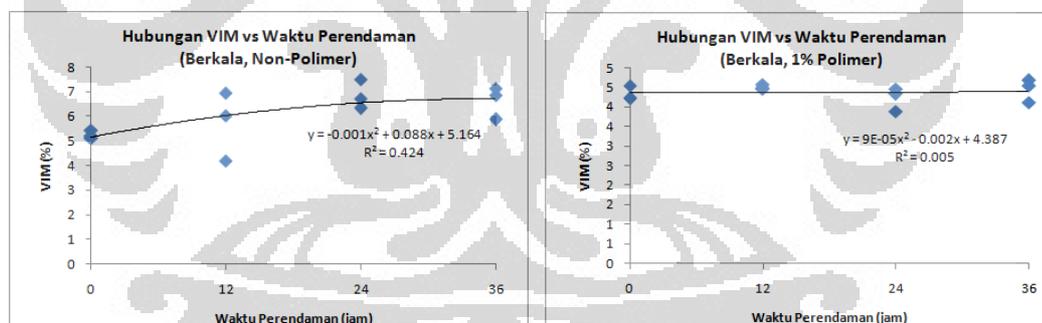
air kepada aspal yang mengisi rongga, aspal polimer lebih mampu menahan gaya tekan tersebut karena ikatan antara molekul (kohesi) aspal polimer yang kuat, sehingga rongga dalam campuran (VIM) tidak meningkat dengan signifikan seperti pada campuran aspal non polimer.

4.5.1.2 Perendaman Berkala (*Intermittent*)

Pada **Tabel 4.24** disajikan data hasil uji marshall berupa nilai VIM pada campuran aspal polimer dan non polimer pasca perendaman berkala.

Tabel 4.24 Nilai VIM Pasca Perendaman Berkala

Campuran Aspal	Waktu Perendaman					
	0 jam	-	-	12 jam	24 jam	36 jam
Non polimer	5.12	-	-	6.05	6.76	5.89
	5.46	-	-	4.23	6.35	7.16
	5.22	-	-	6.96	7.51	6.87
Rata-rata	5.26	-	-	5.75	6.87	6.64
Polimer 1%	4.23	-	-	4.50	3.89	4.14
	4.55	-	-	4.58	4.46	4.69
	4.23	-	-	4.47	4.34	4.56
Rata-rata	4.34	-	-	4.52	4.23	4.46



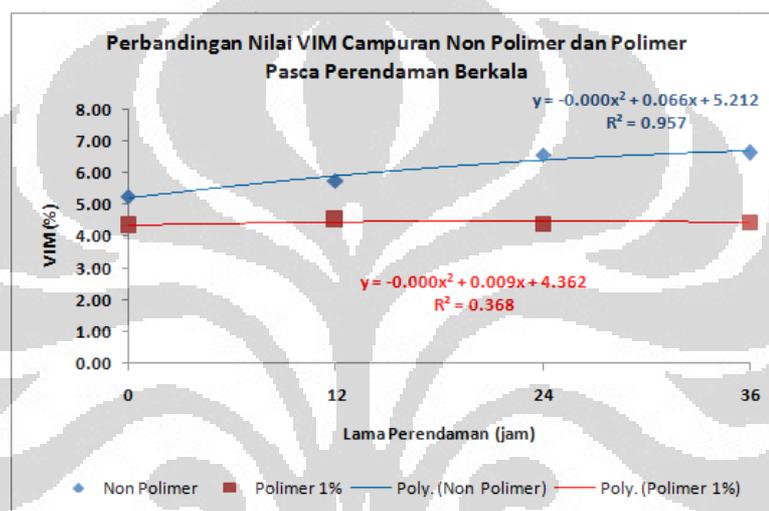
Gambar 4.19 Grafik Hubungan Nilai VIM dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Non Polimer dan Polimer

Pada **Gambar 4.19** untuk grafik hubungan pada campuran aspal non polimer, terlihat bahwa semakin lama campuran tersebut terendam dalam air rob maka nilai VIM cenderung meningkat. Sedangkan untuk campuran aspal polimer justru menunjukkan hasil yang berbeda, dimana terlihat tren nilai VIM hampir sejajar sumbu x seiring bertambahnya waktu perendaman. Hal ini berarti pengaruh air rob terhadap nilai VIM pada campuran aspal polimer relatif kecil dengan menggunakan pola perendaman berkala. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh rendaman berkala terhadap nilai VIM

baik pada campuran aspal polimer maupun non polimer, dapat dilihat pada **Tabel 4.25** dan **Gambar 4.20**.

Tabel 4.25 Perbandingan Perubahan Nilai VIM Pasca Perendaman Berkala

Waktu Rendam	Non Polimer		Polimer	
	VIM (%)	Peningkatan VIM (%)	VIM (%)	Peningkatan VIM (%)
0 jam	5.26	0.00	4.34	0.00
12 jam	5.75	0.48	4.52	0.18
24 jam	6.55	1.29	4.40	0.06
36 jam	6.64	1.37	4.46	0.12



Gambar 4.20 Perbandingan Nilai VIM Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Berkala

Pada **Tabel 4.25** dan **Gambar 4.20** terlihat bahwa perendaman campuran dalam air rob dengan pola berkala memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap nilai VIM pada campuran aspal non polimer dibanding campuran aspal polimer. Pada campuran aspal non polimer, nilai VIM meningkat sebesar 1,37% setelah direndam selama 36 jam atau siklus 3 hari. Sedangkan pada campuran aspal polimer, nilai VIM relatif bersifat fluktuatif seiring bertambahnya waktu perendaman dan nilai VIM meningkat maksimal hanya sebesar 0,18% setelah direndam selama 12 jam atau siklus 1 hari.

Peningkatan nilai VIM pada campuran aspal non polimer kemungkinan disebabkan karena pada saat waktu perendaman, air rob masuk ke dalam rongga-rongga dalam campuran dan mendesak aspal akibat gaya tekan air (*water pressure*) ke segala arah yang menyebabkan rongga dalam

campuran meningkat. Sedangkan jika pada campuran aspal polimer, kohesi yang kuat dari aspal polimer akan lebih mampu menahan gaya tekan air ke segala air sehingga rongga dalam campuran tidak mengalami perubahan yang berarti atau peningkatan seperti pada campuran aspal non polimer.

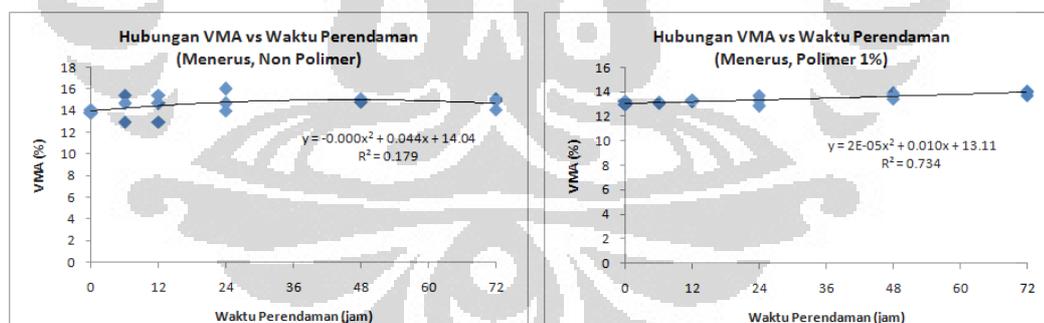
4.5.2 Pengaruh Perendaman Air Rob Terhadap *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

4.5.2.1 Perendaman Menerus

Pada **Tabel 4.26** disajikan data hasil uji marshall berupa nilai VMA pada campuran aspal polimer dan non polimer pasca perendaman menerus.

Tabel 4.26 Nilai VMA Pasca Perendaman Menerus

Campuran	Waktu Perendaman					
	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam	48 jam	72 jam
Aspal	13.84	14.69	14.69	16.04	15.18	14.11
Non polimer	14.15	13.03	13.03	14.05	14.84	15.13
Rata-rata	13.97	14.41	14.41	14.93	14.97	14.74
Polimer	13.03	13.21	13.28	12.88	13.51	13.77
1%	13.32	13.08	13.35	13.35	13.89	14.05
Rata-rata	13.13	13.16	13.29	13.32	13.72	13.99

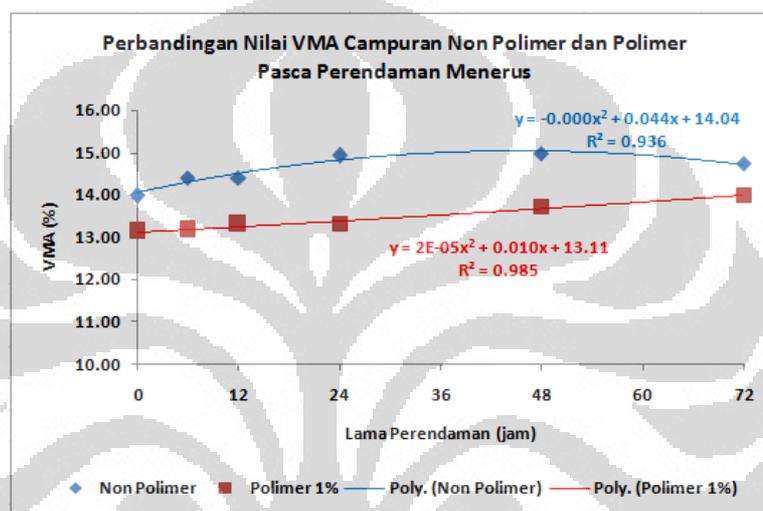


Gambar 4.21 Grafik Hubungan Nilai VMA dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Non Polimer dan Polimer

Pada **Tabel 4.21** dan **Gambar 4.21** terlihat bahwa nilai VMA pada kedua campuran aspal (polimer dan non polimer) cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman dalam air rob. Peningkatan nilai VMA yang terjadi memang tidak terlalu signifikan. Untuk mengetahui besarnya peningkatan nilai VMA pasca perendaman menerus dapat dilihat pada **Tabel 4.27** dan **Gambar 4.22**.

Tabel 4.27 Perbandingan Perubahan Nilai VMA Pasca Perendaman Menerus

Waktu Rendam	Non Polimer		Polimer	
	VMA (%)	Peningkatan VMA (%)	VMA (%)	Peningkatan VMA (%)
0 jam	13.97	0.00	13.13	0.00
6 jam	14.41	0.44	13.16	0.03
12 jam	14.41	0.44	13.29	0.16
24 jam	14.93	0.96	13.32	0.20
48 jam	14.97	0.99	13.72	0.59
72 jam	14.74	0.77	13.99	0.86



Gambar 4.22 Perbandingan Nilai VMA Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Menerus

Untuk campuran aspal non polimer, pada **Tabel 4.27** terlihat bahwa semakin lama campuran terendam nilai VMA terus meningkat sebesar 0,99% setelah direndam 12 jam, namun kemudian tidak terjadi peningkatan yang berarti setelah direndam selama 48 jam dan 72 jam. Hal ini disebabkan karena semakin lama campuran terendam maka kondisinya akan semakin jenuh, dan ketika sudah jenuh pengaruhnya tidak sebesar ketika rongga dalam mineral agregat masih belum terendam. Sedangkan pada campuran aspal polimer, semakin bertambahnya waktu rendaman maka nilai VMA pun meningkat, dimana peningkatan maksimum sebesar 0,86% setelah direndam selama 72 jam. Sehingga secara keseluruhan terlihat bahwa perendaman air rob secara menerus dapat meningkatkan nilai VMA baik pada campuran aspal polimer maupun non polimer.

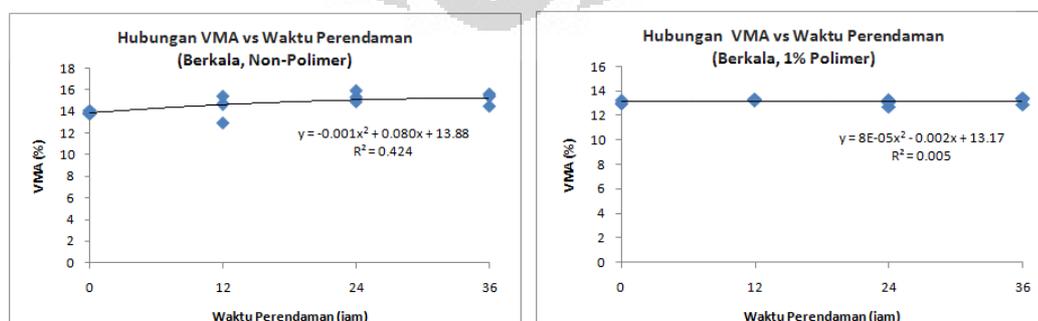
Peningkatan VMA pada kedua campuran disebabkan karena gaya tekan air ke segala arah yang mendesak aspal sehingga memungkinkan terjadinya perubahan susunan agregat yang menyebabkan rongga dalam mineral agregat meningkat. Pada **Tabel 4.22** dan **Gambar 4.24** terlihat bahwa peningkatan nilai VMA lebih besar terjadi pada campuran aspal non polimer daripada campuran aspal polimer. Hal ini disebabkan karena kohesi aspal polimer yang lebih tinggi dari aspal non polimer. Ketika ada gaya tekan air pada aspal yang mengisi rongga, aspal polimer lebih mampu menahan gaya tekan tersebut karena ikatan antara molekul (kohesi) aspal polimer yang kuat. Dengan demikian susunan rongga dalam mineral agregat (VMA) tidak mengalami perubahan yang signifikan atau peningkatan yang lebih besar seperti pada campuran aspal non polimer.

4.5.2.2 Perendaman Berkala (*Intermittent*)

Pada **Tabel 4.28** disajikan data hasil uji marshall berupa nilai VMA pada campuran aspal polimer dan non polimer pasca perendaman berkala.

Tabel 4.28 Nilai VMA Pasca Perendaman Berkala

Campuran	Waktu Perendaman					
	0 jam	-	-	12 jam	24 jam	36 jam
Aspal	13.84	-	-	14.69	15.33	14.53
Non polimer	14.15	-	-	13.03	14.96	15.69
	13.93	-	-	15.51	16.01	15.42
Rata-rata	13.97	-	-	14.41	15.43	15.22
Polimer 1%	13.03	-	-	13.28	12.72	12.94
	13.32	-	-	13.35	13.24	13.45
	13.03	-	-	13.25	13.13	13.33
Rata-rata	13.13	-	-	13.29	13.03	13.24



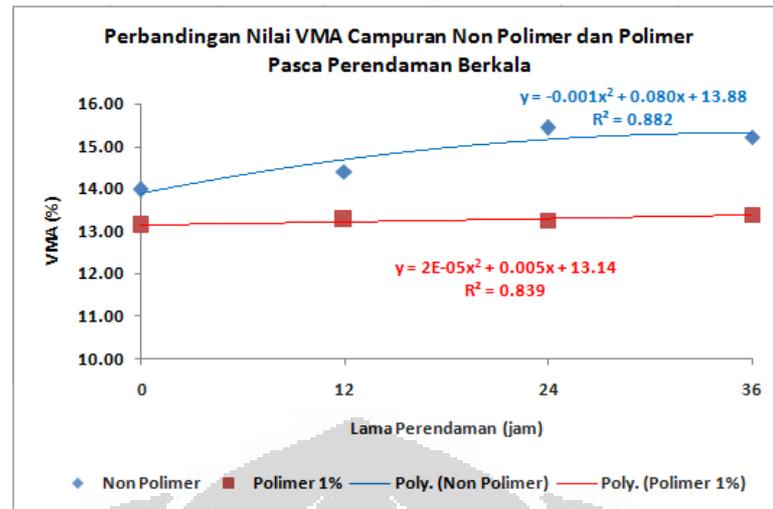
Gambar 4.23 Grafik Hubungan Nilai VMA dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Non Polimer dan Polimer

Pada **Gambar 4.23** dan **Tabel 4.28** terlihat bahwa semakin lama campuran aspal non polimer terendam dalam air rob maka nilai VMA cenderung meningkat. Sedangkan untuk campuran aspal polimer terlihat nilai VMA cenderung fluktuatif bahkan jika dilihat pada **Gambar 4.23** hampir sejajar dengan sumbu x seiring bertambahnya waktu perendaman dimana hal ini berarti pengaruh air rob terhadap nilai VMA pada campuran aspal polimer relatif kecil dengan menggunakan pola perendaman berkala. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh rendaman berkala terhadap nilai VMA baik pada campuran aspal polimer maupun non polimer, dapat dilihat pada **Tabel 4.29** dan **Gambar 4.24**.

Tabel 4.29 Perbandingan Perubahan Nilai VMA Pasca Perendaman Berkala

Waktu Rendam	Non Polimer		Polimer	
	VMA (%)	Peningkatan VMA (%)	VMA (%)	Peningkatan VMA (%)
0 jam	13.97	0.00	13.13	0.00
12 jam	14.41	0.44	13.26	0.14
24 jam	15.43	1.46	13.24	0.11
36 jam	15.22	1.25	13.39	-0.26

Pada **Tabel 4.29** dan **Gambar 4.24** terlihat bahwa perendaman campuran air rob dengan pola berkala memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap nilai VMA pada campuran aspal non polimer dibandingkan campuran aspal polimer. Pada campuran aspal non polimer, nilai VMA meningkat sebesar 1,46% setelah direndam selama 24 jam atau siklus 2 hari, kemudian turun menjadi sebesar 1,25% setelah direndam selama 36 jam atau siklus 3 hari. Sedangkan pada campuran aspal polimer, perubahan nilai VMA relatif bersifat fluktuatif seiring bertambahnya waktu perendaman dan peningkatan nilai VMA maksimum hanya sebesar 0,26% setelah direndam selama 36 jam atau siklus 3 hari.



Gambar 4.24 Perbandingan Nilai VMA Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Berkala

Peningkatan nilai VMA pada campuran aspal non polimer kemungkinan besar disebabkan karena semakin lama campuran terendam, air rob akan masuk ke dalam rongga-rongga dalam campuran akan mendesak aspal akibat gaya tekan air (*water pressure*) ke segala arah yang menyebabkan rongga dalam campuran meningkat. Sedangkan jika pada campuran aspal polimer, kohesi yang kuat dari aspal polimer akan lebih mampu menahan gaya tekan air ke segala air sehingga rongga dalam mineral agregat tidak mengubah susunan partikel agregat atau berupa peningkatan rongga seperti pada campuran aspal non polimer.

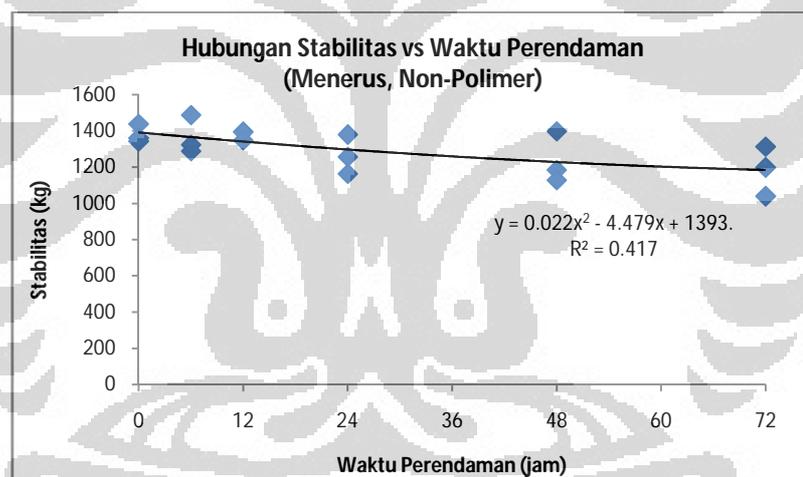
4.5.3 Pengaruh Perendaman Air Rob Terhadap Nilai Stabilitas

4.5.3.1 Perendaman Menerus

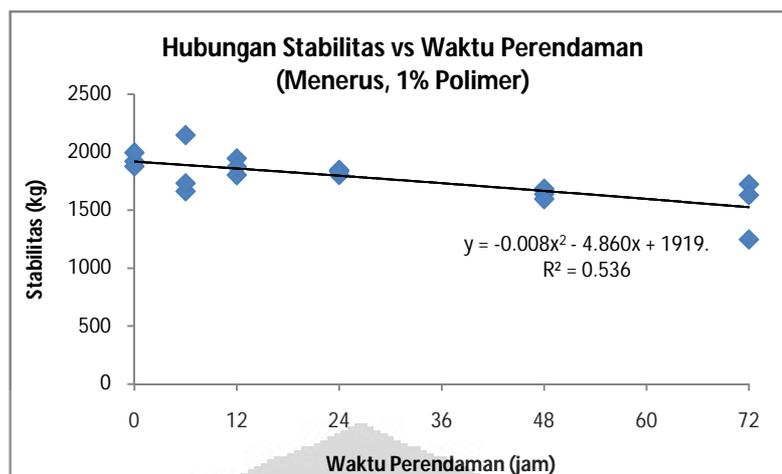
Pengaruh perendaman menerus terhadap nilai stabilitas pada campuran aspal non polimer dan polimer disajikan pada **Tabel 4.30**.

Tabel 4.30 Nilai Stabilitas Pasca Perendaman Menerus

Campuran Aspal	Waktu Perendaman					
	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam	48 jam	72 jam
Non polimer	1342.60	1488.49	1396.49	1379.85	1398.91	1198.16
	1439.45	1289.06	1393.78	1163.53	1185.07	1039.15
	1360.22	1324.41	1349.13	1257.36	1128.97	1314.22
Rata-rata	1380.76	1367.32	1379.80	1266.91	1237.65	1183.84
Polimer 1%	1923.89	2148.44	1803.65	1804.30	1639.05	1724.43
	1879.44	1663.31	1947.94	1848.12	1686.41	1630.39
	1996.04	1732.61	1875.79	1833.70	1596.77	1247.13
Rata-rata	1933.12	1848.12	1875.79	1828.71	1640.74	1533.99



Gambar 4.25 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Non Polimer

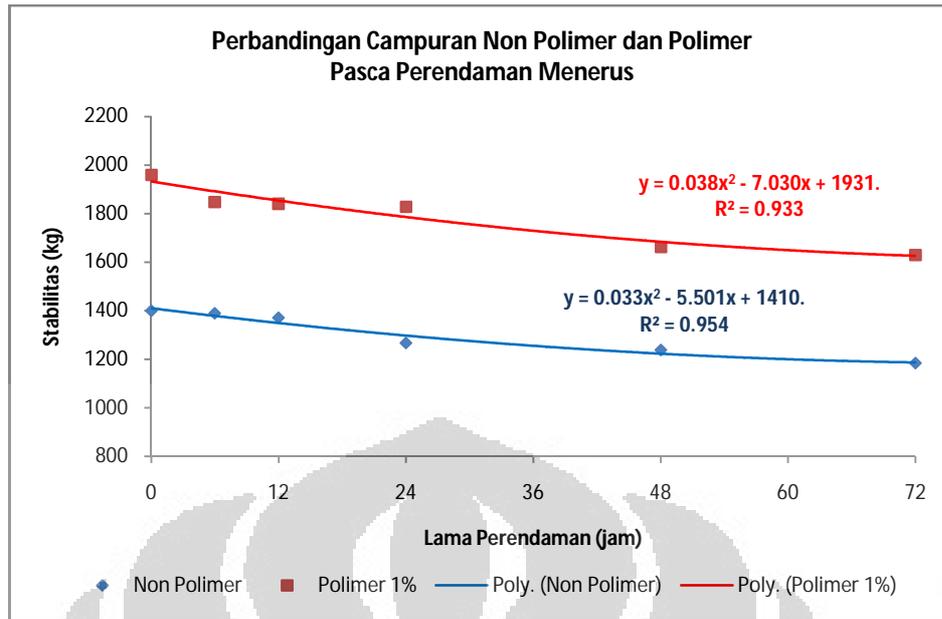


Gambar 4.26 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Polimer

Pada **Gambar 4.25** dapat dilihat bahwa semakin lama waktu perendaman, nilai stabilitas pada campuran aspal non polimer cenderung menurun. Begitu juga pada campuran aspal polimer seperti pada **Gambar 4.26** dimana nilai stabilitasnya cenderung menurun dengan makin lamanya campuran tersebut terendam dalam air rob. Besarnya penurunan nilai stabilitas pasca perendaman menerus dapat dilihat pada **Tabel 4.31** dimana sebelumnya dilakukan seleksi data secara manual terhadap data yang menyimpang (bias) dengan mempertimbangkan kecenderungan *trend line* atau sebaran data. Penyimpangan data (ditandai dengan warna kuning) tersebut kemungkinan disebabkan kekurangakuratan dalam pembacaan dial pada saat pengujian stabilitas atau memang karena buruknya kinerja sampel akibat tidak terpenuhinya prosedur pembuatan sampel dengan sempurna misalnya suhu pada saat pencampuran dan pembuatan yang fluktuatif atau tidak seragam dengan sampel yang lainnya.

Tabel 4.31 Perbandingan Perubahan Nilai Stabilitas Pasca Perendaman Menerus

Waktu Rendam	Non Polimer		Polimer	
	Stabilitas (kg)	% Penurunan	Stabilitas (kg)	% Penurunan
0 jam	1400	0.00	1960	0.00
6 jam	1389	0.79	1848	5.71
12 jam	1371	2.03	1840	6.13
24 jam	1267	9.50	1829	6.70
48 jam	1238	11.59	1663	15.17
72 jam	1184	15.43	1630	16.82



Gambar 4.27 Perbandingan Nilai Stabilitas Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Menerus

Dari **Tabel 4.31** dan **Gambar 4.27** dapat dijelaskan bahwa ketika campuran aspal non polimer terendam dalam waktu yang relatif singkat yaitu pada 6 hingga 12 jam, penurunan nilai stabilitas yang terjadi relatif kecil yaitu hanya sebesar 2,03% dari nilai stabilitas awal yaitu sebesar 1400 kg, dimana berarti air rob belum memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap campuran. Penurunan yang cukup signifikan mulai terjadi saat campuran non polimer terendam dalam air rob selama 24 jam sebesar 9,5% dan terus menurun hingga sebesar 15,43% setelah direndam secara menerus selama 72 jam. Sedangkan pada campuran aspal polimer penurunan stabilitas mulai terjadi secara signifikan pada waktu yang relatif singkat setelah direndam selama 6 jam yaitu sebesar 5,71% dan terus terjadi hingga menurun secara signifikan setelah direndam selama 48 jam yaitu sebesar 15,17% atau sekitar 1663 kg. Setelah direndam selama 72 jam, penurunan yang terjadi relatif kecil yaitu menjadi 16,82% atau sekitar 1630 kg dari nilai stabilitas awal sebesar 1960 kg.

Penurunan stabilitas atau kegagalan suatu campuran dapat dikaitkan dengan hilangnya adhesi atau *stripping*. Kebanyakan material agregat memiliki daya tarik menarik yang lebih besar dengan air daripada dengan aspal. Ketika campuran aspal direndam dalam air rob secara kontinyu atau

menerus, air akan berusaha untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun yaitu agregat dan aspal. Air rob yang berinteraksi dengan agregat akan terserap ke dalamnya dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Akibatnya aspal akan mengalami kesulitan untuk menggantikan air yang telah membentuk lapisan film di atas permukaan agregat dan juga mendesak aspal akibat gaya tekan ke segala arah (*water pressure*), sehingga menyebabkan ikatan (*adhesi*) antara aspal dan agregat semakin berkurang. Berkurangnya adhesi atau ikatan antara aspal dan agregat ini dibuktikan dengan nilai rongga dalam campuran (VIM) yang terus meningkat seiring bertambahnya waktu rendaman. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin lama campuran tersebut terendam dalam air rob, maka adhesi campuran akan berkurang dan peluang terjadinya kehilangan durabilitas atau keawetan campuran juga makin besar.

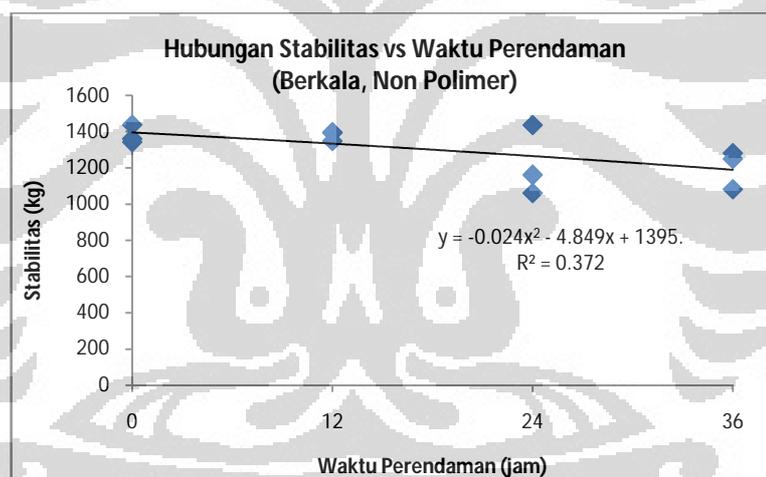
Persentase penurunan stabilitas pada campuran aspal polimer yang lebih besar dibanding campuran aspal non polimer bukan berarti campuran non polimer lebih baik dibanding campuran polimer. Hal tersebut dikarenakan nilai stabilitas awal dan akhir (setelah mengalami perendaman) kedua campuran berbeda jauh sehingga sulit untuk membandingkan campuran mana yang lebih baik. Nilai stabilitas awal campuran polimer sebesar 1960 kg dan stabilitas akhir setelah direndam selama 72 jam sebesar 1630 kg, sedangkan nilai stabilitas awal campuran non polimer sebesar 1400 kg dan stabilitas akhir sebesar 1184 kg. Nilai stabilitas akhir campuran polimer sebesar 1630 kg ini mungkin saja masih memberikan kinerja yang cukup baik walaupun persentasenya lebih besar dibanding campuran non polimer. Namun demikian jika hanya ingin mengukur pengaruh perendaman air rob terhadap kinerja campuran berdasarkan persentase penurunan stabilitas saja, dari hasil penelitian memang menunjukkan bahwa campuran aspal non polimer lebih baik dibanding campuran polimer, walaupun sebenarnya banyak faktor yang dapat dipertimbangkan dalam menilai kinerja campuran tidak hanya dari stabilitas, tetapi juga fleksibilitas, *fatigue resistance*, *workability* dan faktor lainnya.

4.5.3.2 Perendaman Berkala (*Intermittent*)

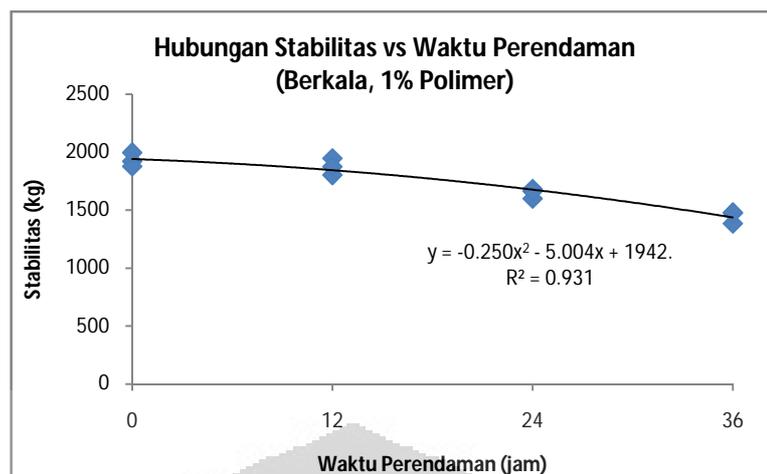
Pengaruh perendaman berkala terhadap nilai stabilitas pada campuran aspal non polimer dan polimer disajikan pada **Tabel 4.32**.

Tabel 4.32 Nilai Stabilitas Pasca Perendaman Berkala

Campuran Aspal	Waktu Perendaman					
	0 jam	-	-	12 jam	24 jam	36 jam
Non polimer	1342.60	-	-	1396.49	1161.08	1250.54
	1439.45	-	-	1393.78	1437.16	1082.65
	1360.22	-	-	1349.13	1061.93	1282.22
Rata-rata	1380.76	-	-	1379.80	1220.06	1205.14
Polimer 1%	1923.89	-	-	1803.65	1600.84	1477.57
	1879.44	-	-	1947.94	1683.41	1386.46
	1996.04	-	-	1875.79	1663.31	1478.24
Rata-rata	1933.12	-	-	1875.79	1649.18	1447.42



Gambar 4.28 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Non Polimer



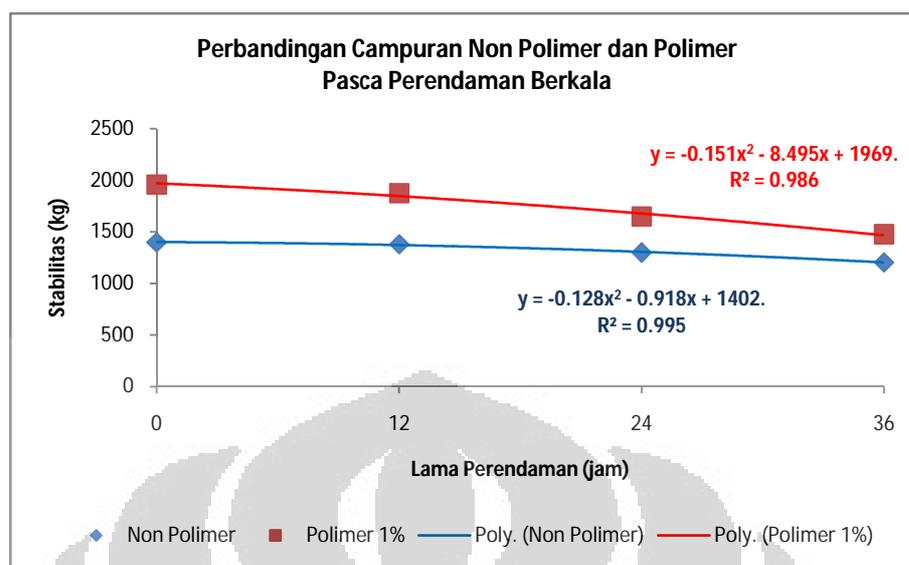
Gambar 4.29 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Polimer

Pada **Gambar 4.28** dan **Gambar 4.29** yang menunjukkan grafik hubungan stabilitas terhadap waktu perendaman dengan pola berkala, terlihat bahwa semakin lama campuran aspal polimer dan non polimer mengalami perendaman siklik atau berkala, nilai stabilitas campuran tersebut cenderung menurun. Besarnya penurunan stabilitas pada kedua campuran dapat dilihat pada **Tabel 4.33** dan **Gambar 4.30**.

Tabel 4.33 Perbandingan Perubahan Nilai Stabilitas Pasca Perendaman Berkala

Waktu Rendam		Non Polimer		Polimer	
Siklus	Rendam	Stabilitas (kg)	% Penurunan	Stabilitas (kg)	% Penurunan
Hari ke -0	0 jam	1400	0.00	1933	0.00
Hari ke-1	12 jam	1380	1.43	1876	4.29
Hari ke-2	24 jam	1299	7.19	1649	15.86
Hari ke-3	36 jam	1205	13.91	1478	24.60

Dari **Tabel 4.33** dapat dijelaskan bahwa ketika campuran aspal non polimer terendam selama 12 jam atau selama siklus hari pertama, terjadi penurunan stabilitas yang relatif kecil yaitu sebesar 1,43%. Penurunan stabilitas yang cukup signifikan mulai terjadi pada siklus hari kedua sebesar 7,19% dan terus menurun sampai siklus hari ketiga menjadi sebesar 13,91% dari stabilitas awal sebesar 1400 kg. Sedangkan pada campuran aspal polimer penurunan stabilitas cukup signifikan terjadi pada siklus hari kedua dan ketiga hingga mencapai 15,86% dan 24,60% pada siklus hari ketiga dari nilai stabilitas awal sebesar 1933 kg.



Gambar 4.30 Perbandingan Nilai Stabilitas Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Berkala

Ketika campuran aspal direndam dalam air rob, air akan berusaha mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun yaitu agregat dan aspal. Gaya tarik menarik agregat dengan air yang cenderung lebih kuat dibanding aspal menyebabkan air rob akan terserap ke dalamnya dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal, sehingga menyebabkan ikatan (adhesi) antara aspal dan agregat semakin berkurang ditandai dengan meningkatnya rongga dalam campuran (VIM). Berkurangnya adhesi atau ikatan antara agregat dan aspal ini dapat menyebabkan *stripping* dan penurunan stabilitas pada campuran aspal. Kemudian ketika campuran benda uji diangkat selama waktu pemulihan, air yang terperangkap dalam rongga dalam campuran tidak begitu saja dengan mudah keluar dari rongga karena adanya lapisan aspal yang bersifat kedap air (*impermeable*), sehingga air rob dan kandungannya tetap mengisi rongga dan kemungkinan dapat beroksidasi dengan aspal yang menyebabkan penebaran pada aspal. Hal inilah yang menyebabkan campuran aspal semakin lama semakin menurun stabilitas dan durabilitasnya.

Tingginya nilai penurunan stabilitas pada campuran aspal polimer dengan pola perendaman berkala yaitu sebesar 24,60% berada di luar perkiraan sebelumnya. Padahal penurunan stabilitas maksimum dengan pola

perendaman menerus hanya sebesar 16,82%, dimana awalnya perendaman dengan pola menerus diperkirakan akan memberikan pengaruh yang lebih besar dibanding pola berkala karena campuran yang direndam secara menerus terekspos langsung dengan air rob. Sedangkan dengan perendaman pola berkala, campuran terekspos terputus-putus dengan air rob sehingga kecenderungan untuk merusak atau mengurangi kinerja campuran lebih kecil.

Besarnya nilai penurunan ini disebabkan karena adanya pengaruh air rob yang tertinggal dalam rongga campuran saat campuran diangkat setelah direndam atau pada saat waktu pemulihan. Tetapi mungkin juga karena sampel benda uji atau campuran yang buruk kualitasnya karena adanya kesalahan yang tidak diharapkan pada saat pembuatan benda uji terutama pada proses pencampuran dan pematatan. Hal ini dikarenakan jika memang ada pengaruh air rob pada saat waktu pemulihan, seharusnya ini juga terjadi pada campuran non polimer karena secara teori aspal polimer lebih baik karena memiliki kohesi dan adhesi yang lebih kuat sehingga nilai stabilitasnya dan ketahanannya lebih kuat, tetapi dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan stabilitas yang terjadi pada campuran non polimer lebih kecil.

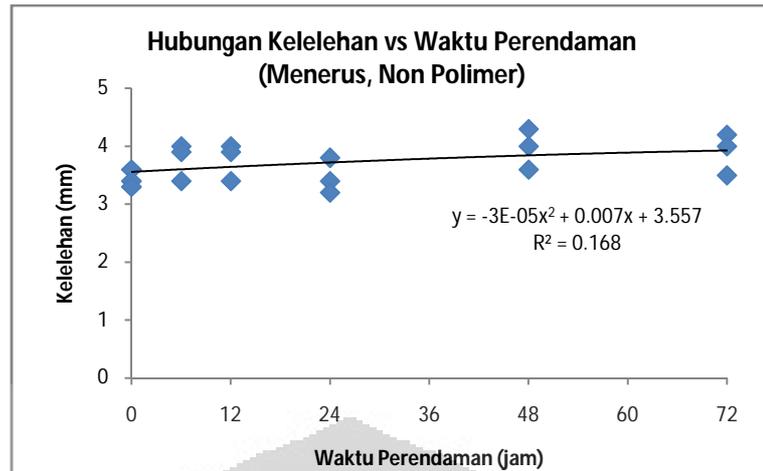
4.5.4 Pengaruh Perendaman Air Rob Terhadap Kelelehan (Flow)

4.5.4.1 Perendaman Menerus

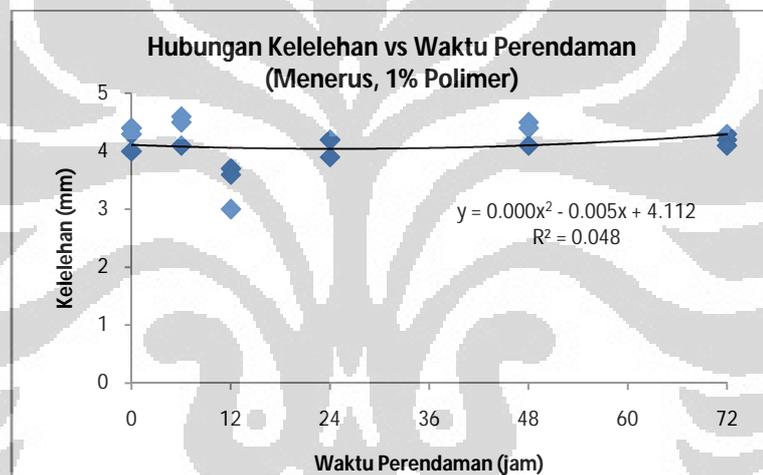
Pengaruh perendaman menerus terhadap nilai kelelehan pada campuran aspal non polimer dan polimer disajikan pada **Tabel 4.34**.

Tabel 4.34 Nilai Kelelehan Pasca Perendaman Menerus

Campuran Aspal	Waktu Perendaman					
	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam	48 jam	72 jam
Non polimer	3.6	4.0	4.0	3.4	4.0	4.2
	3.4	3.9	3.9	3.2	3.6	4
	3.3	3.4	3.4	3.8	4.3	3.5
Rata-rata	3.43	3.77	3.77	3.47	3.97	3.90
Polimer 1%	4.4	4.6	3.0	4.2	4.5	4.2
	4.3	4.5	3.7	4.2	4.4	4.3
	4.0	4.1	3.6	3.9	4.1	4.1
Rata-rata	4.23	4.40	3.43	4.10	4.33	4.20



Gambar 4.31 Grafik Hubungan Kelelehan dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Non Polimer



Gambar 4.32 Grafik Hubungan Kelelehan dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Polimer

Pada campuran aspal non polimer, terlihat dari nilai rata-rata *flow* pada Tabel 4.34 dan tren pada Gambar 4.31 cenderung meningkat seiring penambahan waktu perendaman walaupun tidak signifikan. Sedangkan pada Gambar 4.32 terlihat tren nilai kelelehan campuran aspal polimer cenderung fluktuatif seiring penambahan waktu perendaman, bahkan terlihat kecil sekali pengaruhnya akibat rendaman air rob. Penyimpangan data (bias) terjadi pada nilai kelelehan setelah direndam selama 12 jam dimana nilai rata-rata kelelehan sebesar 3,43 mm. Hal ini kemungkinan disebabkan kekurangakuratan dalam pembacaan dial kelelehan (*flow*) karena begitu cepatnya putaran jarum pada saat pengujian dengan alat marshall. Namun

secara keseluruhan dapat disimpulkan semakin lama kedua campuran aspal tersebut terendam dalam air rob secara menerus maka nilai kelelahan cenderung meningkat walaupun peningkatannya tidak terlalu signifikan.

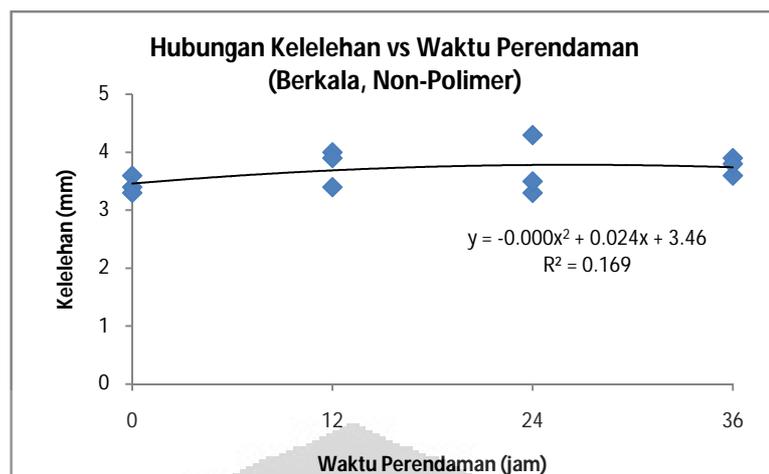
Peningkatan nilai kelelahan ini bukan berarti campuran aspal baik aspal polimer maupun non polimer semakin lentur dan fleksibel, melainkan terjadi penurunan kinerja campuran aspal tersebut terhadap kemampuannya dalam menahan beban yang diberikan menurun. Hal ini disebabkan karena kohesi atau gaya tarik menarik aspal telah menurun akibat penuaan atau oksidasi yang terjadi ketika aspal direndam dalam air rob, sehingga selain mempengaruhi sifat dasar aspal itu sendiri, juga mempengaruhi karakteristik campuran terutama kelelahan ini. Selain itu juga hal ini terkait dengan peningkatan nilai VIM atau rongga dalam campuran, dimana rongga tersebut telah terisi air rob yang dapat melemahkan ikatan antara aspal dan agregat sehingga mengurangi kemampuan campuran aspal dalam menahan beban atau deformasi yang ditimbulkan ketika diberikan beban lebih besar.

4.5.4.2 Perendaman Berkala (*Intermittent*)

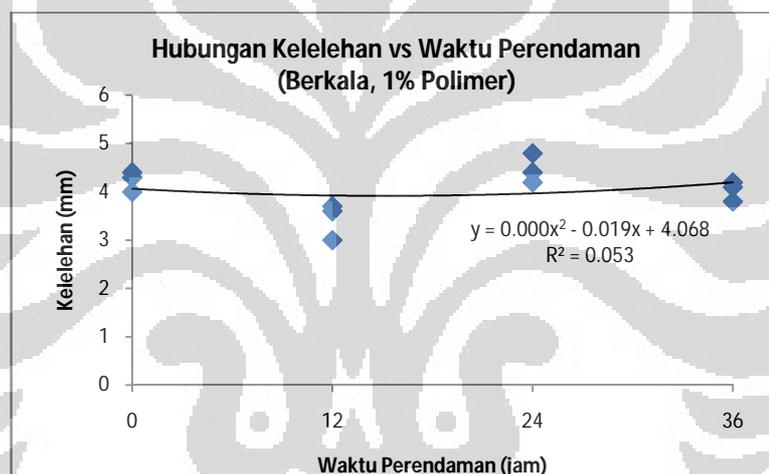
Pengaruh perendaman berkala terhadap nilai kelelahan pada campuran aspal non polimer dan polimer disajikan pada **Tabel 4.34**.

Tabel 4.35 Nilai Kelelahan Pasca Perendaman Berkala

Campuran Aspal	Waktu Perendaman					
	0 jam	-	-	12 jam	24 jam	36 jam
Non polimer	3.6	-	-	4.0	3.3	3.6
	3.4	-	-	3.9	4.3	3.9
	3.3	-	-	3.4	3.5	3.8
Rata-rata	3.43	-	-	3.77	3.70	3.77
Polimer	4.4	-	-	3.0	4.4	4.2
1%	4.3	-	-	3.7	4.8	3.8
	4.0	-	-	3.6	4.2	4.1
Rata-rata	4.23	-	-	3.43	4.47	4.03



Gambar 4.33 Grafik Hubungan Kelelehan dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Non polimer



Gambar 4.34 Grafik Hubungan Kelelehan dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Polimer

Sama halnya seperti nilai kelelehan campuran pasca perendaman menerus, pada pola perendaman berkala pun perubahan yang terjadi dengan semakin lamanya terendam air rob tidak terlalu signifikan. Dapat dilihat pada **Gambar 4.39** tren kelelehan campuran aspal non polimer cenderung fluktuatif dan peningkatannya tidak terlalu besar. Begitu juga pada campuran aspal polimer, terlihat dari **Tabel 4.49** dan **Gambar 4.40** tren nilai kelelehan cenderung fluktuatif. Hal ini dikarenakan kedua campuran terendam maksimal hanya selama 3 hari dan pola perendamannya pun rendam angkat sehingga belum terjadi penurunan kinerja dan perubahan yang signifikan.

Walaupun pengaruh yang ditimbulkan masih relatif kecil, namun jika campuran aspal semakin lama terendam dalam air rob dapat diindikasikan kecenderungan nilai kelelehannya akan meningkat. Kenaikan nilai kelelehan ini mengindikasikan telah terjadi penurunan kinerja campuran aspal tersebut terhadap kemampuannya dalam menahan beban yang diberikan atau dengan kata lain fleksibilitasnya menurun. Hal ini kemungkinan besar disebabkan karena kohesi atau gaya tarik menarik aspal telah menurun akibat oksidasi yang terjadi ketika aspal direndam dalam air rob dan juga berkurangnya adhesi dalam campuran dibuktikan dengan nilai VIM yang terus meningkat seiring penambahan waktu rendaman yang dalam melemahkan kemampuan campuran dalam menahan beban yang diberikan.

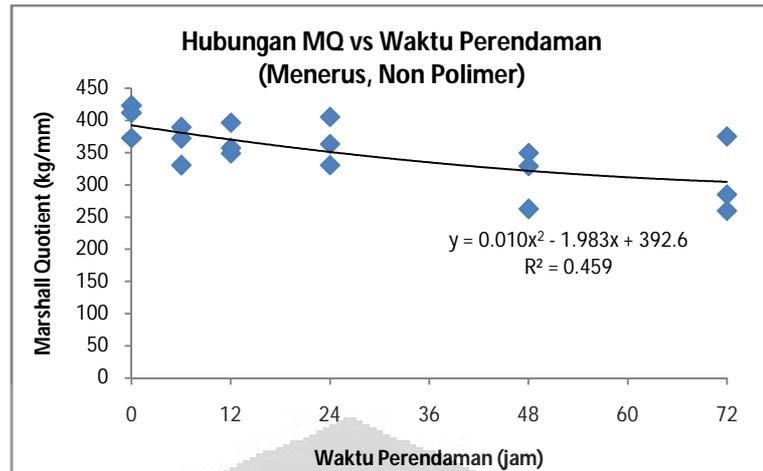
4.5.5 Pengaruh Perendaman Air Rob Terhadap *Marshall Quotient*

4.5.5.1 Perendaman Menerus

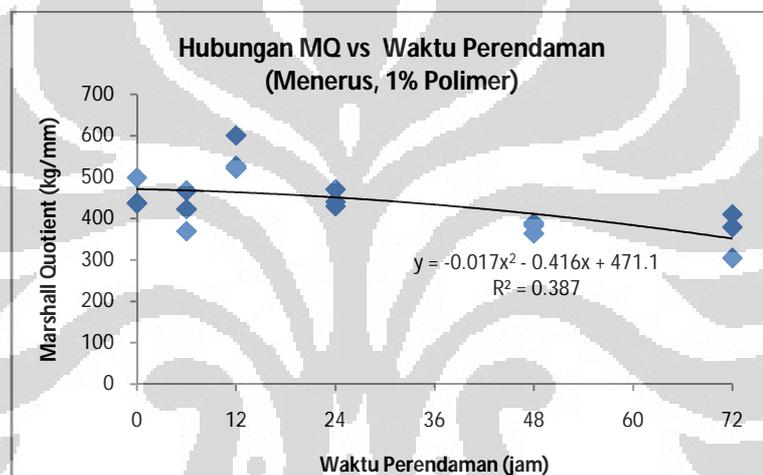
Pengaruh perendaman menerus terhadap nilai MQ pada campuran aspal non polimer dan polimer disajikan pada **Tabel 4.36**.

Tabel 4.36 Nilai MQ Pasca Perendaman Menerus

Campuran Aspal	Waktu Perendaman					
	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam	48 jam	72 jam
Non polimer	372.94	372.12	349.12	405.84	349.73	285.28
	423.37	330.53	357.38	363.60	329.19	259.79
	412.19	389.53	396.80	330.88	262.55	375.49
Rata-rata	402.83	364.06	367.77	366.77	313.82	306.85
Polimer 1%	437.25	467.05	601.22	429.59	364.23	410.58
	437.08	369.62	526.47	440.03	383.27	379.16
	499.01	422.59	521.05	470.18	389.46	304.18
Rata-rata	457.78	419.75	549.58	446.60	378.99	364.64



Gambar 4.35 Grafik Hubungan Marshall Quotient dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Non Polimer

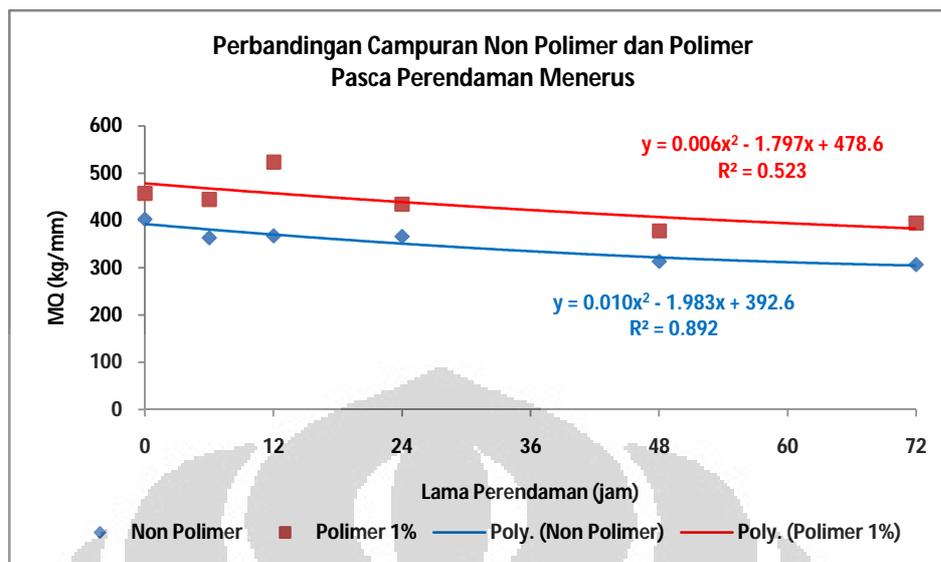


Gambar 4.36 Grafik Hubungan Marshall Quotient dengan Waktu Perendaman dengan Pola Menerus pada Campuran Aspal Polimer

Pada grafik yang terdapat pada **Gambar 4.41** dan **Gambar 4.42**, terlihat bahwa semakin lama campuran aspal polimer maupun non polimer terendam dalam air rob, maka nilai MQ atau hasil bagi marshallnya semakin menurun. Untuk mengetahui besarnya penurunan nilai MQ dapat dilihat pada **Tabel 4.37** dan **Gambar 4.37**.

Tabel 4.37 Perbandingan Perubahan Nilai MQ Pasca Perendaman Menerus

Waktu Rendam	Non Polimer		Polimer	
	MQ(kg/mm)	% Penurunan	MQ(kg/mm)	% Penurunan
0 jam	403	0.00	458	0.00
6 jam	364	9.62	445	2.83
12 jam	368	8.70	524	-14.41
24 jam	367	8.95	435	5.02
48 jam	314	22.10	379	17.21
72 jam	307	23.83	395	13.74



Gambar 4.37 Perbandingan Nilai MQ Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Menerus

Dari **Tabel 4.37** dan **Gambar 4.37** dapat dijelaskan bahwa ketika campuran aspal non polimer terendam dalam waktu yang relatif singkat yaitu 6 jam hingga 24 jam, terjadi penurunan maksimal sebesar 9,62% dari nilai MQ awal yaitu sebesar 403 kg/mm. Penurunan yang cukup signifikan terjadi saat campuran non polimer terendam dalam air rob selama 48 jam dimana terjadi penurunan MQ hingga sebesar 22,10% dan sedikit menurun hingga sebesar 23,83% setelah direndam secara menerus selama 72 jam.

Sedangkan pada campuran aspal polimer penurunan nilai MQ relatif kecil dengan waktu perendaman yang singkat. Penurunan terjadi secara signifikan pada campuran yang terendam selama 48 jam yaitu sebesar 17,21%, tetapi pada saat terendam selama 72 jam penurunan MQ yang terjadi hanya 13,24%. Terjadi penyimpangan data (bias) pada nilai MQ setelah direndam 12 jam, dikarenakan nilai kelelahan juga menyimpang sehingga menghasilkan nilai MQ yang relatif besar (kelelahan berbanding terbalik dengan MQ).

Penurunan nilai MQ pada kedua campuran aspal dikarenakan nilai MQ sebanding dengan nilai stabilitas, dimana nilai stabilitas pada kedua campuran aspal tersebut juga menurun dengan semakin lama terendam dalam air rob. Penurunan nilai MQ ini mengindikasikan kemampuan kedua

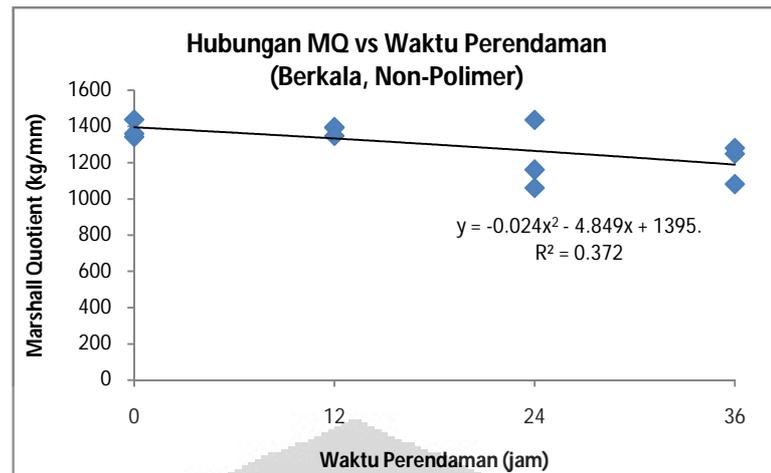
campuran aspal dalam merespon beban yang diberikan menurun. Hal ini kemungkinan disebabkan karena kohesi atau gaya tarik menarik dalam aspal menurun akibat oksidasi selama direndam dalam air rob. Selain itu juga kemungkinan adhesi atau ikatan antara aspal dan agregat menurun, sama halnya alasan yang terkait dengan penurunan nilai stabilitas dan peningkatan nilai kelelahan seperti dijelaskan sebelumnya, karena nilai MQ ini sebanding dengan stabilitas dan berbanding terbalik dengan kelelahan. Pada **Tabel 4.37** terlihat bahwa penurunan nilai MQ pada campuran aspal non polimer lebih besar dibandingkan campuran aspal polimer. Hal ini dapat diartikan bahwa campuran polimer memiliki ketahanan yang lebih baik ketika direndam air rob terhadap kekakuan campurannya karena kohesi pada aspal polimer yang lebih kuat dibandingkan aspal non polimer.

4.5.5.2 Perendaman Berkala (*Intermittent*)

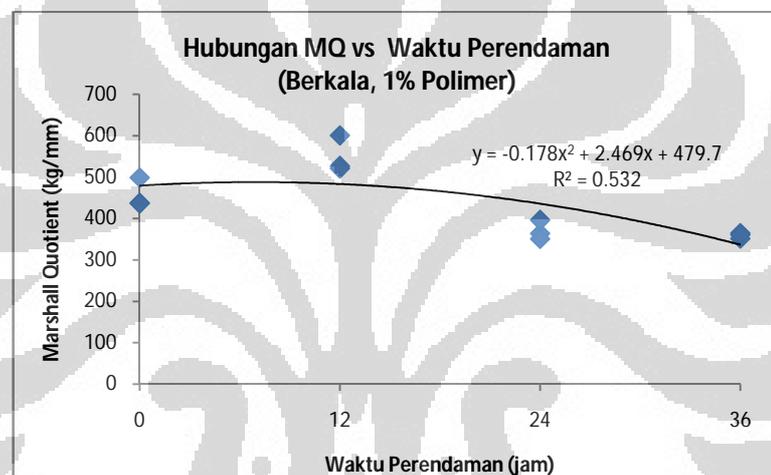
Pengaruh perendaman berkala terhadap nilai MQ pada campuran aspal non polimer dan polimer disajikan pada **Tabel 4.36**.

Tabel 4.38 Nilai MQ Pasca Perendaman Berkala

Campuran Aspal	Waktu Perendaman					
	0 jam	-	-	12 jam	24 jam	36 jam
Non polimer	372.94	-	-	349.12	351.84	347.37
	423.37	-	-	357.38	334.22	277.60
	412.19	-	-	396.80	303.41	337.43
Rata-rata	402.83	-	-	367.77	329.82	320.80
Polimer 1%	437.25	-	-	601.22	363.83	351.80
	437.08	-	-	526.47	350.71	364.86
	499.01	-	-	521.05	396.03	360.55
Rata-rata	457.78	-	-	549.58	370.19	359.07



Gambar 4.38 Grafik Hubungan Marshall Quotient dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Non polimer

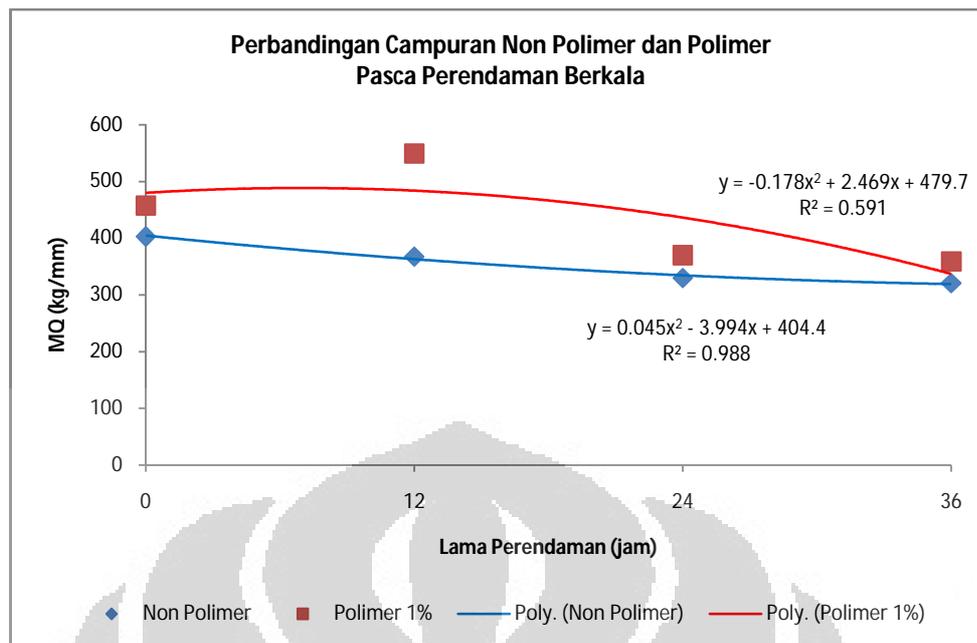


Gambar 4.39 Grafik Hubungan Marshall Quotient dengan Waktu Perendaman dengan Pola Berkala pada Campuran Aspal Polimer

Secara keseluruhan seperti terdapat pada Gambar 4.38 dan Gambar 4.39, terlihat bahwa semakin lama campuran aspal non polimer dan polimer direndam dalam air rob dengan pola siklik (*intermittent*) maka nilai MQ cenderung menurun. Besarnya penurunan nilai MQ pada campuran aspal polimer dan polimer dapat dilihat pada Tabel 4.39 dan Gambar 4.40.

Tabel 4.39 Perbandingan Perubahan Nilai MQ Pasca Perendaman Berkala

Waktu Rendam		Non Polimer		Polimer	
Siklus	Rendam	MQ(kg/mm)	% Penurunan	MQ(kg/mm)	% Penurunan
Hari ke -0	0 jam	403	0.00	458	0.00
Hari ke-1	12 jam	368	8.70	550	-20.05
Hari ke-2	24 jam	330	18.12	370	19.13
Hari ke-3	36 jam	321	20.36	359	21.56



Gambar 4.40 Perbandingan Nilai MQ Campuran Non Polimer dan Polimer Pasca Perendaman Berkala

Dari **Tabel 4.53** terlihat bahwa penurunan nilai MQ pada campuran aspal non polimer setelah direndam selama 3 hari sebesar 20,30% atau menjadi sebesar 321 kg/mm dari nilai MQ awal yaitu sebesar 403 kg/mm. Sedangkan pada campuran aspal polimer penurunan nilai MQ sebesar 21,56% dari nilai MQ awal sebesar 458 kg/mm. Persentase penurunan nilai MQ akhir antara campuran non polimer dan polimer berbeda tipis pada pola perendaman berkala. Berbeda dengan pola perendaman menerus, dimana campuran non polimer memiliki persentase penurunan yang lebih besar yaitu sebesar 23,83%, dibandingkan campuran polimer maksimal sebesar 17,21%.

Sama halnya dengan perendaman menerus, penurunan nilai MQ pada perendaman berkala juga disebabkan karena kohesi atau gaya tarik menarik dalam aspal yang menurun akibat oksidasi selama direndam dalam air rob. Selain itu juga kemungkinan adhesi atau ikatan antara aspal dan agregat menurun, sama halnya alasan yang terkait dengan penurunan nilai stabilitas dan peningkatan nilai kelelahan seperti dijelaskan sebelumnya, karena nilai MQ ini sebanding dengan stabilitas dan berbanding terbalik dengan kelelahan.

4.5.6 Analisis Perbandingan Pengaruh Perendaman Menerus dan Berkala

Dari hasil pengujian volumetrik dan marshall terhadap campuran aspal non polimer dan polimer, dibuat analisis gabungan dari data-data tersebut untuk mengetahui pola perendaman mana yang lebih berpengaruh terhadap nilai stabilitas kedua campuran. Data-data tersebut diseleksi dengan mempertimbangkan tren dari sebaran datanya dan atau diambil nilai rata-rata seperti pada pembahasan sebelumnya. Dalam membandingkan karakteristik campuran antara perendaman menerus dan berkala, disesuaikan dengan waktu perendaman kedua pola tersebut, misalnya perendaman selama 24 jam pada pola menerus akan dibandingkan dengan perendaman selama 12 jam atau siklus hari pertama pada pola berkala. Pada **Tabel 4.40** s/d **Tabel 4.44** dijelaskan nilai perbandingan karakteristik campuran pasca perendaman menerus dan perendaman berkala.

Tabel 4.40 Resume Nilai VIM Gabungan

Waktu Rendam/Siklus	Non Polimer		Polimer	
	Menerus	Berkala	Menerus	Berkala
Hari ke -0	5.26	5.26	4.34	4.34
Hari ke-1	6.32	5.75	4.55	4.52
Hari ke-2	6.36	6.55	5.12	4.40
Hari ke-3	6.45	6.64	5.29	4.46

Tabel 4.41 Resume Nilai VMA Gabungan

Waktu Rendam/Siklus	Non Polimer		Polimer	
	Menerus	Berkala	Menerus	Berkala
Hari ke -0	13.97	13.97	13.13	13.13
Hari ke-1	14.93	14.41	13.32	13.26
Hari ke-2	14.97	15.43	13.72	13.24
Hari ke-3	14.74	15.22	13.99	13.39

Tabel 4.42 Resume Nilai Stabilitas Gabungan

Waktu Rendam/Siklus	Non Polimer		Polimer	
	Menerus	Berkala	Menerus	Berkala
Hari ke -0	1400	1400	1960	1960
Hari ke-1	1267	1380	1829	1876
Hari ke-2	1238	1299	1663	1649
Hari ke-3	1184	1205	1630	1478

Tabel 4.43 Resume Nilai Kelelahan Gabungan

Waktu Rendam/Siklus	Non Polimer		Polimer	
	Menerus	Berkala	Menerus	Berkala
Hari ke -0	3.43	3.43	4.23	4.23
Hari ke-1	3.47	3.77	4.10	3.43
Hari ke-2	3.97	3.70	4.33	4.47
Hari ke-3	3.90	3.77	4.20	4.03

Tabel 4.44 Resume Nilai MQ Gabungan

Waktu Rendam/Siklus	Non Polimer		Polimer	
	Menerus	Berkala	Menerus	Berkala
Hari ke -0	403	403	458	458
Hari ke-1	367	368	435	550
Hari ke-2	314	330	379	370
Hari ke-3	307	321	395	359

Dapat dilihat pada Tabel 4.40 s/d Tabel 4.44 dimana yang ditandai dengan warna kuning adalah perendaman yang paling besar pengaruhnya terhadap karakteristik campuran. Pengaruh perendaman terlihat berbeda terhadap masing-masing karakteristik campuran dan jenis campurannya. Untuk nilai VIM dan VMA, pola perendaman yang berpengaruh kuat pada campuran non polimer adalah dengan pola berkala, sedangkan pada campuran polimer adalah dengan pola menerus. Untuk nilai stabilitas, kelelahan dan MQ justru sebaliknya, dimana pola perendaman yang berpengaruh kuat pada campuran non polimer adalah dengan pola menerus, sedangkan pada campuran polimer adalah dengan pola berkala. Namun secara keseluruhan baik perendaman menerus maupun berkala, semakin lama campuran aspal baik itu polimer maupun non polimer terendam dalam air rob, dapat mempengaruhi kinerja berupa penurunan durabilitas atau keawetan campuran, ditandai dengan meningkatnya VIM, VMA dan kelelahan, dan menurunnya nilai stabilitas dan *marshall quotient* (MQ).

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Material Campuran Aspal

- a. Seluruh pemeriksaan aspal keras pen 60/70 telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007.
- b. Pemeriksaan pada aspal polimer meliputi penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakar serta daktilitas. Semakin tinggi kandungan polimer, nilai penetrasinya makin menurun karena viskositasnya meningkat, sedangkan titik lembek cenderung meningkat. Penambahan polimer terbukti mampu meningkatkan sifat dasar aspal terhadap dalam tingkat kekerasan (kekakuan) dan kepekaan terhadap temperatur.
- c. Seluruh pemeriksaan agregat baik agregat kasar, medium maupun halus, telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007.

2. Penentuan Campuran Aspal Ideal

- a. Campuran aspal ideal digunakan sebagai campuran yang akan direndam dalam air rob, terdiri dari campuran aspal non polimer dan campuran aspal polimer.
- b. Kadar aspal untuk campuran aspal ideal non polimer dan polimer sebesar 6,5%. Kandungan polimer yang digunakan untuk campuran aspal polimer sebesar 1% SBS.

3. Pengaruh Air Rob Terhadap Karakteristik Campuran

- a. VIM (*Void in Mixture*)
 - Semakin lama campuran aspal baik polimer maupun non polimer terendam dalam air rob, maka nilai VIM cenderung semakin meningkat.
 - Peningkatan nilai VIM pada campuran aspal non polimer lebih besar dibandingkan campuran aspal polimer yaitu masing-masing sebesar 1.19% dan 0,95% pada perendaman menerus (*continuous*). Sedangkan

- dengan perendaman berkala (*intermittent*) sebesar 1,37% untuk campuran non polimer dan 0,18% untuk campuran polimer.
- b. VMA (*Void in Mineral Aggregate*)
- Semakin lama campuran aspal baik polimer maupun non polimer terendam dalam air rob, maka nilai VMA akan semakin meningkat.
 - Peningkatan nilai VIM pada campuran aspal non polimer lebih besar dibandingkan campuran aspal polimer yaitu masing-masing sebesar 0,99% dan 0,86% pada perendaman menerus (*continous*). Sedangkan dengan perendaman berkala (*intermittent*) sebesar 1,46% untuk campuran non polimer dan 0,26% untuk campuran polimer.
- c. Stabilitas
- Semakin lama campuran aspal baik polimer maupun non polimer terendam dalam air rob, maka nilai stabilitas akan semakin menurun.
 - Persentase penurunan stabilitas pada campuran aspal polimer lebih besar dibandingkan campuran aspal non polimer yaitu masing-masing sebesar 16,82% dan 15,43% pada perendaman menerus (*continous*). Sedangkan pada perendaman berkala (*intermittent*) sebesar 13,91% untuk campuran non polimer dan 24,60% untuk campuran polimer.
- d. Kelelahan
- Semakin lama campuran aspal baik polimer maupun non polimer terendam dalam air rob, maka nilai kelelahan cenderung meningkat walaupun tidak terlalu besar peningkatannya. Peningkatan nilai kelelahan ini terjadi baik pada perendaman menerus, maupun perendaman berkala.
- e. MQ (*Marshall Quotient*)
- Semakin lama campuran aspal baik polimer maupun non polimer terendam dalam air rob, maka nilai MQ cenderung akan semakin menurun.
 - Persentase penurunan nilai MQ campuran aspal non polimer pada perendaman menerus lebih besar dibandingkan campuran aspal polimer yaitu masing-masing sebesar 23,83% dan 13,74%.

Sedangkan pada perendaman berkala (*intermittent*) sebesar 20,36% untuk campuran non polimer dan 21,56% untuk campuran polimer.

- f. Secara keseluruhan baik perendaman menerus maupun berkala, semakin lama campuran aspal polimer maupun non polimer terendam dalam air rob, dapat mempengaruhi kinerja berupa penurunan durabilitas atau keawetan campuran, ditandai dengan meningkatnya VIM, VMA dan kelelahan, dan menurunnya nilai stabilitas dan *marshall quotient* (MQ).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diusulkan beberapa saran sebagai berikut:

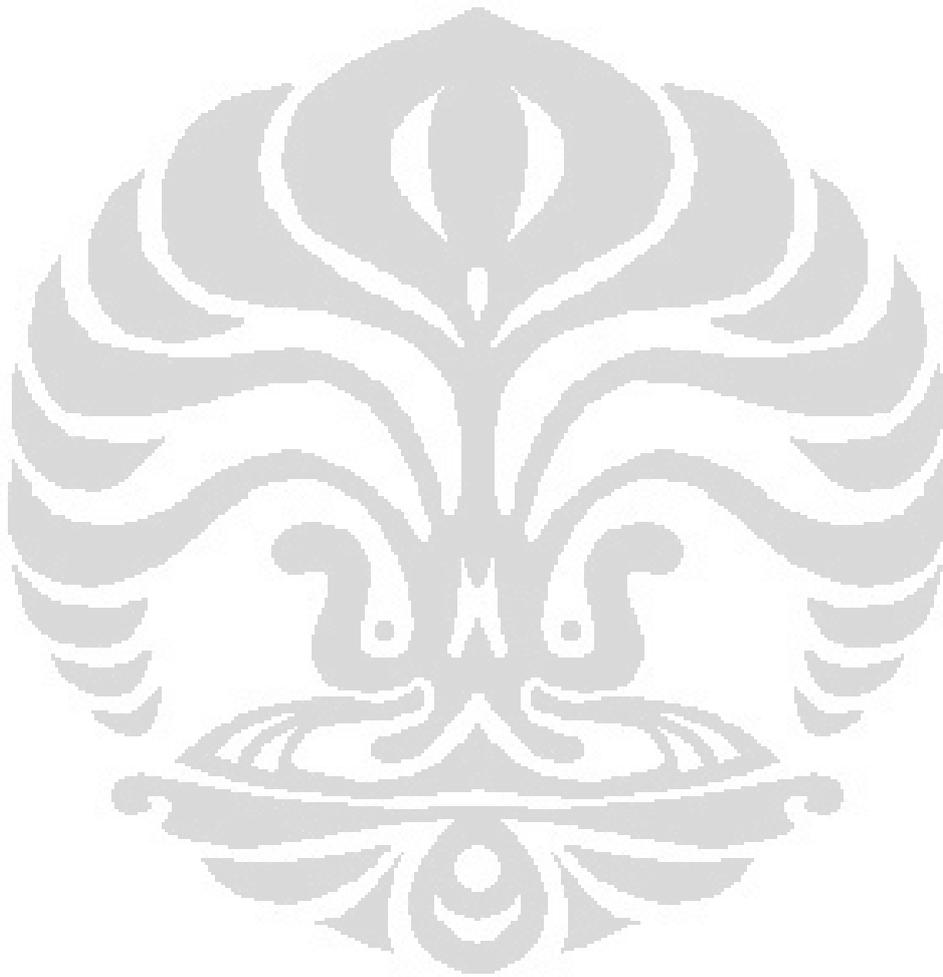
1. Untuk mendapatkan aspal polimer yang homogen sehingga sesuai dengan sifat fisik yang diharapkan, perlu dipertimbangkan kecepatan putaran alat mixer, durasi dan temperatur pencampuran.
2. Untuk mengetahui apakah aspal polimer dihasilkan dari proses pencampuran homogen, perlu dilakukan pemeriksaan melalui foto mikroskopis.

DAFTAR REFERENSI

- Airey, G.D., *Styrene-Butadiene-Styrene Polymer Modification Of Road Bitumens*, Journal Of Materials Science, 39 (2004) 951–959.
- Asphalt Institute, (1993), *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types*, Manual Series No.2 (MS – 2), 6th Edition, The Asphalt Institute.
- Awanti, S.S., Amarnath, M.S., dan Veeraragavan, A., (2008), *Laboratory Evaluation of SBS Modified Bituminous Paving Mix*. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. 327-330.
- Al Hadidy, A.I., Yi-qiu, Tan., (2010), *Comparative Performance of the SMAC Made with the SBS and ST-Modified Binders*, ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. 580-587.
- Brown, S.F. and Brunton, J.M., (1982), *An Introduction of The Analytical Design of Bituminous Pavements*, Second Edition, Department of Civil Engineering, University of Nottingham.
- Brown, S.F., Rowlet, R.D., and Boucher, J.L., (1990), *Asphalt Modification*, Proc.Conf. The United Stated Strategic Highway Research Program, Institution of Civil Engineering, London.
- Chen, Jian-Shiuh., Liao, P.E. Min-Chih., Shiah, Ming-Shen., (2002), *Asphalt Modified by Styrene-Butadiene-Styrene Triblock Copolymer: Morphology and Model*. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering.
- Departemen Pekerjaan Umum (2007), Divisi 6 Perkerasan Aspal, Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, (2002), *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara Bagian:4 Aspal Batu Buton, Perkerasan Jalan.*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Hall, C., (1989), *Polymer Materials*, Second Edition, Macmillan Education LTD, London.
- Irawan, Denny., (2008), *Perancangan dan Pengujian Aspal Porous untuk Volume Kendaraan Ringan dan Analisis Terhadap Indeks Permeabilitas*, Skripsi Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok.

- Koestaman, Ruli., (2010), *Kinerja Laboratorium Dari Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Modifikasi Polimer Neoprene. Tesis Magister*, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya (STJR), Institut Teknologi Bandung.
- Laboratorium Struktur dan Material FTUI, (2009) *Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Perkerasan Jalan.*, Penerbit UI Press, Depok.
- Napitupulu, Fernando., (2009), *Karakteristik Campuran Aspal Beton Dalam Kondisi Terendam Air Hujan Dan Beban Statis Dengan Variasi Waktu Rendaman*, Skripsi Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok.
- Prabowo, Agung.H., *Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (Rob) Terhadap Kinerja Lataston (Hrs-Wc) Berdasarkan Uji Marshall Dan Uji Durabilitas Modifikasi*. PILAR Vol. 12 Nomor 2, September 2003 : hal. 89 – 98.
- Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, (2008), *Kamus Besar Bahasa Indonesia*, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Robert N. Hunter, (2000), *Asphalt in Road Construction*, Thomas Telford Ltd. London.
- Salman, Adrian., (2009), *Karakteristik Campuran Aspal Akibat Pengaruh Derajat Keasaman Air Dengan Reptisi Beban Statis*, Skripsi Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok.
- Suroso, T.W., (2000), *Penelitian Peningkatan Mutu Aspal dengan Polimer Dalam Negeri Untuk Jaringan Prasarana Jalan Wilayah*, Laporan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Prasarana Jalan, Bandung.
- Suroso, T.W., (2000), *Aplikasi Penggunaan Polimer dan Mikro Karbon dalam Meningkatkan Mutu Aspal Untuk Jaringan Jalan Wilayah*, Laporan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Prasarana Jalan, Bandung.
- Syukri, (1999), *Effeect of Salt Water Immersion on The Durability of A Hot Rolled Sheet Mix*, Tesis Magister, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya (STJR), Institut Teknologi Bandung.
- Shell Bitumen, (1990), *Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen, U.K.
- Texas Department of Transportation, (1999), *Test Procedure for Determining Polymer Percentage in Polymer Modified Asphalt Cements*, TxDOT Designation: TEX-533-C.

LAMPIRAN A
HASIL PEMERIKSAAN MATERIAL
(AIR ROB, AIR LAUT, ASPAL DAN AGREGAT)



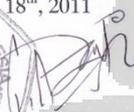
Pemeriksaan Air Rob
(Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPA UI)



Lab. Afiliasi

LABORATORY TEST RESULTS				
Job. Number : 075 / II / 010		Date : 18 - 02 - 2011		
Customer : Sdr. Aep		Attention :		
Sample Code : AF - 075 - 1				
Date Received : 10 - 02 - 2011				
Sample Matrix : Liquid				
No.	Parameters	Sample Result	Unit	Method
1.	Kadar Garam (NaCl)	22.58	g/L	Titrimetry
2.	TDS	1236	mg/L	Gravimetry

February 18th, 2011



Drs. Sunardi M.Si
Director

Page 2 of 2
UI Affiliation Laboratory
Department of Chemistry, Faculty of Mathematic and Science,
University of Indonesia, Depok 16424
Phone 021-7872720, Fax 021-787272

Universitas Indonesia

Pemeriksaan Air Rob
(Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan DTS FTUI)



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN
Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/03/I/2011
Nama Pengirim / Instansi : Siti Fatmawati
Nama Contoh / Kedalaman : Air Rob
Kode Sampel : 03
Lokasi Pengambilan Sampel : Muara Baru
Tanggal Penerimaan Sampel : 27 Januari 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
1	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	38
2	pH		7.15
3	Klorida (Cl)	mg/L	9550
4	Sulfat (SO ₄)	mg/L	2000

Depok, 27 Januari 2011
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Gusniani, MSc.
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

Pemeriksaan Air Laut
(Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan DTS FTUI)



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK PENYEHATAN & LINGKUNGAN
Kampus Baru UI Telp : (021) 7875031, 7270029 Fax. (021) 7270028 Depok 16424 Indonesia

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/19/I/2011
 Nama Pengirim / Instansi : David Silitonga
 Nama Contoh / Kedalaman : Air Laut
 Kode Sampel : 19
 Lokasi Pengambilan Sampel : Pantai Ancol, Jakarta
 Tanggal Penerimaan Sampel : 07 Februari 2011

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA			Rata-rata
			1	2	3	
1	pH		7.15	7.18	7.15	7.16
2	Klorida (Cl)	mg/L	11650	11650	11700	11666
3	Sulfat (SO ₄)	mg/L	1600	1800	1600	1666

Catatan :

- Pengambilan sample dilakukan oleh konsumen bukan merupakan tanggung jawab laboratorium

Depok, 08 Februari 2011
 Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan




Ir. Irmu Gusriani, MSc.
 NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Aspal Keras
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Aspal Pertamina 60/70
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

JENIS PEMERIKSAAN

 I. PENETRASI PADA 25⁰C, 5 DETIK, 100 gram

 II. PENETRASI SETELAH KEHILANGAN BERAT PADA 25⁰C, 5 DETIK, 100 gram

Percobaan I	1	2	3	4	5	Rata-rata
Benda Uji 1	70	70	71	72	73	71,2
Benda Uji 2	68	69	70	72	72	70,2

Percobaan II	1	2	3	4	5	Rata-rata
Benda Uji 1	52	52	53	53	54	52,8
Benda Uji 2	52	53	53	54	56	53,6

Persentase dari penetrasi sebelumnya : 75,25 %

Dikerjakan oleh : Aep Riyadi
 Tanggal : 10 Februari 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

 Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik
 Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Aspal Polimer
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Aspal Pertamina 60/70
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

JENIS ASPAL POLIMER

- ASPAL PEN 60/70, POLIMER SBS, PENCAMPURAN 20 – 30 MENIT, 150⁰ C – 170⁰ C

JENIS PEMERIKSAAN

- PENETRASI PADA 25⁰C, 5 DETIK, 100 gram

Polimer 1%

Percobaan I	1	2	3	4	5	Rata-rata
Benda Uji 1	45	45	47	47	48	46,4
Benda Uji 2	49	47	47	49	48	47

Polimer 2%

Percobaan I	1	2	3	4	5	Rata-rata
Benda Uji 1	42	42	43	45	45	43,4
Benda Uji 2	41	41	42	45	45	42,8

Polimer 3%

Percobaan I	1	2	3	4	5	Rata-rata
Benda Uji 1	37	37	36	36	34	36
Benda Uji 2	36	36	34	36	34	35,2

Polimer 4%

Percobaan I	1	2	3	4	5	Rata-rata
Benda Uji 1	38	36	38	36	36	36,6
Benda Uji 2	36	34	36	33	33	34,4

Dikerjakan oleh : Aep Riyadi
 Tanggal : 1 - 4 April 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

 Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik
 Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Aspal Polimer
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Aspal Pertamina 60/70
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

JENIS ASPAL POLIMER

- ASPAL PEN 60/70, PENCAMPURAN POLIMER SBS, 20 – 30 MENIT, 150⁰ C – 170⁰ C

JENIS PEMERIKSAAN

- PENETRASI PADA 25⁰C, 5 DETIK, 100 gram

Polimer 5%

Percobaan I	1	2	3	4	5	Rata-rata
Benda Uji 1	36	36	34	34	34	34,8
Benda Uji 2	34	34	31	31	35	33

Polimer 6%

Percobaan I	1	2	3	4	5	Rata-rata
Benda Uji 1	34	34	34	33	33	33,6
Benda Uji 2	34	34	35	35	38	35,2

Polimer 7%

Percobaan I	1	2	3	4	5	Rata-rata
Benda Uji 1	35	35	36	35	36	35,4
Benda Uji 2	35	35	33	33	35	34,2

Dikerjakan oleh : Aep Riyadi
 Tanggal : 5 – 6 April 2011

Diperiksa/ditetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Ely Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

 Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik
 Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Pengirim	: PT. Widya Sapta Colas (AMP)	Jenis Contoh	: Aspal Keras dan Polimer
Proyek	: Penelitian Skripsi	Sumber Contoh	: Aspal Pertamina 60/70
Lokasi	: Lab. Struktur dan Material DTS FTUI		

	I	II
NON POLIMER (ASPAL KERAS PEN 60/70)		
• TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR	: 49 ⁰ C	50 ⁰ C
• TEMPERATUR TITIK LEMBEK RATA-RATA	: 49,5 ⁰ C	
ASPAL POLIMER 1% SBS		
• TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR	: 52 ⁰ C	52,5 ⁰ C
• TEMPERATUR TITIK LEMBEK RATA-RATA	: 52,25 C	
ASPAL POLIMER 2% SBS		
• TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR	: 55 ⁰ C	55 ⁰ C
• TEMPERATUR TITIK LEMBEK RATA-RATA	: 55 ⁰ C	
ASPAL POLIMER 3% SBS		
• TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR	: 57,5 ⁰ C	57 ⁰ C
• TEMPERATUR TITIK LEMBEK RATA-RATA	: 57,25 ⁰ C	
ASPAL POLIMER 4% SBS		
• TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR	: 62 ⁰ C	62,5 ⁰ C
• TEMPERATUR TITIK LEMBEK RATA-RATA	: 62,25 ⁰ C	
ASPAL POLIMER 5% SBS		
• TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR	: 71 ⁰ C	76 ⁰ C
• TEMPERATUR TITIK LEMBEK RATA-RATA	: 73,5 ⁰ C	
ASPAL POLIMER 6% SBS		
• TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR	: 72,5 ⁰ C	77 ⁰ C
• TEMPERATUR TITIK LEMBEK RATA-RATA	: 74,75 ⁰ C	
ASPAL POLIMER 7% SBS		
• TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR	: 80 ⁰ C	81 ⁰ C
• TEMPERATUR TITIK LEMBEK RATA-RATA	: 81,5 ⁰ C	

Dikerjakan oleh : Siti Fatmawati
 Tanggal : 14 Februari, 4 – 6 April 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

 Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik
 Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL (CLEVELAND OPEN CUP)

Pengirim	: PT. Widya Sapta Colas (AMP)	Jenis Contoh	: Aspal Keras dan Polimer
Proyek	: Penelitian Skripsi	Sumber Contoh	: Aspal Pertamina 60/70
Lokasi	: Lab. Struktur dan Material DTS FTUI		

NON POLIMER (ASPAL KERAS PEN 60/70)	TEMPERATUR
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA SINGKAT (TITIK NYALA)	: 320 ⁰ C
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA MIN 5 DETIK (TITIK BAKAR)	: 380 ⁰ C
ASPAL POLIMER 1% SBS	
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA SINGKAT (TITIK NYALA)	: 286 ⁰ C
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA MIN 5 DETIK (TITIK BAKAR)	: 304 ⁰ C
ASPAL POLIMER 2% SBS	
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA SINGKAT (TITIK NYALA)	: 284 ⁰ C
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA MIN 5 DETIK (TITIK BAKAR)	: 304 ⁰ C
ASPAL POLIMER 3% SBS	
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA SINGKAT (TITIK NYALA)	: 282 ⁰ C
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA MIN 5 DETIK (TITIK BAKAR)	: 304 ⁰ C
ASPAL POLIMER 4% SBS	
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA SINGKAT (TITIK NYALA)	: 281 ⁰ C
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA MIN 5 DETIK (TITIK BAKAR)	: 300 ⁰ C
ASPAL POLIMER 5% SBS	
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA SINGKAT (TITIK NYALA)	: 280 ⁰ C
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA MIN 5 DETIK (TITIK BAKAR)	: 290 ⁰ C
ASPAL POLIMER 6% SBS	
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA SINGKAT (TITIK NYALA)	: 264 ⁰ C
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA MIN 5 DETIK (TITIK BAKAR)	: 274 ⁰ C
ASPAL POLIMER 7% SBS	
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA SINGKAT (TITIK NYALA)	: 274 ⁰ C
• TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA MIN 5 DETIK (TITIK BAKAR)	: 278 ⁰ C

Dikerjakan oleh : Siti Fatmawati
 Tanggal : 4 – 6 April 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA
Universitas Indonesia


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

DAKTILITAS

Pengirim	: PT. Widya Sapta Colas (AMP)	Jenis Contoh	: Aspal Keras dan Polimer
Proyek	: Penelitian Skripsi	Sumber Contoh	: Aspal Pertamina 60/70
Lokasi	: Lab. Struktur dan Material DTS FTUI		

JENIS ASPAL	WAKTU	JARAK
• NON POLIMER (ASPAL KERAS PEN 60/70)	20 menit	> 100 cm
• ASPAL POLIMER 1% SBS	20 menit	> 100 cm
• ASPAL POLIMER 2% SBS	20 menit	> 100 cm
• ASPAL POLIMER 3% SBS	20 menit	> 100 cm
• ASPAL POLIMER 4% SBS	20 menit	> 100 cm
• ASPAL POLIMER 5% SBS	20 menit	> 100 cm
• ASPAL POLIMER 6% SBS	20 menit	> 100 cm
• ASPAL POLIMER 7% SBS	20 menit	> 100 cm

Dikerjakan oleh : Aep Riyadi
 Tanggal : 10 Februari 2011

Diperiksa/ditetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Ely Tjahjono, DEA


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

 Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik
 Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

PENURUNAN BERAT MINYAK DAN ASPAL (THICK FILM TEST)

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Aspal Keras
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Aspal Pertamina 60/70
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

CAWAN I	BERAT SEBELUM PEMANASAN	BERAT SETELAH PEMANASAN
CAWAN + ASPAL	89,40	89,39
CAWAN	23,93	23,93
ASPAL	65,47	65,46
PENURUNAN BERAT (%)	0,015	

CAWAN II	BERAT SEBELUM PEMANASAN	BERAT SETELAH PEMANASAN
CAWAN + ASPAL	89,73	89,70
CAWAN	22,75	22,75
ASPAL	66,98	66,95
PENURUNAN BERAT (%)	0,045	

Dikerjakan oleh : Aep Riyadi
 Tanggal : 17Februari 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

KELARUTAN BITUMEN DALAM KARBON TETRAKLORIDA (CCl₄)

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Aspal Keras
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Aspal Pertamina 60/70
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

PEMERIKSAAN

Berat Tabung Erlenmeyer	A	135,87	gram
Berat Tabung Erlenmeyer + Benda Uji	B	137,87	gram
Berat Kertas Saring	C	4,43	gram
Berat Kertas Saring + Endapan	D	4,45	gram
Kadar Kelarutan		99 %	

Dikerjakan oleh : Aep Riyadi
 Tanggal : 16 Februari 2011

Diperiksa/ditetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

BERAT JENIS BITUMEN

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Aspal Keras
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Aspal Pertamina 60/70
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

RUMUS PERHITUNGAN:

$$BERAT\ JENIS = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)}$$

PEMERIKSAAN

BERAT PIKNOMETER	A	27,97	gram
BERAT PIKNOMETER + AIR	B	50,21	gram
BERAT PIKNOMETER + ASPAL	C	41,99	gram
BERAT PIKNOMETER + AIR + ASPAL	D	50,66	gram
BERAT JENIS BITUMEN		1,033	

Dikerjakan oleh : Aep Riyadi
 Tanggal : 10 Februari 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

 Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik
 Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR & MEDIUM

Pengirim	:	PT. Widya Sapta Colas (AMP)	Jenis Contoh	:	Agregat Kasar dan Medium
Proyek	:	Penelitian Skripsi	Sumber Contoh	:	Sudamanik
Lokasi	:	Lab. Struktur dan Material DTS FTUI			

		KASAR	MEDIUM	
B _j	=	BERAT CONTOH SSD DI UDARA	5000	5000 gram
B _a	=	BERAT CONTOH SSD DI DALAM AIR	5130	5139 gram
B _k	=	BERAT CONTOH KERING OVEN	3150	3155 gram
BULK SPECIFIC GRAFITY	=	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	= 2,525	2,520
SSD SPECIFIC GRAFITY	=	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	= 2,591	2,590
APPARENT SPECIFIC GRAFITY	=	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	= 2,703	2,710
WATER ABSORPTION	=	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	= 2,6	2,6

Dikerjakan oleh : Aep Riyadi
 Tanggal : 11 Februari 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Agregat Halus
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Sudamanik
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

A = BERAT CONTOH JENUH = 500 gram
 Bk = BERAT CONTOH KERING OVEN = 5000 gram
 B = BERAT PIKNOMETER BERISI AIR = 5130 gram
 Bt = BERAT PIKNOMETER BERISI AIR DAN BENDA UJI = 3150 gram

$$\text{BULK SPECIFIC GRAFITY} = \frac{Bk}{B+500-Bt} = 2,611$$

$$\text{SSD SPECIFIC GRAFITY} = \frac{500}{B+500-Bt} = 2,632$$

$$\text{APPARENT SPECIFIC GRAFITY} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} = 2,667$$

$$\text{WATER ABSORPTION} = \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% = 0,806$$

Dikerjakan oleh : Siti Fatmawati
 Tanggal : 11 & 14 Februari 2011

Diperiksa/ditetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

ANALISIS BUTIRAN

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Agregat
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Sudamanik
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lewat
Agregat Kasar				
1"	25.4	0	0	100
¾"	19.1	197	3.21	96.8
½"	12.7	3783	61.58	35.21
3/8"	9.52	1100	17.91	17.3
No. 04	4.76	962	15.66	1.64
Pan		101	1.64	0
Total		6143	100	
Agregat Medium				
½"	12.7	101	1.58	98.42
3/8"	9.52	2075	32.45	65.97
No. 04	4.76	3413	53.38	12.59
No. 08	2.38	389	6.08	6.51
No.16	1.19	160	2.5	4
No.30	0.59	62	0.97	3.03
Pan		194	3.03	0
Total		6394	100	
Agregat Halus				
No. 04	4.76	228	8.40	91.60
No. 08	2.38	552	20.34	71.26
No.16	1.19	540	19.90	51.36
No.30	0.59	473	17.43	33.94
No. 50	0.279	238	8.77	25.17
No. 100	0.149	281	10.35	14.81
No. 200	0.074	171	6.30	8.51
Pan		231	8.51	0.00
Total		2714	100.00	

Dikerjakan oleh : Aep Riyadi
 Tanggal : 10 Februari 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

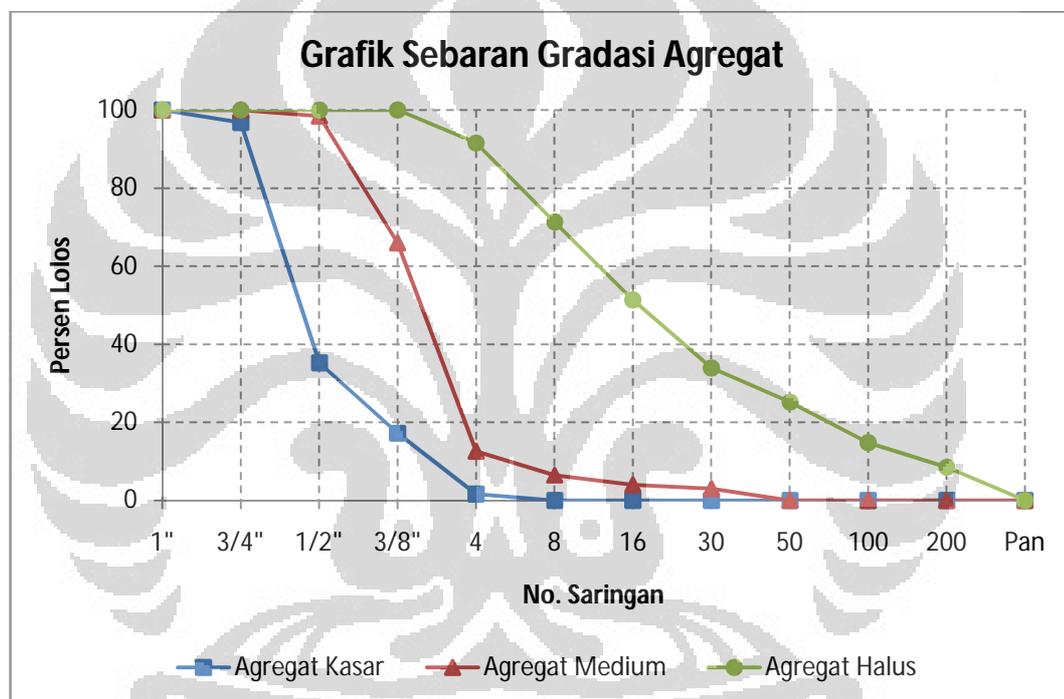
Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

GRAFIK SEBARAN GRADASI AGREGAT

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Agregat
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Sudamanik
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI



Dikerjakan oleh : Siti Fatmawati
 Tanggal : 21 Februari 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

ANALISIS CAMPURAN AGREGAT (BLENDING)

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Agregat
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Sudamanik
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

Saringan No	Agregat Kasar		Agregat Medium		Agregat Halus		Total (%)	Spek IV
	100%	10%	100%	30%	100%	60%		
3/4"	96.79	9.679	100	30	100	60	99.679	100
1/2"	35.21	3.521	98.42	29.526	100	60	93.047	80 - 100
3/8"	17.3	1.73	65.97	19.791	100	60	81.521	70 - 90
4	1.64	0.164	12.59	3.777	91.6	54.96	58.901	50 - 70
8			6.51	1.953	71.26	42.756	44.709	35 - 50
16			4	1.2	51.36	30.816	32.016	
30			3.03	0.909	33.94	20.364	21.273	18 - 29
50					25.17	15.102	15.102	13 - 23
100					14.81	8.886	8.886	8 - 16
200					8.51	5.106	5.106	4 - 10

Dikerjakan oleh : Aep Riyadi & Siti Fatmawati
 Tanggal : 1 Maret 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

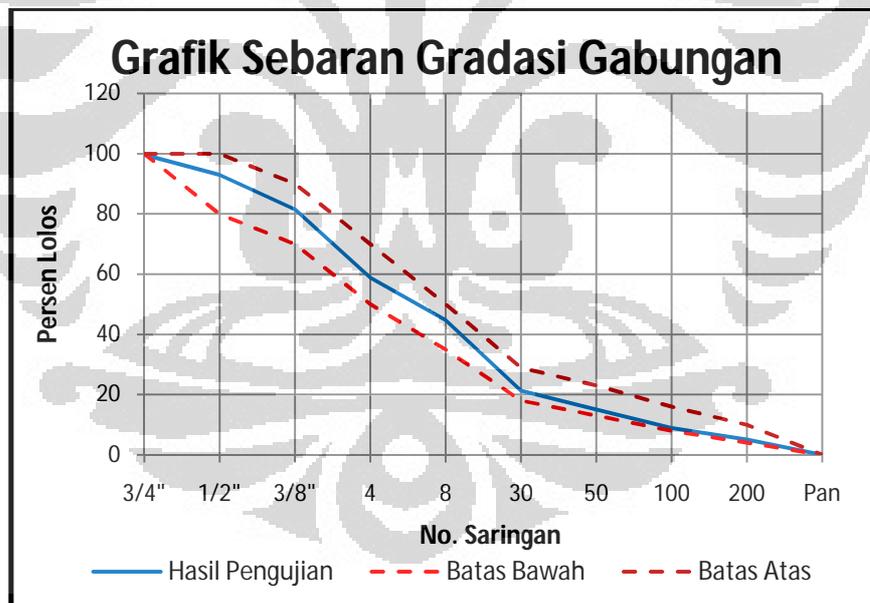
Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

ANALISIS CAMPURAN AGREGAT (BLENDING)

Pengirim : PT. Widya Sapta Colas (AMP) Jenis Contoh : Agregat
 Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Sudamanik
 Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

No Saringan	Persen Lolos	Standar Spek IV	
		Min	Max
3/4"	99.679	100	100
1/2"	93.047	80	100
3/8"	81.521	70	90
4	58.901	50	70
8	44.709	35	50
30	21.273	18	29
50	15.102	13	23
100	8.886	8	16
200	5.106	4	10
Pan	0	0	0



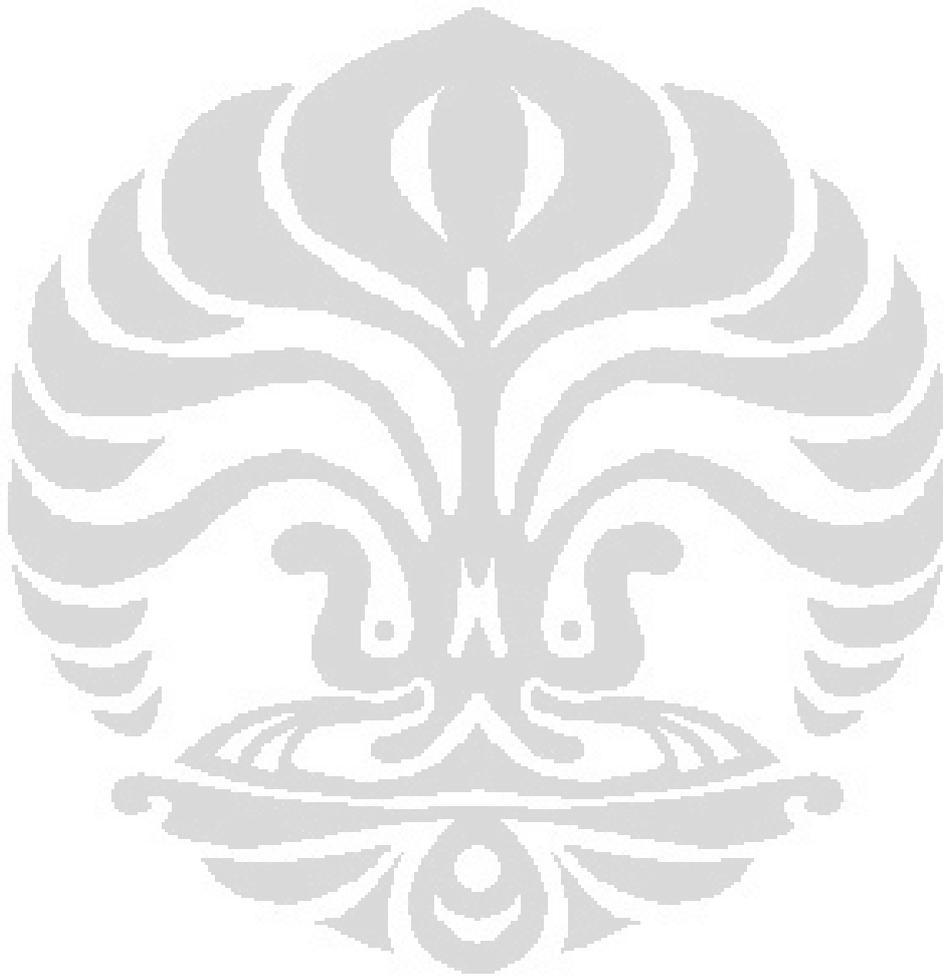
Dikerjakan oleh : Aep Riyadi & Siti Fatmawati
 Tanggal : 1 Maret 2011

Diperiksa/disetujui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Universitas Indonesia

LAMPIRAN B
HASIL UJI MARSHALL
UNTUK PENENTUAN CAMPURAN ASPAL IDEAL




LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

SPESIFIKASI BENDA UJI MARSHALL

Nama : Dikerjakan :
 Judul : penelitian skripsi Diperiksa :
 Jenis contoh : campuran laston non polimer Tanggal : 1 Maret 2011

Benda Uji	No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)					W _{kering udara} (gram)	W _{dalam air} (gram)	W _{jenuh} (gram)
			1	2	3	Rata	Korelasi			
Kadar Aspal (5%)	1	10.16	7.19	7.09	7.08	7.12	0.842	1188	654	1206
	2	10.19	7.15	7.09	7.04	7.09	0.835	1189	652	1210.5
	3	10.22	7.14	7.14	7.13	7.14	0.830	1189	654	1211
	Δ	10.19								
Kadar Aspal (5,5%)	1	10.20	6.89	6.92	6.94	6.92	0.851	1188	649.5	1199
	2	10.24	6.73	6.74	6.73	6.73	0.879	1183	660.5	1197
	3	10.20	6.96	6.97	7.00	6.98	0.845	1191	656.5	1207.5
	Δ	10.21								
Kadar Aspal (6%)	1	10.15	6.80	6.84	6.77	6.80	0.866	1188	656	1196
	2	10.25	6.73	6.77	6.71	6.74	0.877	1186	657.5	1196.5
	3	10.19	6.88	6.85	6.82	6.85	0.858	1188	654.5	1199
	Δ	10.20								
Kadar Aspal (6,5%)	1	10.19	6.88	6.89	6.86	6.88	0.855	1182	655	1194.5
	2	10.12	6.74	6.67	6.64	6.68	0.888	1182.5	660.5	1190.5
	3	10.19	6.69	6.67	6.84	6.73	0.879	1187.5	661	1194.5
	Δ	10.17								
Kadar Aspal (7%)	1	10.16	6.69	6.65	6.66	6.67	0.890	1176	651.5	1182.5
	2	10.12	6.65	6.61	6.78	6.68	0.888	1183.5	656	1189
	3	10.17	6.70	6.83	6.73	6.75	0.875	1189.5	659	1195
	Δ	10.15								


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

SPESIFIKASI BENDA UJI MARSHALL

Nama : Dikerjakan :
 Judul : penelitian skripsi Diperiksa :
 Jenis contoh : campuran laston 1% polimer Tanggal : 13 April 2011

Benda Uji	No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)					W _{kering udara} (gram)	W _{dalam air} (gram)	W _{jenuh} (gram)
			1	2	3	Rata	Korelasi			
Kadar Aspal (5%)	1	10.20	6.82	6.81	6.81	6.81	0.864	1184.5	662.5	1197
	2	10.16	6.91	6.87	6.85	6.88	0.855	1176.5	652.5	1189
	3	10.23	6.90	6.82	6.80	6.84	0.859	1181	651.5	1201.5
	Δ	10.20								
Kadar Aspal (5,5%)	1	10.14	6.71	6.62	6.52	6.62	0.903	1191.5	671.5	1196.5
	2	10.15	6.58	6.53	6.50	6.54	0.923	1173	656.5	1180.5
	3	10.07	6.82	6.71	6.68	6.74	0.877	1178.5	656	1186
	Δ	10.12								
Kadar Aspal (6%)	1	10.17	6.79	6.72	6.68	6.73	0.879	1176.5	651	1185.5
	2	10.11	6.72	6.71	6.69	6.71	0.883	1175.5	652.5	1184.5
	3	10.19	6.57	6.58	6.57	6.57	0.915	1175.5	655	1181
	Δ	10.16								
Kadar Aspal (6,5%)	1	10.18	6.52	6.42	6.41	6.45	0.946	1173	670	1177
	2	10.14	6.45	6.42	6.39	6.42	0.955	1170	660	1174
	3	10.11	6.47	6.43	6.40	6.43	0.952	1183	658.5	1186.5
	Δ	10.14								
Kadar Aspal (7%)	1	10.16	10.16	6.42	6.42	6.39	6.41	0.957	1174	664
	2	10.21	10.21	6.30	6.51	6.29	6.37	0.984	1179.5	667.5
	3	10.11	10.11	6.39	6.38	6.39	6.39	0.968	1176.5	664.5
	Δ	10.16								


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

SPESIFIKASI BENDA UJI MARSHALL

Nama : Dikerjakan :
 Judul : penelitian skripsi Diperiksa :
 Jenis contoh : campuran laston 2% polimer Tanggal : 13 April 2011

Benda Uji	No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)					W _{kering udara} (gram)	W _{dalam air} (gram)	W _{jenuh} (gram)
			1	2	3	Rata	Korelasi			
Kadar Aspal (5%)	1	10.25	6.68	6.66	6.64	6.66	0.893	1181	654	1190
	2	10.20	6.72	6.69	6.72	6.71	0.883	1178	654.5	1191
	3	10.17	6.52	6.51	6.60	6.54	0.923	1176.5	656.5	1188
	Δ	10.21								
Kadar Aspal (5,5%)	1	10.18	6.61	6.59	6.59	6.60	0.908	1177	660	1188.5
	2	10.19	6.68	6.66	6.64	6.66	0.893	1181	660	1193.5
	3	10.24	6.65	6.65	6.60	6.63	0.900	1181.5	660	1194
	Δ	10.20								
Kadar Aspal (6%)	1	10.19	6.52	6.54	6.51	6.52	0.928	1180.5	664.5	1188
	2	10.16	6.59	6.58	6.59	6.59	0.910	1183.5	667.5	1193
	3	10.16	6.47	6.55	6.49	6.50	0.933	1176.5	662.5	1184.5
	Δ	10.17								
Kadar Aspal (6,5%)	1	10.18	6.45	6.51	6.43	6.46	0.944	1177	665	1186.5
	2	10.14	6.37	6.43	6.38	6.39	0.968	1184	674	1189.5
	3	10.13	6.47	6.51	6.46	6.48	0.938	1187.5	673	1194
	Δ	10.15								
Kadar Aspal (7%)	1	10.12	6.36	6.35	6.34	6.35	1.000	1187.5	676	1194.5
	2	10.17	6.40	6.43	6.43	6.42	0.955	1178	668	1184
	3	10.16	6.42	6.40	6.42	6.41	0.957	1183	673	1187
	Δ	10.15								


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

SPESIFIKASI BENDA UJI MARSHALL

Nama : Dikerjakan :
 Judul : penelitian skripsi Diperiksa :
 Jenis contoh : campuran laston 3% polimer Tanggal : 13 April 2011

Benda Uji	No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)					$W_{\text{kering udara}}$ (gram)	$W_{\text{dalam air}}$ (gram)	W_{jenuh} (gram)
			1	2	3	Rata	Korelasi			
Kadar Aspal (5%)	1	10.13	6.67	6.55	6.59	6.60	0.908	1186.5	675.5	1205
	2	10.08	6.69	6.59	6.59	6.62	0.903	1177.5	671.5	1204
	3	10.19	6.62	6.60	6.61	6.61	0.905	1187	663	1195.5
	Δ	10.13								
Kadar Aspal (5,5%)	1	10.25	6.68	6.75	6.67	6.70	0.884	1183.5	665	1199
	2	10.18	6.67	6.67	6.69	6.68	0.888	1182.5	664	1200.5
	3	10.05	6.72	6.71	6.71	6.71	0.883	1186.5	664	1203
	Δ	10.16								
Kadar Aspal (6%)	1	10.17	6.59	6.62	6.63	6.61	0.905	1178.5	660	1190
	2	10.19	6.41	6.43	6.41	6.42	0.944	1174.5	657.5	1182
	3	10.20	6.51	6.52	6.53	6.52	0.928	1179	666	1186
	Δ	10.19								
Kadar Aspal (6,5%)	1	10.13	6.63	6.72	6.61	6.65	0.895	1174.5	651.5	1184.5
	2	10.12	6.59	6.52	6.61	6.57	0.915	1200.5	676.5	1207
	3	10.12	6.38	6.38	6.39	6.38	0.976	1173.5	662	1180.5
	Δ	10.12								
Kadar Aspal (7%)	1	10.20	6.51	6.45	6.49	6.48	0.938	1181.5	667	1186
	2	10.20	6.34	6.38	6.40	6.37	0.984	1176	662	1182
	3	10.18	6.55	6.40	6.42	6.46	0.944	1178.5	668	1183.5
	Δ	10.19								


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

 suhu pencampuran : 145^o-155^o C

 suhu pemadatan : 110^o-135^o C

 suhu pengujian : 60^o C

berat jenis aspal : 1,033

berat jenis agg.eff : 2,63

MARSHALL TEST

Jenis contoh : campuran laston non polimer

Kalibrasi Alat : 23.10149

Benda uji		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	Korelasi Tinggi	q	r	s
		(%)	(mm)	(gram)	(gram)	(gram)	(ml)	gr/ml	gr/ml			(%)	(%)	(%)	(%)				(kg)	(mm)	(kg/mm)
5 % aspal	1	5	7.120	1188	1206	654	552	2.15	2.44	0.10	81.82	18.07	18.18	0.13	11.81	40.00	924.06	0.84	778.06	2.80	277.88
	2	5	7.093	1189	1210.5	652	558.5	2.13	2.44	0.10	80.94	18.96	19.06	0.13	12.76	38.00	877.86	0.84	733.01	2.50	293.20
	3	5	7.137	1189	1211	654	557	2.13	2.44	0.10	81.16	18.74	18.84	0.13	12.53	30.00	693.04	0.83	575.23	2.20	261.47
	rata-rata													18.69	12.37				695.43	2.50	277.52
5.5 % aspal	1	5.5	6.917	1188	1199	649.5	549.5	2.16	2.42	0.12	82.19	17.69	17.81	0.14	10.77	43.50	1004.91	0.85	855.48	3.10	275.96
	2	5.5	6.733	1183	1197	660.5	536.5	2.21	2.42	0.12	83.83	16.06	16.17	0.14	8.99	47.00	1085.77	0.88	954.39	3.20	298.25
	3	5.5	6.977	1191	1207.5	656.5	551	2.16	2.42	0.12	82.17	17.71	17.83	0.14	10.79	49.00	1131.97	0.85	956.52	3.10	308.55
	rata-rata													17.27	10.19				922.13	3.13	294.25
6 % aspal	1	6	6.803	1188	1196	656	540	2.20	2.41	0.13	83.63	16.24	16.37	0.15	8.56	51.00	1178.18	0.87	1020.30	3.55	287.41
	2	6	6.737	1186	1196.5	657.5	539	2.20	2.41	0.13	83.65	16.23	16.35	0.15	8.54	53.00	1224.38	0.88	1073.78	3.60	298.27
	3	6	6.850	1188	1199	654.5	544.5	2.18	2.41	0.13	82.94	16.93	17.06	0.15	9.31	45.00	1039.57	0.86	891.95	3.70	241.07
	rata-rata													16.59	8.80				995.34	3.62	275.58
6.5 % aspal	1	6.5	6.877	1182	1194.5	655	539.5	2.19	2.39	0.14	83.28	16.58	16.72	0.17	8.29	53.00	1224.38	0.86	1046.84	3.55	294.89
	2	6.5	6.683	1182.5	1190.5	660.5	530	2.23	2.39	0.14	84.81	15.05	15.19	0.17	6.61	55.00	1270.58	0.89	1128.28	3.40	331.85
	3	6.5	6.733	1187.5	1194.5	661	533.5	2.23	2.39	0.14	84.61	15.25	15.39	0.17	6.83	48.00	1108.87	0.88	974.70	3.75	259.92
	rata-rata													15.77	7.24				1049.94	3.57	295.55
7 % aspal	1	7	6.667	1176	1182.5	651.5	531	2.21	2.37	0.15	84.18	15.67	15.82	0.18	6.64	46.00	1062.67	0.89	945.78	4.30	219.95
	2	7	6.680	1183.5	1189	656	533	2.22	2.37	0.15	84.40	15.45	15.60	0.18	6.40	51.00	1178.18	0.89	1046.22	4.10	255.18
	3	7	6.753	1189.5	1195	659	536	2.22	2.37	0.15	84.35	15.50	15.65	0.18	6.45	52.00	1201.28	0.88	1051.12	4.05	259.54
	rata-rata													15.69	6.50				1014.37	4.15	244.89


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

suhu pencampuran : 170° C

suhu pemadatan : 150° C

suhu pengujian : 60° C

berat jenis aspal : 1,033

berat jenis agg. eff : 2,63

MARSHALL TEST

Jenis contoh : campuran laston 1% polimer

Kalibrasi Alat : 23.10149

Benda uji		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	Korelasi Tinggi	q	r	s
		(%)	(mm)	(gram)	(gram)	(gram)	(ml)	gr/ml	gr/ml			(%)	(%)	(%)	(%)				(kg)	(mm)	(kg/mm)
5 % aspal	1	5	6.813	1184.5	1197	662.5	534.5	2.22	2.44	0.11	84.25	15.64	15.75	0.13	9.19	88.00	2032.93	0.86	1756.45	3.40	516.60
	2	5	6.877	1176.5	1189	652.5	536.5	2.19	2.44	0.11	83.37	16.52	16.63	0.13	10.14	82.00	1894.32	0.86	1619.65	3.60	449.90
	3	5	6.840	1181	1201.5	651.5	550	2.15	2.44	0.10	81.64	18.26	18.36	0.13	12.01	57.00	1316.78	0.86	1131.12	4.10	275.88
	rata-rata												16.91		10.45				1502.41	3.70	414.13
5.5 % aspal	1	5.5	6.617	1191.5	1196.5	671.5	525	2.27	2.42	0.12	86.28	13.60	13.72	0.14	6.33	99.00	2287.05	0.90	2065.20	3.50	590.06
	2	5.5	6.537	1173	1180.5	656.5	524	2.24	2.42	0.12	85.10	14.78	14.90	0.14	7.61	92.00	2125.34	0.92	1961.69	3.40	576.97
	3	5.5	6.737	1178.5	1186	656	530	2.22	2.42	0.12	84.53	15.35	15.47	0.14	8.23	75.00	1732.61	0.88	1519.50	3.80	399.87
	rata-rata												14.70		7.39				1848.80	3.57	522.30
6 % aspal	1	6	6.730	1176.5	1185.5	651	534.5	2.20	2.41	0.13	83.67	16.20	16.33	0.15	8.51	68.00	1570.90	0.88	1380.82	3.50	394.52
	2	6	6.707	1175.5	1184.5	652.5	532	2.21	2.41	0.13	84.00	15.88	16.00	0.15	8.16	73.00	1686.41	0.88	1489.10	3.50	425.46
	3	6	6.573	1175.5	1181	655	526	2.23	2.41	0.13	84.95	14.92	15.05	0.15	7.11	86.00	1986.73	0.92	1817.86	4.10	443.38
	rata-rata												15.79		7.93				1562.59	3.70	421.12
6.5 % aspal	1	6.5	6.450	1173	1177	670	507	2.31	2.39	0.15	87.95	11.91	12.05	0.17	3.15	85.00	1963.63	0.95	1857.59	4.80	387.00
	2	6.5	6.420	1170	1174	660	514	2.28	2.39	0.14	86.53	13.33	13.47	0.17	4.72	83.00	1917.42	0.96	1831.14	3.60	508.65
	3	6.5	6.433	1183	1186.5	658.5	528	2.24	2.39	0.14	85.17	14.69	14.83	0.17	6.21	92.00	2125.34	0.95	2023.32	4.40	459.85
	rata-rata												13.45		4.69				1904.02	4.27	451.83
7 % aspal	1	7	6.410	1174	1179	664	515	2.28	2.37	0.15	86.65	13.20	13.35	0.18	3.91	76.00	1755.71	0.96	1680.22	3.70	454.11
	2	7	6.367	1179.5	1183.5	667.5	516	2.29	2.37	0.15	86.89	12.96	13.11	0.18	3.64	72.00	1663.31	0.98	1636.69	3.60	454.64
	3	7	6.387	1176.5	1179.5	664.5	515	2.28	2.37	0.15	86.83	13.01	13.17	0.18	3.70	78.00	1801.92	0.97	1744.25	3.50	498.36
	rata-rata												13.21		3.75				1687.06	3.60	469.04


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

suhu pencampuran : 170° C

suhu pemadatan : 150° C

suhu pengujian : 60° C

berat jenis aspal : 1,033

berat jenis agg.eff : 2,63

MARSHALL TEST

Jenis contoh : campuran laston 2% polimer

Kalibrasi Alat : 23.10149

Benda uji		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	Korelasi Tinggi	q	r	s
		(%)	(mm)	(gram)	(gram)	(gram)	(ml)	gr/ml	gr/ml			(%)	(%)	(%)	(%)				(kg)	(mm)	(kg/mm)
5 % aspal	1	5	6.660	1181	1190	654	536	2.20	2.44	0.11	83.77	16.13	16.23	0.13	9.71	83.00	1917.42	0.89	1712.26	4.20	407.68
	2	5	6.710	1178	1191	654.5	536.5	2.20	2.44	0.11	83.48	16.42	16.52	0.13	10.02	68.00	1570.90	0.88	1387.11	4.00	346.78
	3	5	6.543	1176.5	1188	656.5	531.5	2.21	2.44	0.11	84.16	15.74	15.84	0.13	9.29	76.00	1755.71	0.92	1620.52	3.40	476.62
	rata-rata												16.20		9.68				1573.30	3.87	410.36
5.5 % aspal	1	5.5	6.597	1177	1188.5	660	528.5	2.23	2.42	0.12	84.66	15.22	15.34	0.14	8.09	81.00	1871.22	0.91	1699.07	3.80	447.12
	2	5.5	6.660	1181	1193.5	660	533.5	2.21	2.42	0.12	84.16	15.73	15.84	0.14	8.64	72.00	1663.31	0.89	1485.33	3.80	390.88
	3	5.5	6.633	1181.5	1194	660	534	2.21	2.42	0.12	84.11	15.77	15.89	0.14	8.68	63.00	1455.39	0.90	1309.85	3.10	422.53
	rata-rata												15.69		8.47				1498.09	3.57	420.18
6 % aspal	1	6	6.523	1180.5	1188	664.5	523.5	2.26	2.41	0.13	85.72	14.15	14.28	0.15	6.27	85.00	1963.63	0.93	1822.25	3.40	535.95
	2	6	6.587	1183.5	1193	667.5	525.5	2.25	2.41	0.13	85.61	14.26	14.39	0.15	6.39	79.00	1825.02	0.91	1660.77	3.40	488.46
	3	6	6.503	1176.5	1184.5	662.5	522	2.25	2.41	0.13	85.68	14.19	14.32	0.15	6.32	84.00	1940.53	0.93	1810.51	3.60	502.92
	rata-rata												14.33		6.33				1764.51	3.47	509.11
6.5 % aspal	1	6.5	6.463	1177	1186.5	665	521.5	2.26	2.39	0.14	85.79	14.07	14.21	0.17	5.53	70.00	1617.10	0.94	1526.55	4.70	324.80
	2	6.5	6.393	1184	1189.5	674	515.5	2.30	2.39	0.14	87.31	12.55	12.69	0.17	3.86	85.00	1963.63	0.97	1900.79	4.10	463.61
	3	6.5	6.480	1187.5	1194	673	521	2.28	2.39	0.14	86.64	13.22	13.36	0.17	4.59	87.00	2009.83	0.94	1885.22	4.50	418.94
	rata-rata												13.42		4.66				1770.85	4.43	402.45
7 % aspal	1	7	6.350	1187.5	1194.5	676	518.5	2.29	2.37	0.16	87.05	12.79	12.95	0.18	3.46	76.00	1755.71	1.00	1755.71	3.30	532.03
	2	7	6.420	1178	1184	668	516	2.28	2.37	0.15	86.78	13.07	13.22	0.18	3.77	70.00	1617.10	0.96	1544.33	3.60	428.98
	3	7	6.413	1183	1187	673	514	2.30	2.37	0.16	87.48	12.36	12.52	0.18	2.98	87.00	2009.83	0.96	1923.41	4.30	447.30
	rata-rata												12.90		3.40				1741.15	3.73	469.44


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

suhu pencampuran : 170° C

suhu pemadatan : 150° C

suhu pengujian : 60° C

berat jenis aspal : 1,033

berat jenis agg. eff : 2,63

MARSHALL TEST

Jenis contoh : campuran laston 3% polimer

Kalibrasi Alat : 23.10149

Benda uji		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	Korelasi Tinggi	q	r	s
		(%)	(mm)	(gram)	(gram)	(gram)	(ml)	gr/ml	gr/ml			(%)	(%)	(%)	(%)				(kg)	(mm)	(kg/mm)
5 % aspal	1	5	6.60	1186.5	1205	675.5	529.5	2.24	2.44	0.11	85.19	14.70	14.81	0.13	8.18	93.00	2148.44	0.91	1950.78	3.50	557.37
	2	5	6.62	1177.5	1204	671.5	532.5	2.21	2.44	0.11	84.07	15.82	15.93	0.13	9.39	74.00	1709.51	0.90	1543.69	3.80	406.23
	3	5	6.61	1187	1195.5	663	532.5	2.23	2.44	0.11	84.75	15.15	15.25	0.13	8.66	99.00	2287.05	0.91	2069.78	4.00	517.44
	rata-rata												15.33		8.74				1854.75	3.77	493.68
5.5 % aspal	1	5.5	6.70	1183.5	1199	665	534	2.22	2.42	0.12	84.26	15.63	15.74	0.14	8.53	73.00	1686.41	0.88	1490.79	3.60	414.11
	2	5.5	6.68	1182.5	1200.5	664	536.5	2.20	2.42	0.12	83.79	16.09	16.21	0.14	9.03	71.00	1640.21	0.89	1456.50	4.40	331.02
	3	5.5	6.71	1186.5	1203	664	539	2.20	2.42	0.12	83.69	16.20	16.31	0.14	9.15	79.00	1825.02	0.88	1611.49	3.90	413.20
	rata-rata												16.09		8.90				1519.59	3.97	386.11
6 % aspal	1	6	6.61	1178.5	1190	660	530	2.22	2.41	0.13	84.53	15.34	15.47	0.15	7.58	76.00	1755.71	0.91	1588.92	4.10	387.54
	2	6	6.42	1174.5	1182	657.5	524.5	2.24	2.41	0.13	85.12	14.75	14.88	0.15	6.92	68.00	1570.90	0.94	1482.93	3.30	449.37
	3	6	6.52	1179	1186	666	520	2.27	2.41	0.13	86.19	13.68	13.81	0.15	5.76	90.00	2079.13	0.93	1929.44	4.30	448.71
	rata-rata												14.72		6.75				1667.10	3.90	428.54
6.5 % aspal	1	6.5	6.65	1174.5	1184.5	651.5	533	2.20	2.39	0.14	83.76	16.10	16.24	0.17	7.76	72.00	1663.31	0.90	1488.66	4.20	354.44
	2	6.5	6.57	1200.5	1207	676.5	530.5	2.26	2.39	0.14	86.02	13.84	13.98	0.17	5.27	89.00	2056.03	0.92	1881.27	4.10	458.85
	3	6.5	6.38	1173.5	1180.5	662	518.5	2.26	2.39	0.14	86.03	13.83	13.97	0.17	5.26	77.00	1778.81	0.98	1736.12	4.20	413.36
	rata-rata												14.73		6.10				1702.02	4.17	408.88
7 % aspal	1	7	6.48	1181.5	1186	667	519	2.28	2.37	0.15	86.53	13.31	13.47	0.18	4.04	62.00	1432.29	0.94	1343.49	3.80	353.55
	2	7	6.37	1176	1182	662	520	2.26	2.37	0.15	85.96	13.88	14.04	0.18	4.67	94.00	2171.54	0.98	2136.80	4.60	464.52
	3	7	6.46	1178.5	1183.5	668	515.5	2.29	2.37	0.15	86.90	12.95	13.10	0.18	3.63	73.00	1686.41	0.94	1591.97	4.40	361.81
	rata-rata												13.54		4.11				1690.75	4.27	393.29

KETERANGAN :

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

k = jumlah kandungan rongga (%) = 100-i-j
 l = % rongga terhadap agregat = 100-j
 m = % rongga terisi aspal = 100xi/j
 n = % rongga terhadap campuran = 100-(100.g/h)
 o = pembacaan arloji stabilitas
 p = stabilitas = o x kalibrasi alat
 q = stabilitas = p x kolerasi tinggi
 r = kelelahan (mm)

s = nilai marshall = stabilitas/kelelahan
 s = q/r (kg/mm)

$$i = \frac{a \times g}{Bj. Aspal} \qquad j = \frac{(100-a) \times g}{Bj. Agregat}$$

Berat Jenis campuran

Agregat	Bj. Apparent (gr/ml)	Bj. Bulk (gr/ml)	Bj. (gr/ml)	% campuran	Bj. Camp (gr/ml)
Kasar	2.70	2.53	2.61	10	2.63
Medium	2.71	2.52	2.62	30	
Halus	2.67	2.61	2.64	60	
Filler	-	-	0.00	0	

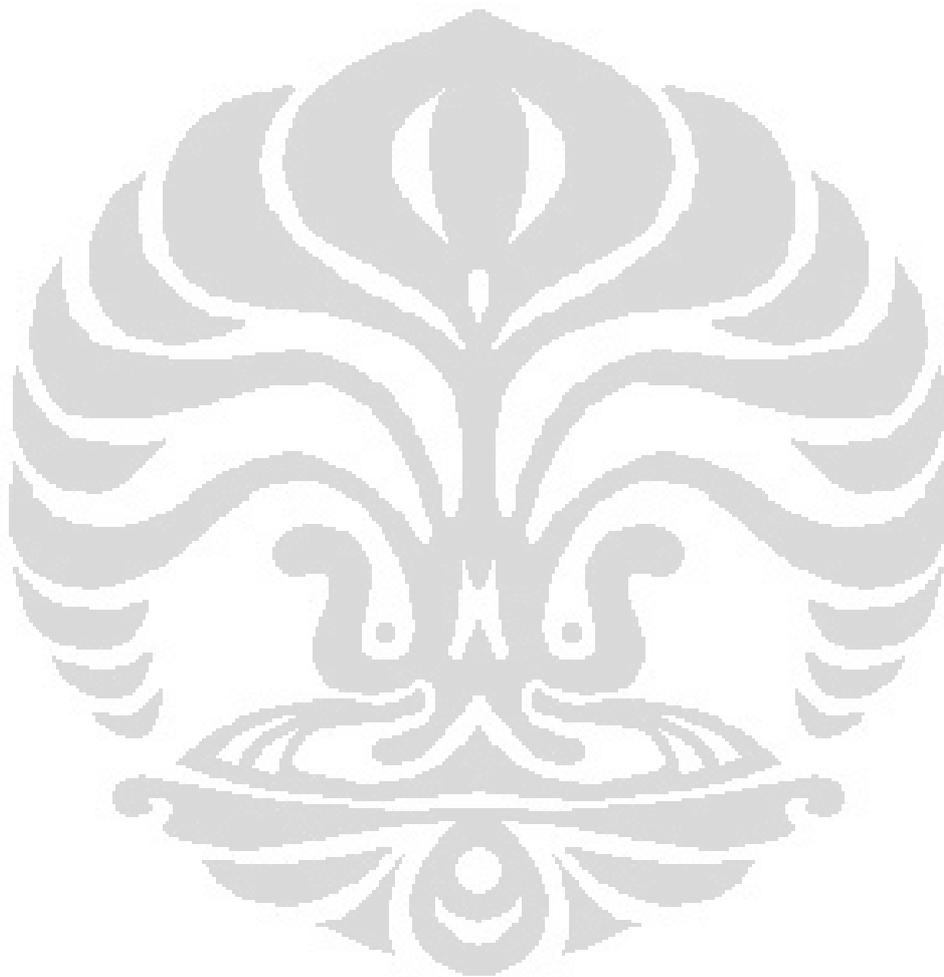
$$Bj. Campuran = \frac{100}{\frac{\% Ag Kasar}{Bj. Kasar} + \frac{\% Ag Medium}{Bj. Medium} + \frac{\% Ag Halus}{Bj. Halus} + \frac{\% Filler}{Bj. Filler}}$$

Berat Jenis Teoritis

% Aspal	% Agregat	Bj. Campuran (gr/ml)	Bj. Aspal (gr/ml)	Bj. Teoritis (gr/ml)
5	95	2.63	1.033	2.441
5.5	94.5			2.423
6	94			2.406
6.5	93.5			2.389
7	93			2.373

$$Bj. Teoritis = \frac{100}{\frac{\% Agregat}{Bj. Agregat} + \frac{\% Aspal}{Bj. Aspal}}$$

LAMPIRAN C
HASIL UJI MARSHALL
PASCA PERENDAMAN DALAM AIR ROB




LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

 suhu pencampuran : 145^o-155^o C

 suhu pemadatan : 110^o-135^o C

 suhu pengujian : 60^o C

berat jenis aspal : 1,033

berat jenis agg.eff : 2,63

MARSHALL TEST

Jenis campuran : campuran non polimer
 Pola rendaman : perendaman menerus (*continous*)
 Kalibrasi Alat : 23.10149

Waktu Rendam	No Sampel	a (%)	b (mm)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (ml)	g gr/ml	h gr/ml	i	j	k (%)	l (%)	m (%)	n (%)	o	p	Korelasi Tinggi	q (kg)	r (mm)	s (kg/mm)
0 jam	1	6.5	6.54	1190	1196	671	525	2.27	2.39	0.14	86.16	13.70	13.84	0.17	5.12	63.0	1455.39	0.92	1342.60	3.60	372.94
	2	6.5	6.51	1188	1194.5	668.5	526	2.26	2.39	0.14	85.85	14.00	14.15	0.17	5.46	67.0	1547.80	0.93	1439.45	3.40	423.37
	3	6.5	6.55	1186.5	1194	670	524	2.26	2.39	0.14	86.07	13.79	13.93	0.17	5.22	64.0	1478.50	0.92	1360.22	3.30	412.19
	rata-rata													13.97		5.26				1380.76	3.43
6 jam	1	6.5	6.60	1196.5	1203.5	665.5	538	2.22	2.39	0.14	84.54	15.32	15.46	0.17	6.91	71.0	1640.21	0.91	1488.49	3.70	402.29
	2	6.5	6.51	1187.5	1194	663	531	2.24	2.39	0.14	85.01	14.85	14.99	0.17	6.39	60.0	1386.09	0.93	1289.06	4.10	314.41
	3	6.5	6.59	1183	1191.5	655	536.5	2.21	2.39	0.14	83.82	16.04	16.18	0.17	7.70	63.0	1455.39	0.91	1324.41	4.00	331.10
	rata-rata													15.54		7.00				1367.32	3.93
12 jam	1	6.5	6.51	1185	1191	663	528	2.24	2.39	0.14	85.31	14.55	14.69	0.17	6.05	65.0	1501.60	0.93	1396.49	4.00	349.12
	2	6.5	6.82	1184	1188	670.5	517.5	2.29	2.39	0.14	86.97	12.89	13.03	0.17	4.23	70.0	1617.10	0.86	1393.78	3.90	357.38
	3	6.5	6.58	1192.5	1200	663.5	536.5	2.22	2.39	0.14	84.49	15.37	15.51	0.17	6.96	64.0	1478.50	0.91	1349.13	3.40	396.80
	rata-rata													14.41		5.75				1379.80	3.77
24 jam	1	6.5	6.61	1179.5	1190	656	534	2.21	2.39	0.14	83.96	15.90	16.04	0.17	7.54	66.0	1524.70	0.91	1379.85	3.40	405.84
	2	6.5	6.50	1186	1193.5	669	524.5	2.26	2.39	0.14	85.95	13.90	14.05	0.17	5.35	54.0	1247.48	0.93	1163.53	3.20	363.60
	3	6.5	6.54	1186	1193	664.5	528.5	2.24	2.39	0.14	85.30	14.56	14.70	0.17	6.06	59.0	1362.99	0.92	1257.36	3.80	330.88
	rata-rata													14.93		6.32				1266.91	3.47


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

 suhu pencampuran : 145⁰-155⁰ C

 suhu pemadatan : 110⁰-135⁰ C

 suhu pengujian : 60⁰ C

berat jenis aspal : 1,033

berat jenis agg.eff : 2,63

MARSHALL TEST (cont'd)

Jenis campuran : campuran non polimer
 Pola rendaman : perendaman menerus (*continous*)
 Kalibrasi Alat : 23.10149

Waktu Rendam	No Sampel	a (%)	b (mm)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (ml)	g gr/ml	h gr/ml	i	j	k (%)	l (%)	m (%)	n (%)	o	p	Korelasi Tinggi	q (kg)	r (mm)	s (kg/mm)
48 jam	1	6.5	6.56	1190.5	1202	668.5	533.5	2.23	2.39	0.14	84.82	15.03	15.18	0.17	6.59	66.0	1524.70	0.92	1398.91	4.00	349.73
	2	6.5	6.50	1193	1205	672.5	532.5	2.24	2.39	0.14	85.16	14.70	14.84	0.17	6.22	55.0	1270.58	0.93	1185.07	3.60	329.19
	3	6.5	6.61	1189	1199.5	668.5	531	2.24	2.39	0.14	85.12	14.74	14.88	0.17	6.27	54.0	1247.48	0.91	1128.97	4.30	262.55
	rata-rata												14.97		6.36				1237.65	3.97	313.82
72 jam	1	6.5	6.46	1184.0	1194	670	524	2.26	2.39	0.14	85.89	13.97	14.11	0.17	5.42	55.0	1270.58	0.94	1198.16	4.20	285.28
	2	6.5	6.56	1184.5	1200	669.5	530.5	2.23	2.39	0.14	84.87	14.99	15.13	0.17	6.54	49.0	1131.97	0.92	1039.15	4.00	259.79
	3	6.5	6.62	1185.5	1198	668	530	2.24	2.39	0.14	85.03	14.83	14.97	0.17	6.37	63.0	1455.39	0.90	1314.22	3.50	375.49
	rata-rata												14.74		6.11				1183.84	3.90	306.85


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

 suhu pencampuran : 145^o-155^o C

 suhu pemadatan : 110^o-135^o C

 suhu pengujian : 60^o C

berat jenis aspal : 1,033

berat jenis agg.eff : 2,63

MARSHALL TEST

Jenis campuran : campuran non polimer
 Pola rendaman : perendaman berkala (*intermittent*)
 Kalibrasi Alat : 23.10149

Waktu Rendam	No Sampel	a (%)	b (mm)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (ml)	g gr/ml	h gr/ml	i	j	k (%)	l (%)	m (%)	n (%)	o	p	Korelasi Tinggi	q (kg)	r (mm)	s (kg/mm)
0 jam	1	6.5	6.54	1190	1196	671	525	2.27	2.39	0.14	86.16	13.70	13.84	0.17	5.12	63.0	1455.39	0.92	1342.60	3.60	372.94
	2	6.5	6.51	1188	1194.5	668.5	526	2.26	2.39	0.14	85.85	14.00	14.15	0.17	5.46	67.0	1547.80	0.93	1439.45	3.40	423.37
	3	6.5	6.55	1186.5	1194	670	524	2.26	2.39	0.14	86.07	13.79	13.93	0.17	5.22	64.0	1478.50	0.92	1360.22	3.30	412.19
	rata-rata													13.97		5.26				1380.76	3.43
12 jam	1	6.5	6.51	1185	1191	663	528	2.24	2.39	0.14	85.31	14.55	14.69	0.17	6.05	65.0	1501.60	0.93	1396.49	4.00	349.12
	2	6.5	6.82	1184	1188	670.5	517.5	2.29	2.39	0.14	86.97	12.89	13.03	0.17	4.23	70.0	1617.10	0.86	1393.78	3.90	357.38
	3	6.5	6.58	1192.5	1200	663.5	536.5	2.22	2.39	0.14	84.49	15.37	15.51	0.17	6.96	64.0	1478.50	0.91	1349.13	3.40	396.80
	rata-rata													14.41		5.75				1379.80	3.77
24 jam	1	6.5	6.64	1189.5	1200	666	534	2.23	2.39	0.14	84.67	15.19	15.33	0.17	6.76	56.0	1293.68	0.90	1161.08	3.30	351.84
	2	6.5	6.49	1183.5	1193	664	529	2.24	2.39	0.14	85.04	14.82	14.96	0.17	6.35	66.5	1536.25	0.94	1437.16	4.30	334.22
	3	6.5	6.70	1191	1202.5	663.5	539	2.21	2.39	0.14	83.99	15.87	16.01	0.17	7.51	52.0	1201.28	0.88	1061.93	3.50	303.41
	rata-rata													15.43		6.87				1220.06	3.70
36 jam	1	6.5	6.56	1190.5	1198.5	669	529.5	2.25	2.39	0.14	85.47	14.39	14.53	0.17	5.89	59.0	1362.99	0.92	1250.54	3.60	347.37
	2	6.5	6.59	1195.5	1207	668	539	2.22	2.39	0.14	84.31	15.55	15.69	0.17	7.16	51.5	1189.73	0.91	1082.65	3.90	277.60
	3	6.5	6.62	1187	1197.5	664	533.5	2.22	2.39	0.14	84.58	15.28	15.42	0.17	6.87	61.5	1420.74	0.90	1282.22	3.80	337.43
	rata-rata													15.22		6.64				1205.14	3.77

Universitas Indonesia


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

 suhu pencampuran : 170^o C

 suhu pemadatan : 150^o C

 suhu pengujian : 60^o C

berat jenis aspal : 1,033

berat jenis agg.eff : 2,63

MARSHALL TEST

Jenis campuran : campuran polimer
 Pola rendaman : perendaman menerus (*continous*)
 Kalibrasi Alat : 23.10149

Waktu Rendam	No Sampel	a (%)	b (mm)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (ml)	g gr/ml	h gr/ml	i	j	k (%)	l (%)	m (%)	n (%)	o	p	Korelasi Tinggi	q (kg)	r (mm)	s (kg/mm)
0 jam	1	6.5	6.34	1177	1182	666.5	515.5	2.28	2.39	0.14	86.79	13.07	13.21	0.17	4.43	93	2148.44	1.04	2236.52	4.60	486.20
	2	6.5	6.34	1176.5	1181.5	667	514.5	2.29	2.39	0.14	86.92	12.93	13.08	0.17	4.28	72	1663.31	1.04	1731.50	4.50	384.78
	3	6.5	6.31	1171.5	1177	664	513	2.28	2.39	0.14	86.81	13.05	13.19	0.17	4.41	75	1732.61	1.04	1803.65	4.10	439.91
	rata-rata												13.16		4.37				1923.89	4.40	436.96
6 jam	1	6.5	6.33	1171.5	1177	663.5	513.5	2.28	2.39	0.14	86.72	13.13	13.28	0.17	4.50	75	1732.61	1.04	1803.65	3.00	601.22
	2	6.5	6.27	1170.5	1176.5	663	513.5	2.28	2.39	0.14	86.65	13.21	13.35	0.17	4.58	81	1871.22	1.04	1947.94	3.70	526.47
	3	6.5	6.34	1173	1178.5	664.5	514	2.28	2.39	0.14	86.75	13.11	13.25	0.17	4.47	78	1801.92	1.04	1875.79	3.60	521.05
	rata-rata												13.29		4.52				1875.79	3.43	549.58
12 jam	1	6.5	6.51	1185	1191	663	528	2.24	2.39	0.14	85.31	14.55	14.69	0.17	6.05	65.0	1501.60	0.93	1396.49	4.00	349.12
	2	6.5	6.82	1184	1188	670.5	517.5	2.29	2.39	0.14	86.97	12.89	13.03	0.17	4.23	70.0	1617.10	0.86	1393.78	3.90	357.38
	3	6.5	6.58	1192.5	1200	663.5	536.5	2.22	2.39	0.14	84.49	15.37	15.51	0.17	6.96	64.0	1478.50	0.91	1349.13	3.40	396.80
	rata-rata												14.41		5.75				1379.80	3.77	367.77
24 jam	1	6.5	6.47	1201	1206	682	524	2.29	2.39	0.14	87.12	12.73	12.88	0.17	4.06	83	1917.42	0.94	1804.30	4.20	429.59
	2	6.5	6.35	1170.5	1175.5	662	513.5	2.28	2.39	0.14	86.65	13.21	13.35	0.17	4.58	80	1848.12	1.00	1848.12	4.20	440.03
	3	6.5	6.39	1172	1178	661.5	516.5	2.27	2.39	0.14	86.26	13.60	13.74	0.17	5.02	82	1894.32	0.97	1833.70	3.90	470.18
	rata-rata												13.32		4.55				1828.71	4.10	446.60


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

 suhu pencampuran : 170^o C

 suhu pemadatan : 150^o C

 suhu pengujian : 60^o C

berat jenis aspal : 1,033

berat jenis agg.eff : 2,63

MARSHALL TEST (cont'd)

Jenis campuran : campuran polimer
 Pola rendaman : perendaman menerus (*continous*)
 Kalibrasi Alat : 23.10149

Waktu Rendam	No Sampel	a (%)	b (mm)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (ml)	g (gr/ml)	h (gr/ml)	i	j	k (%)	l (%)	m (%)	n (%)	o	p	Korelasi Tinggi	q (kg)	r (mm)	s (kg/mm)
48 jam	1	6.5	6.45	1185.5	1194.5	673.5	521	2.28	2.39	0.14	86.49	13.36	13.51	0.17	4.75	75	1732.61	0.95	1639.05	4.50	364.23
	2	6.5	6.35	1182.5	1192.5	670.5	522	2.27	2.39	0.14	86.11	13.75	13.89	0.17	5.18	73	1686.41	1.00	1686.41	4.40	383.27
	3	6.5	6.40	1175	1184	666	518	2.27	2.39	0.14	86.23	13.63	13.77	0.17	5.05	72	1663.31	0.96	1596.77	4.10	389.46
	rata-rata												13.72		4.99				1640.74	4.33	378.99
72 jam	1	6.5	6.41	1178.5	1188.5	669	519.5	2.27	2.39	0.14	86.23	13.62	13.77	0.17	5.04	78	1801.92	0.96	1724.43	4.20	410.58
	2	6.5	6.47	1182.5	1192.5	669.5	523	2.26	2.39	0.14	85.95	13.91	14.05	0.17	5.36	75	1732.61	0.94	1630.39	4.30	379.16
	3	6.5	6.57	1175.5	1188.5	668	520.5	2.26	2.39	0.14	85.85	14.01	14.15	0.17	5.46	59	1362.99	0.92	1247.13	4.10	304.18
	rata-rata												13.99		5.29				1533.99	4.20	364.64


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp (021) 787 4878 (Ext. 110/111) – 727 0028 (Fax)

 suhu pencampuran : 170^o C

 suhu pemadatan : 150^o C

 suhu pengujian : 60^o C

berat jenis aspal : 1,033

berat jenis agg.eff : 2,63

MARSHALL TEST

Jenis campuran : campuran polimer
 Pola rendaman : perendaman berkala (*intermittent*)
 Kalibrasi Alat : 23.10149

Waktu Rendam	No Sampel	a (%)	b (mm)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (ml)	g (gr/ml)	h (gr/ml)	i	j	k (%)	l (%)	m (%)	n (%)	o	p	Korelasi Tinggi	q (kg)	r (mm)	s (kg/mm)
0 jam	1	6.5	6.54	1190	1196	671	525	2.27	2.39	0.14	86.16	13.70	13.84	0.17	5.12	63.0	1455.39	0.92	1342.60	3.60	372.94
	2	6.5	6.51	1188	1194.5	668.5	526	2.26	2.39	0.14	85.85	14.00	14.15	0.17	5.46	67.0	1547.80	0.93	1439.45	3.40	423.37
	3	6.5	6.55	1186.5	1194	670	524	2.26	2.39	0.14	86.07	13.79	13.93	0.17	5.22	64.0	1478.50	0.92	1360.22	3.30	412.19
	rata-rata												13.97		5.26				1380.76	3.43	402.83
12 jam	1	6.5	6.33	1171.5	1177	663.5	513.5	2.28	2.39	0.14	86.72	13.13	13.28	0.17	4.50	75	1732.61	1.04	1803.65	3.00	601.22
	2	6.5	6.27	1170.5	1176.5	663	513.5	2.28	2.39	0.14	86.65	13.21	13.35	0.17	4.58	81	1871.22	1.04	1947.94	3.70	526.47
	3	6.5	6.34	1173	1178.5	664.5	514	2.28	2.39	0.14	86.75	13.11	13.25	0.17	4.47	78	1801.92	1.04	1875.79	3.60	521.05
	rata-rata												13.29		4.52				1875.79	3.43	549.58
24 jam	1	6.5	6.38	1179	1185	671.5	513.5	2.30	2.39	0.14	87.28	12.58	12.72	0.17	3.89	71	1640.21	0.98	1600.84	4.40	363.83
	2	6.5	6.30	1172	1179.5	666	513.5	2.28	2.39	0.14	86.76	13.10	13.24	0.17	4.46	70	1617.10	1.04	1683.41	4.80	350.71
	3	6.5	6.35	1173.5	1180.5	667	513.5	2.29	2.39	0.14	86.87	12.99	13.13	0.17	4.34	72	1663.31	1.00	1663.31	4.20	396.03
	rata-rata												13.03		4.23				1649.18	4.47	370.19
36 jam	1	6.5	6.37	1176	1183.5	670	513.5	2.29	2.39	0.14	87.06	12.80	12.94	0.17	4.14	65	1501.60	0.98	1477.57	4.20	351.80
	2	6.5	6.39	1171.5	1182	667.5	514.5	2.28	2.39	0.14	86.55	13.30	13.45	0.17	4.69	62	1432.29	0.97	1386.46	3.80	364.86
	3	6.5	6.16	1160.5	1172.5	663.5	509	2.28	2.39	0.14	86.67	13.19	13.33	0.17	4.56	61	1409.19	1.05	1478.24	4.10	360.55
	rata-rata												13.24		4.46				1447.42	4.03	359.07

KETERANGAN :

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

k = jumlah kandungan rongga (%) = 100-i-j
 l = % rongga terhadap agregat = 100-j
 m = % rongga terisi aspal = 100xi/j
 n = % rongga terhadap campuran = 100-(100.g/h)
 o = pembacaan arloji stabilitas
 p = stabilitas = o x kalibrasi alat
 q = stabilitas = p x kolerasi tinggi
 r = kelelahan (mm)

s = nilai marshall = stabilitas/kelelahan
 s = q/r (kg/mm)

$$i = \frac{a \times g}{Bj. Aspal} \qquad j = \frac{(100-a) \times g}{Bj. Agregat}$$

Berat Jenis campuran

Agregat	Bj. Apparent (gr/ml)	Bj. Bulk (gr/ml)	Bj. (gr/ml)	% campuran	Bj. Camp (gr/ml)
Kasar	2.70	2.53	2.61	10	2.63
Medium	2.71	2.52	2.62	30	
Halus	2.67	2.61	2.64	60	
Filler	-	-	0.00	0	

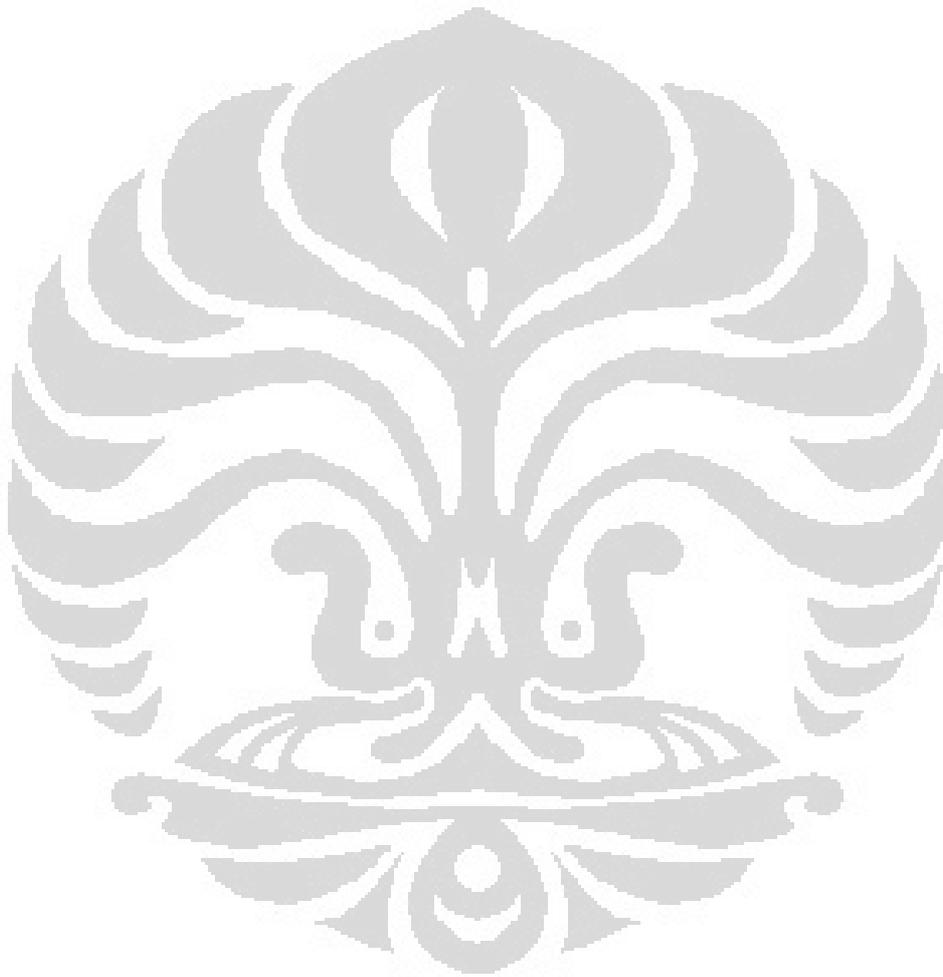
$$Bj. Campuran = \frac{100}{\frac{\% Ag Kasar}{Bj. Kasar} + \frac{\% Ag Medium}{Bj. Medium} + \frac{\% Ag Halus}{Bj. Halus} + \frac{\% Filler}{Bj. Filler}}$$

Berat Jenis Teoritis

% Aspal	% Agregat	Bj. Campuran (gr/ml)	Bj. Aspal (gr/ml)	Bj. Teoritis (gr/ml)
5	95	2.63	1.033	2.441
5.5	94.5			2.423
6	94			2.406
6.5	93.5			2.389
7	93			2.373

$$Bj. Teoritis = \frac{100}{\frac{\% Agregat}{Bj. Agregat} + \frac{\% Aspal}{Bj. Aspal}}$$

LAMPIRAN D
DOKUMENTASI PENELITIAN

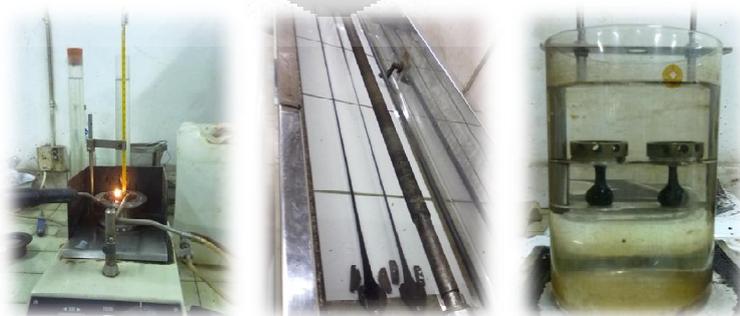




Pengambilan Sampel Air Rob di Lokasi Banjir Rob yang terletak di Muara Baru, Penjaringan, Jakarta Utara
Tanggal 21 Januari 2011



Pencampuran Aspal dan Polimer



Pengujian Material Campuran Aspal



Pembuatan Sampel Benda Uji



Perendaman Sampel Benda Uji dalam Air Rob



Pengukuran Volumetrik dan Pengujian Marshall