



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGGUNAAN BAHAN ADITIF JENIS POLIMER
TERHADAP KINERJA CAMPURAN ASPAL PANAS DENGAN
TAMBAHAN VARIASI BGA (*BUTON GRANULAR ASPHALT*)**

SKRIPSI

**MITA AMALIA
0706266430**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGGUNAAN BAHAN ADITIF JENIS POLIMER
TERHADAP KINERJA CAMPURAN ASPAL PANAS DENGAN
TAMBAHAN VARIASI BGA (*BUTON GRANULAR ASPHALT*)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**MITA AMALIA
0706266430**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN TRANSPORTASI
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALYSIS THE USE OF POLYMER AS AN ADDITIVE OF
HOT MIX ASPHALT PERFORMANCE AND VARIATION OF
BGA (*BUTON GRANULAR ASPHALT*)**

FINAL PROJECT

**Submitted as a partial fulfillment of the requirement for the degree of
Bachelor of Engineering**

**MITA AMALIA
0706266430**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN TRANSPORTASI
DEPOK
JANUARI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Mita Amalia

NPM : 0706266430

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 Januari 2012

PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT

I declare that this undergraduate thesis is the result of my own research,
and all of the references either quoted or cited here
have been stated clearly

Name : Mita Amalia

NPM : 0706266430

Signature : 

Date : January, 12th 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Mita Amalia

NPM : 0706266430

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Bahan Aditif Jenis Polimer Terhadap Kinerja Campuran Aspal Panas Dengan Tambah Variasi BGA (*Buton Granular Asphalt*)

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 Rohandi Agah M.Eng

()

Penguji : Dr. Ir. Nahry C., MT

()

Penguji : Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc

()

Ditetapkan di : Depok, Jawa Barat

Tanggal : 12 Januari 2012

STATEMENT OF LEGITIMATION

The final report is submitted by:

Name : Mita Amalia

NPM : 0706266430

Study Program : Teknik Sipil

Title of final report : Analysis The Use of Polymer as an Additive of Hot Mix Asphalt Performance and Variation of BGA (*Buton Granular Asphalt*)

Has been successfully defended in front of the Examiners and accepted as part of the necessary requirements to obtain Bachelor Engineering Degree in Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Indonesia

BOARD OF EXAMINERS

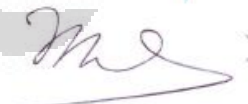
Councilor : Ir. Heddy Rohandi Agah M.Eng

()

Examiner : Dr. Ir. Nahry C., MT

()

Examiner : Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc

()

Approved at : Depok, Jawa Barat

Date : January 12th 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Penggunaan Bahan Aditif Jenis Polimer Terhadap Kinerja Campuran Aspal Panas Dengan Menggunakan Tambahan Variasi Komposisi BGA (*Buton Granular Asphalt*)**” ini dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga besar yang selalu memberikan doa dan dukungan materiil dan moral yang tidak ternilai.
2. Ir. Heddy Rohandi Agah M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
3. Dr. Ir. Nahry C., MT dan Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc sebagai dosen penguji yang telah menyediakan waktu dan tenaga untuk menghadiri sidang akhir skripsi serta memberikan masukan untuk perbaikan skripsi ini.
4. Dr. Ir. Yuskar Lase DEA, selaku dosen pembimbing akademis yang telah bersedia memberi pengarahan dan bimbingan selama kuliah di teknik sipil Universitas Indonesia.
5. PT. Hutama Karya yang telah memberikan bantuan material berupa aspal, agregat kasar, agregat medium, agregat halus dan BGA.
6. PT. WASCO yang telah memberikan bantuan material berupa polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*) dan Bapak Roni beserta karyawan lainnya yang telah bersedia membantu proses pencampuran aspal dengan polimer di laboratorium PT. WASCO.

7. Babeh Jaelani, Bang Nandar, Pak Agus, Pak Apri, Pak Idris, Pak Obeth dan lain-lain selaku karyawan Laboratorium Struktur dan Material yang telah membantu kelancaran penelitian ini dalam hal teknis.
8. Mba Dian, Mba Wati, Mba Mini, Bang Hamid, dan Bang Jali selaku karyawan Departemen Teknik Sipil yang telah membantu kelancaran penelitian ini hingga tahap pengumpulan akhir.
9. Erlin dan Patty yang telah berjuang bersama dalam pembuatan penelitian sebagai tugas akhir ini.
10. Tata, Ungek, Dudun, Disty, Disa, Okty, Leduy, Galay dan seluruh teman-teman Teknik Sipil Universitas Indonesia angkatan 2007 yang selama ini telah memberikan semangat, keceriaan dan dukungan yang tidak ternilai.
11. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu dan telah banyak membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Semoga Allah swt memberikan imbalan yang berlipat ganda atas kemurahan hati terhadap pihak-pihak yang telah ikhlas membantu penyusunan skripsi ini, semoga bermanfaat dan memperoleh berkah-Nya. Saya menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan penulis. Oleh karena itu sangat diperlukan saran yang membangun untuk memperbaiki skripsi ini.

Depok, 12 Januari 2012

Penulis

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

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

Nama : Mita Amalia
NPM : 0706266430
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 :

**Analisis Penggunaan Bahan Aditif Jenis Polimer Terhadap Kinerja
Campuran Aspal Panas Dengan Tambahan Variasi BGA (*Buton Granular Asphalt*)**

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 : 12 Januari 2012

Yang menyatakan



Mita Amalia

ABSTRAK

Nama : Mita Amalia
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Analisis Penggunaan Bahan Aditif Jenis Polimer Terhadap Kinerja Campuran Aspal Panas Dengan Tambahan Variasi BGA (*Buton Granular Asphalt*)

Perkembangan lalu lintas yang semakin padat dan perubahan iklim yang semakin tidak menentu akhir-akhir ini sangat mempengaruhi kualitas permukaan jalan yang seringkali berakibat pada kerusakan fisik dan menjadi penyebab utama ketidaknyamanan pengguna jalan. Skripsi ini membahas tentang usaha peningkatan kinerja campuran aspal dengan menggunakan material modifikasi berupa polimer SBS dan BGA. Polimer SBS dapat meningkatkan ketahanan dan kepekaan aspal terhadap temperatur, sehingga dapat mengurangi deformasi pada suhu tinggi. Sama halnya dengan polimer SBS, selain BGA dapat meningkatkan kualitas perkerasan jalan juga dapat mengurangi jumlah kadar aspal optimum dan penggunaan agregat halus pada campuran. Penelitian dilakukan secara eksperimental di dalam laboratorium dengan kadar polimer 2% dan 4% dari total aspal campuran serta kadar BGA yang digunakan adalah 5% dan 7% dari berat total agregat.

Hasil pengujian menyatakan bahwa campuran aspal dengan komposisi gabungan modifikasi polimer kadar 4% dan BGA kadar 7% menghasilkan kinerja paling optimum ditinjau dari segi kekuatan, dengan nilai stabilitas sebesar 1193,678 kg. Sedangkan campuran aspal dengan komposisi polimer kadar 2% dan BGA kadar 5% merupakan kombinasi campuran ideal yang menghasilkan kinerja paling optimum dari segi ekonomis maupun kekuatannya yang tidak jauh berbeda dengan campuran polimer 4% dan BGA 7%, yaitu sebesar 1152,174 kg.

Kata kunci : Campuran Aspal Panas, Polimer SBS, BGA

ABSTRACT

Name : Mita Amalia
Study Program : Civil Engineering
Title : Analysis The Use of Polymer as an Additive of Hot Mix Asphalt Performance and Variation of BGA (*Buton Granular Asphalt*)

Rapidly developed traffic and uncertain climate change in recent years are very influential to the quality of pavement which is affect to its physical damage and become a major cause of inconvenience. This thesis is about research of hot mix asphalt-performance enhancement using SBS Polymer and BGA. Polymer SBS can improve the resistance and sensitivity of asphalt at high temperatures, so it can reduce deformation of pavement. BGA also have the same performance, but besides BGA can improve the quality of pavement, it can reduce the optimum asphalt content and the use of fine aggregates in mixture. Variation of SBS Polymer in this research are 2% and 4% from content of asphalt in mixture and BGA are 5% and 7% from total aggregates.

Result of this research shows that mixture with Polymer 4% and BGA 7% has the greatest performance reviewed from its strength, with value of stability loads of 1193,678 kg. Whereas mixture with Polymer 2% and BGA 5% is the ideal combination which has the greatest performance reviewed from economic aspect and its stability, which has similiar value of stability, loads of 1152,174 kg.

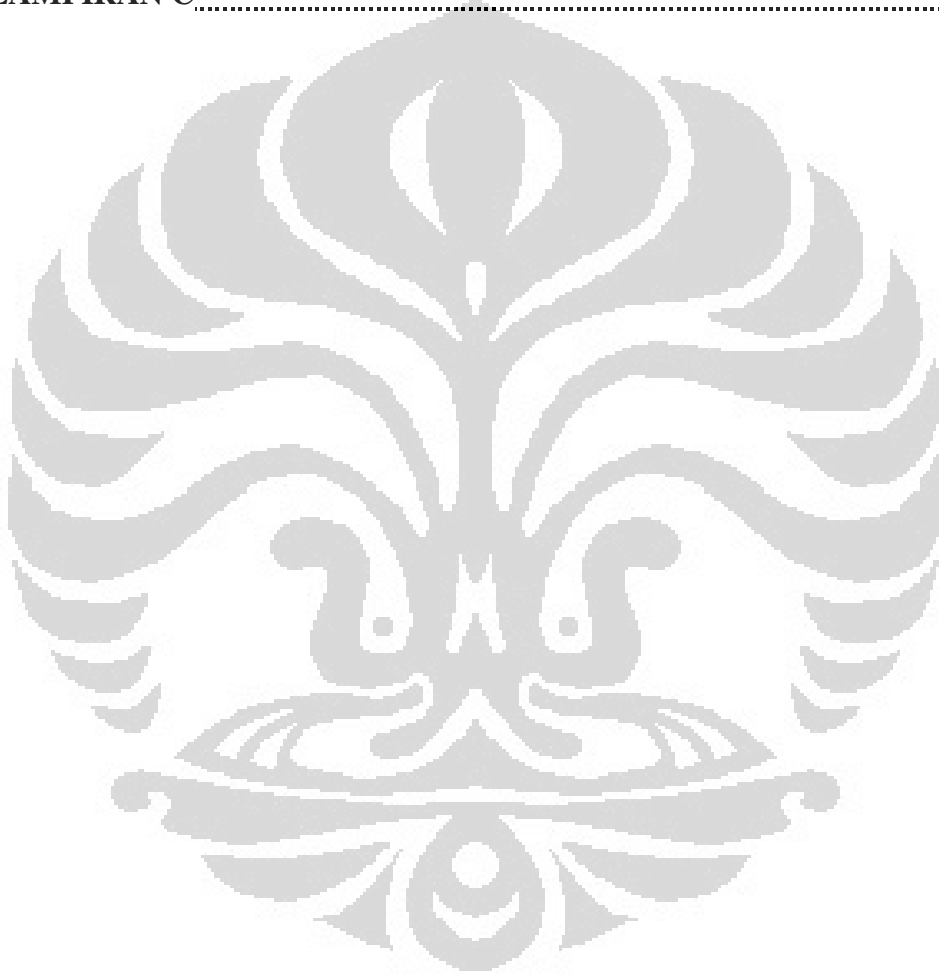
Keywords : Hot Mix Asphalt, Polymer SBS, BGA.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
STATEMENT OF LEGITIMATION	vii
KATA PENGANTAR	viii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Lapis Permukaan Perkerasan Jalan Lentur.....	6
2.2 Campuran Aspal Beton.....	7
2.3 Bahan Pembentuk Campuran Aspal Beton.....	9
2.3.1 Aspal.....	9
2.3.2 Agregat.....	13
2.3.2.1 Agregat Kasar.....	18
2.3.2.2 Agregat Halus.....	20
2.3.2.3 Filler.....	21
2.4 Bahan Tambah Lain Dalam Campuran Aspal beton.....	22
2.4.1 BGA (Buton Granular Asphalt).....	22
2.4.2 Polimer.....	28
2.4.3 Aspal Modifikasi Polimer (AMP).....	31
2.5 Pengujian Material.....	33
2.5.1 Uji Mutu Bahan Dasar Campuran.....	33
2.5.2 Uji Campuran.....	33

2.5.3	Persyaratan Campuran	34
2.5.4	Perhitungan Marshall.....	38
2.5.4.1	Berat Jenis Agregat	38
2.5.4.2	Berat Jenis Aspal Teoritis	38
2.5.4.3	Rongga Terhadap Agregat (VMA/Voids in the Mineral Agregat)	38
2.5.4.4	Rongga Terhadap Campuran (VIM/Voids in Mix)	39
2.5.4.5	Marshall Quotient	41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		42
3.1	Rencana Penelitian	42
3.2	Pelaksanaan.....	50
3.2.1	Bahan Baku Penelitian.....	50
3.2.2	Standar Pengujian	50
3.2.3	Perancangan dan Pembuatan Benda Uji	52
3.2.3.1	Persiapan Campuran	52
3.2.3.2	Pemadatan Benda Uji.....	55
3.2.3.3	Pengujian Marshall	56
3.3	Analisa Data Hasil Pelaksanaan Penelitian	57
3.4	Kesimpulan dan Saran.....	57
BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA PENELITIAN		58
4.1	Pengujian Mutu Material Pembentuk Campuran.....	58
4.1.1	Hasil Uji Mutu Aspal.....	58
4.1.1.1	Aspal AC (pen 60/70)	58
4.1.1.2	Aspal Modifikasi Polimer (AMP).....	60
4.1.2	Hasil Uji Mutu Agregat	61
4.1.3	Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar, Medium dan Halus	62
4.1.4	Hasil Uji Mutu BGA.....	64
4.2	Rancangan Komposisi Campuran Benda Uji	68
4.2.1	Campuran Aspal Murni dan Polimer	72
4.2.2	Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA	72
4.3	Pengujian Campuran Benda Uji Marshall	76
4.3.1	Campuran Aspal Murni	76
4.3.2	Campuran Aspal Modifikasi Polimer	81
4.3.3	Perubahan Kinerja Campuran Aspal Modifikasi Polimer terhadap Campuran Aspal Murni.....	90
4.3.4	Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA	95
4.3.5	Perubahan Kinerja Campuran Aspal Modifikasi Polimer+BGA terhadap Campuran Aspal Modifikasi Polimer	103

4.4	Analisa Pengaruh Penambahan BGA terhadap Campuran Aspal Murni dan Aspal Modifikasi Polimer 2% dan 4%	108
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		111
5.1	Kesimpulan.....	111
5.2	Saran.....	112
DAFTAR PUSTAKA		114
LAMPIRAN A		117
LAMPIRAN B		118
LAMPIRAN C		119



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Susunan lapisan perkerasan lentur (ideal)	6
Gambar 2.2	Jenis Gradasi Agregat.....	17
Gambar 2.3	Kondisi Kelembaban Agregat.....	18
Gambar 2.4	Rantai Penyusun SBS	30
Gambar 2.5	Rantai Kimia SBS	31
Gambar 2.6	Pengertian tentang selimut aspal dalam campuran	39
Gambar 2.7	Skema Volume Beton Aspal.....	40
Gambar 3.1	Perubahan Sifat Aspal dengan Modifikasi Polimer SBS	46
Gambar 3.2	Grafik Sebaran Gradasi Agregat Spesifikasi IV	47
Gambar 4.1	Grafik Sebaran Gradasi Agregat per Fraksi	64
Gambar 4.2	Grafik Sebaran Gradasi BGA Sebelum dan Setelah Ekstraksi.....	66
Gambar 4.3	Penentuan Komposisi Agregat Berdasarkan Grafik Sebaran Gradasi Agregat	69
Gambar 4.4	Grafik Gradasi Gabungan Disesuaikan Tipe Laston Spesifikasi IV ..	70
Gambar 4.5	Gradasi Campuran dengan Penambahan BGA 5%	73
Gambar 4.6	Gradasi Campuran dengan Penambahan BGA 7%	75
Gambar 4.7	Grafik Stabilitas Campuran Aspal Murni vs Kadar Aspal	76
Gambar 4.8	Grafik Kelelehan Campuran Aspal Murni vs Kadar Aspal.....	77
Gambar 4.9	Grafik Nilai Marshall Quotient Campuran Aspal Murni vs Kadar Aspal.....	78
Gambar 4.10	Grafik Nilai VIM Campuran Aspal murni vs Kadar Aspal.....	79
Gambar 4.11	Grafik Nilai VMA Campuran Aspal Murni vs Kadar Aspal.....	80
Gambar 4.12	Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Murni ...	80
Gambar 4.13	Grafik Nilai Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% (a) dan 4% (b)	82
Gambar 4.14	Grafik Nilai Kelelehan Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% (a) dan 4% (b)	84
Gambar 4.15	Grafik Nilai Marshall Quotient Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% (a) dan 4% (b).....	86
Gambar 4.16	Grafik nilai VIM campuran aspal modifikasi polimer 2% (a) dan 4% (b).....	88
Gambar 4.17	Grafik Nilai VMA Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% (a) dan 4% (b).....	89
Gambar 4.18	Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%	90
Gambar 4.19	Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%	90

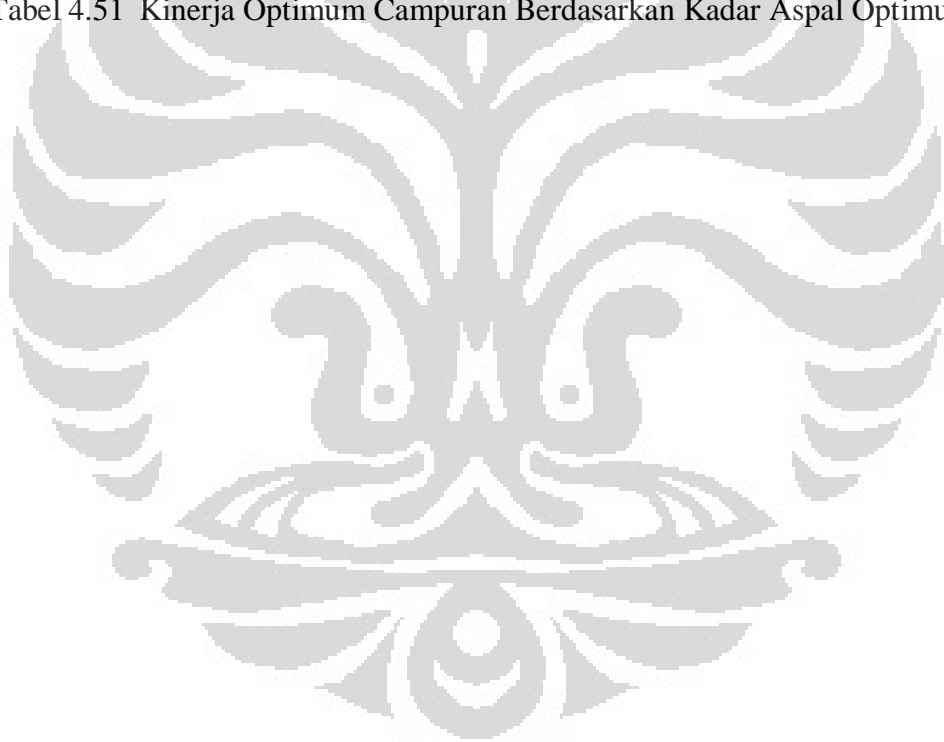
Gambar 4.20	Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer	91
Gambar 4.21	Grafik Perbandingan Nilai Kelelahan pada Kondisi Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer.....	92
Gambar 4.22	Grafik Perbandingan Nilai Marshall Quotient Optimum pada Campuran Murni dan Modifikasi Polimer	93
Gambar 4.23	Grafik Perbandingan Nilai VIM pada Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer	94
Gambar 4.24	Grafik Perbandingan Nilai VMA pada Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer	94
Gambar 4.25	Grafik Nilai Stabilitas pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a); Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA7% (b).....	96
Gambar 4.26	Grafik Nilai Kelelahan pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a); Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA7% (b).....	97
Gambar 4.27	Grafik Nilai MQ (Marshall Quotient) pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a); Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA7% (b)	99
Gambar 4.28	Nilai VIM pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a); Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7% (b).....	101
Gambar 4.29	Grafik Nilai VMA pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a) ; Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (b).....	102
Gambar 4.30	Rekapitulasi Hasil Uji Marshall pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a) dan Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA7% (b).....	103
Gambar 4.31	Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA	104
Gambar 4.32	Grafik Perbandingan Nilai Kelelahan pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA.....	105
Gambar 4.33	Grafik Perbandingan Nilai Marshall Quotient pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA	106
Gambar 4.34	Grafik Perbandingan Nilai VIM pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA.....	106
Gambar 4.35	Grafik Perbandingan Nilai VMA pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA.....	107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Syarat Pemeriksaan Aspal Keras	11
Tabel 2.2	Ukuran Bukaan Saringan	15
Tabel 2.3	Syarat Gradasi Agregat Untuk Berbagai Tipe Laston	16
Tabel 2.4	Persyaratan Pengujian Agregat Kasar.....	19
Tabel 2.5	Jumlah tumbukan masing-masing sisi benda uji.....	19
Tabel 2.6	Gradasi Standar Agregat Kasar (ASTM-C33)	20
Tabel 2.7	Persyaratan Pengujian Agregat Halus.....	21
Tabel 2.8	Gradasi Standar Agregat Halus (ASTM-C33)	21
Tabel 2.9	Syarat gradasi untuk filler(ASTM-C33)	22
Tabel 2.10	Produk Asbuton Untuk Bahan Jalan.....	24
Tabel 2.11	Persyaratan Asbuton Butir	25
Tabel 2.12	Klasifikasi Polimer	28
Tabel 2.13	Kekurangan dan kelebihan aspal modifikasi dibandingkan dengan aspal konvensional.....	31
Tabel 2.14	Persyaratan Pengujian Aspal Modifikasi Polimer Elastomer	32
Tabel 2.15	Persyaratan Campuran lapis Aspal Beton.....	35
Tabel 2.16	Persentase Minimum Rongga dalam Agregat (VMA)	36
Tabel 2.17	Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston.....	36
Tabel 2.18	Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Dimodifikasi (AC Modified) ..	37
Tabel 3.1	Perhitungan Jumlah Sampel Benda Uji	45
Tabel 4.1	Perbandingan Hasil Pengujian Aspal Keras dengan Standar	58
Tabel 4.2	Perbandingan Hasil Pengujian Aspal Modifikasi Polimer SBS-elastomer dengan Standar	61
Tabel 4.3	Perbandingan Hasil Pengujian Agregat dengan Spesifikasi	62
Tabel 4.4	Data Analisa Saringan Agregat Kasar, Medium dan Halus	63
Tabel 4.5	Tabel Perbandingan Analisa Saringan BGA sebelum dan setelah ekstraksi	65
Tabel 4.6	Tabel pemeriksaan kadar aspal BGA	66
Tabel 4.7	Tabel Pengujian Penetrasi Aspal BGA	67
Tabel 4.8	Syarat Gradasi agregat untuk berbagai tipe laston	68
Tabel 4.9	Persentase agregat dalam campuran berdasarkan gradasinya	70
Tabel 4.10	Proporsi Berat Agregat Penyusun Campuran Aspal AC dan Aspal Modifikasi	72
Tabel 4.11	Gradasi Gabungan Campuran Aspal Dengan Penambahan BGA 5% 73	
Tabel 4.12	Proporsi Massa Agregat Penyusun Campuran dengan Penambahan BGA 5%	74
Tabel 4.13	Gradasi Gabungan Campuran Aspal Dengan Penambahan BGA 7% 74	

Tabel 4.14 Proporsi Massa Agregat Penyusun Campuran dengan Penambahan BGA 7%	75
Tabel 4.15 Nilai Stabilitas Campuran Aspal Murni.....	76
Tabel 4.16 Nilai Kelelahan Campuran Aspal Murni	77
Tabel 4.17 Nilai Marshall Quotient Campuran Aspal Murni	78
Tabel 4.18 Nilai VIM Campuran Aspal Murni	79
Tabel 4.19 Nilai VMA Campuran Aspal Murni	80
Tabel 4.20 Nilai Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%	81
Tabel 4.21 Nilai Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%	81
Tabel 4.22 Nilai Kelelahan Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%	83
Tabel 4.23 Nilai Kelelahan Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%	83
Tabel 4.24 Nilai Marshall Quotient Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% ...	85
Tabel 4.25 Nilai Marshall Quotient Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% ...	85
Tabel 4.26 Nilai VIM Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%	87
Tabel 4.27 Nilai VIM Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%	87
Tabel 4.28 Nilai VMA Pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% Tabel 4.29 Nilai VMA Pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% (a).....	89
Tabel 4.30 Perbandingan Nilai Stabilitas Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer	91
Tabel 4.31 Perbandingan Nilai Kelelahan pada Kondisi Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer	92
Tabel 4.32 Perbandingan Nilai Marshall Quotient Optimum pada Campuran Murni dan Modifikasi Polimer	92
Tabel 4.33 Perbandingan Nilai VIM pada Kondisi Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer	93
Tabel 4.34 Grafik Perbandingan Nilai VMA pada Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer	94
Tabel 4.35 Nilai Stabilitas pada Campuran Aspal Polimer 2% dan BGA 5%	95
Tabel 4.36 Nilai Stabilitas pada Campuran Aspal Polimer 4% dan BGA 7%	95
Tabel 4.37 Nilai Kelelahan pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA 5%	97
Tabel 4.38 Nilai Kelelahan pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%	97
Tabel 4.39 Nilai MQ pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5%	98
Tabel 4.40 Nilai MQ pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%	99
Tabel 4.41 Nilai VIM pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5%	100
Tabel 4.42 Nilai VIM pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%	100

Tabel 4.43 Nilai VMA pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5%	102
Tabel 4.44 Nilai VMA pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%	102
Tabel 4.45 Perbandingan Nilai Stabilitas Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA	104
Tabel 4.46 Perbandingan Nilai Kelelahan pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA	105
Tabel 4.47 Perbandingan Nilai Marshall Quotient pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA	105
Tabel 4.48 Perbandingan Nilai VIM pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA.....	106
Tabel 4.49 Perbandingan Nilai VMA pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA.....	107
Tabel 4.50 Kadar Aspal dan Kinerja Optimum Berdasarkan Nilai Stabilitas	108
Tabel 4.51 Kinerja Optimum Campuran Berdasarkan Kadar Aspal Optimum..	110



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan perkembangan lalu lintas yang semakin padat dan perubahan cuaca yang semakin tidak menentu akhir-akhir ini, akan sangat berpengaruh pada kualitas permukaan jalan yang tidak jarang berakibat pada kerusakan fisik dan menjadi penyebab utama ketidaknyamanan pengguna jalan. Bila kerusakan pada lapis permukaan jalan tidak segera ditindak lanjuti, maka besar kemungkinan akan mempengaruhi struktur lapisan di bawahnya. Untuk jenis permukaan jalan lentur, kondisi fisik lapis permukaan jalan sangat dipengaruhi oleh komposisi dari campuran aspal panasnya. Dengan segala keterbatasan yang dimiliki aspal murni dalam campuran aspal panas pada umumnya, akan lebih sulit bagi lapis permukaan untuk dapat mempertahankan kualitasnya seiring dengan pesatnya perkembangan zaman.

Saat ini berbagai metode yang telah dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan kemampuan aspal murni dalam campuran, antara lain dengan menggunakan bahan aditif maupun berbagai material sebagai filler. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk dapat meningkatkan umur pakai/ daya tahan lapis perkerasan serta untuk mengatasi perkembangan lalu lintas yang semakin pesat yang tentu akan berkontribusi memberikan beban yang lebih besar.

Hingga saat ini, jenis polimer yang sering digunakan sebagai pemodifikasi bitumen adalah elastomer jenis SBS (*Styrene Butadiene Styrene*), kemudian baru diikuti oleh SBR (*Styrene Butadiene Rubber*), *ethylene vinyl acetate* dan *polyethylene* (G. D. Airey 2004). Elastomer adalah suatu polimer yang mempunyai kelenturan (karet) dan ikatan samping yang besar dalam strukturnya. Sifat utama aspal yang diberi bahan tambah karet dibandingkan dengan aspal tanpa bahan tambah adalah (Ramakrishnan, 1992; Tjitik W, 1995; Stephen, MP, 2001): - Viskositas sesuai dengan temperatur – viscositas rendah pada

temperatur rendah dan sebaliknya; Elastis dan daya ikat meningkat, dan flexural strength (beban tiga titik) 30 %, lebih baik dibandingkan Laston tanpa bahan tambah karet. Penggunaan polimer harus mempertimbangkan komposisi dalam campuran, tingkat kekekatannya (Martina, N, Agah, HR. 2007).

Dalam penelitian ini dilakukan modifikasi aspal dengan polimer dan modifikasi campuran aspal polimer dengan BGA/ Asbuton mikro untuk memperoleh kualitas lapis perkerasan yang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap temperatur, fleksibilitas tinggi serta memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan beban lalu lintas yang terus bertambah, dengan mempertimbangkan segi kinerja optimum campuran dan segi ekonomis.

Asbuton mikro adalah asbuton yang diolah menjadi butir-butir yang tergolong dalam produk yang masih mengandung material filler dengan ukuran butiran maksimum 1,2 mm, kandungan bitumen berkisar antara 18,69% hingga 23,07 % dan kadar air berkisar antara 1,47% sampai 1,83% (Dairi, G., 1992). Keunggulan utama yang dimiliki asbuton mikro dalam perannya sebagai filler pada campuran aspal panas, yaitu lebih tahan terhadap perubahan temperatur yang disebabkan oleh titik lelehnya lebih tinggi daripada aspal murni.

Melalui penelitian ini dianalisis besar pengaruh penggunaan aspal modifikasi polimer jenis elastomer-SBS dan penambahan material filler berupa BGA (*Buton Granular Asphalt*) terhadap kinerja campuran aspal murni.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mengetahui karakteristik aspal murni dan aspal modifikasi sebagai bahan utama pembentuk campuran.
- Mendapatkan nilai aspal optimum dari seluruh tipe campuran aspal; yaitu campuran aspal murni, campuran aspal modifikasi polimer serta campuran aspal modifikasi polimer dan BGA.
- Memperoleh hasil kinerja campuran aspal optimum sebagai bahan lapisan aspal beton untuk perkerasan jalan pada kondisi lalu lintas sedang.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian yang dilakukan adalah :

- (i). Mempersiapkan bahan dasar campuran yang digunakan, yaitu:
 - Aspal dengan penetrasi 60/70
 - Agregat kasar dan medium dengan gradasi sesuai spesifikasi IV
 - Agregat halus berupa abu batu
 - Filler jenis BGA Tipe 20/25
 - Material tambahan bahan aditif jenis polimer SBS
- (ii). Melakukan pengujian sifat dasar masing-masing penyusun campuran aspal, yaitu aspal minyak murni, aspal modifikasi, dan agregat dengan pengujian sebagai berikut:
 - Pemeriksaan Penetrasi Aspal
 - Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
 - Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar
 - Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal
 - Pemeriksaan Kelarutan Bitumen Aspal
 - Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen
 - Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen
 - Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar
 - Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus
 - Analisa Butiran (*Sieve Analysis*)
 - Analisa Campuran Agregat (*Blending*)
- (iii). Membuat campuran aspal panas dengan memvariasikan komposisi aspal-polimer, aspal-filler dan aspal-polimer-filler.
- (iv). Melakukan uji Marshall pada seluruh variasi campuran aspal.
- (v). Menganalisa data, melakukan evaluasi, dan membuat kesimpulan.

1.4 Batasan Penelitian

- (i). Material campuran aspal yang digunakan:
 - Aspal dengan pen 60/70 dari PT. Utama Prima
 - Agregat kasar dan halus (abu batu) yang diperoleh dari PT. Utama Prima
 - Polimer yang digunakan adalah karet sintetis SBS (*Styrene Butadiene Styrene*) dari PT. Waskita Colas.
 - BGA yang digunakan adalah BGA tipe 20/25 dari PT. Utama Prima
- (ii). Proses pencampuran benda uji:
 - Penelitian tidak mempertimbangkan reaksi kimia yang terjadi pada material, namun hanya menguji reaksi fisiknya saja.
 - Proses pencampuran polimer dengan aspal dilakukan menggunakan mixer khusus yang terdapat di laboratorium PT. Waskita Colas.
 - Proses pemadatan benda uji dengan menggunakan mesin *compactor*.
- (iii). Metode pengujian:
 - Pengujian material penyusun dan benda uji menggunakan metode berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI).
 - Menggunakan variasi persentase aspal, polimer dan BGA sebagai variabel bebas, kinerja lapisan aspal sebagai variabel tak bebas, dan beban sebagai variabel tetap.
 - Pengujian Marshall untuk uji kinerja semua tipe campuran aspal.
 - Penelitian hanya dilakukan di laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia, tidak dilakukan penelitian di lapangan.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

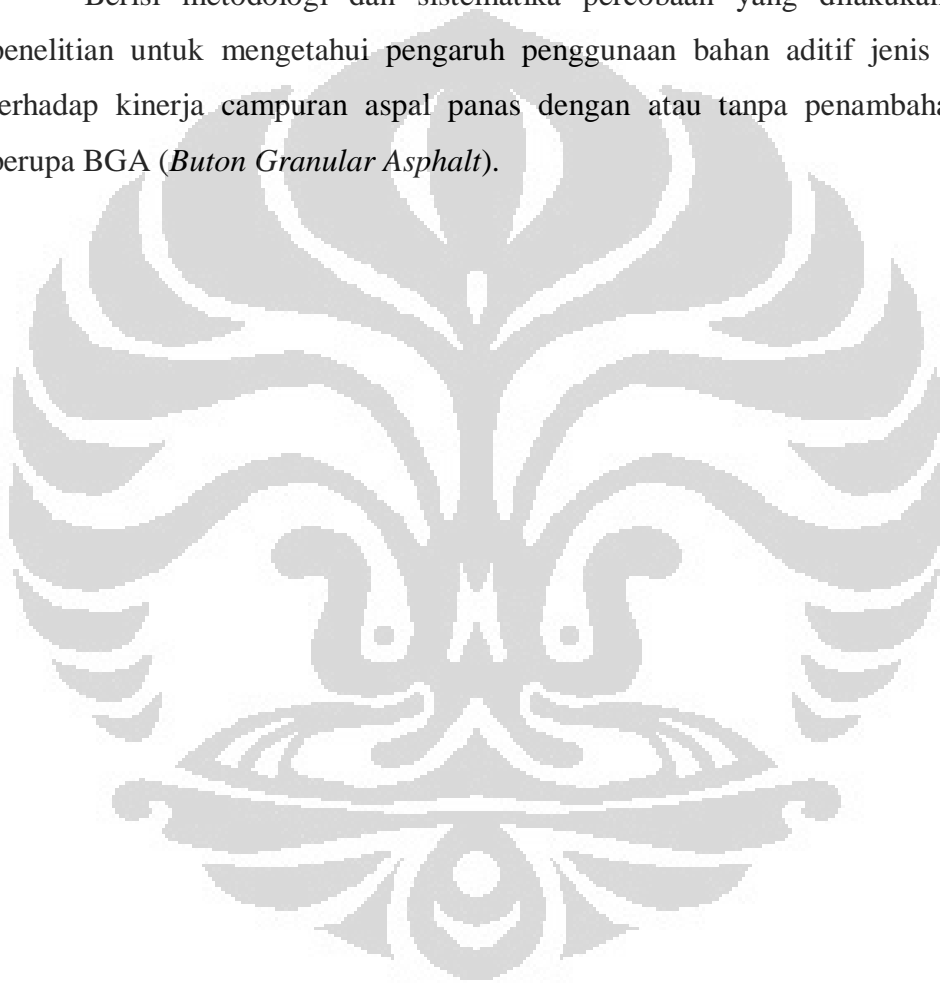
Berisi latar belakang penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Berisi teori literatur tentang aspal pen 60/70, agregat (kasar, medium dan halus), penggunaan asbuton mikro/BGA (*Buton Granular Asphalt*), polimer yang digunakan dan teori tentang pengujian-pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi metodologi dan sistematika percobaan yang dilakukan dalam penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan aditif jenis polimer terhadap kinerja campuran aspal panas dengan atau tanpa penambahan filler berupa BGA (*Buton Granular Asphalt*).



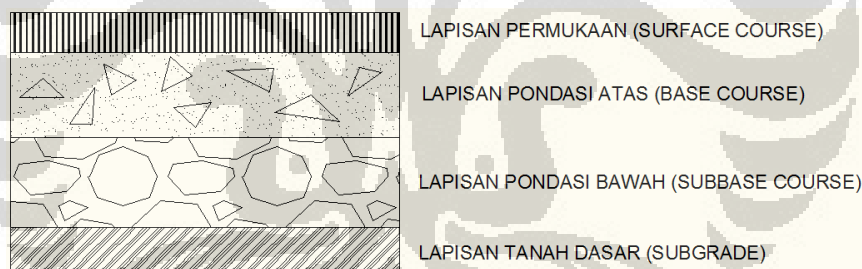
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapis Permukaan Perkerasan Jalan Lentur

Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*), yang berfungsi untuk menopang beban lalu lintas. Perkerasan lentur jalan (*flexible pavement*) pada umumnya adalah kombinasi antara aspal, agregat kasar dan halus serta material tambahan lain seperti filler, aditif dan geotekstil.

Lapisan aspal beton pada umumnya digunakan 3 lapisan perkerasan yaitu lapisan aus (*wearing course*), antara (*binder course*) dan pondasi (*base course*). Lapis aus merupakan lapis perkerasan jalan paling atas, yang menerima dampak langsung dari lalu lintas. Lapis antara berada di bawah lapis aus, dan di bawah lapis perata merupakan lapis pondasi, seperti pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Susunan lapisan perkerasan lentur (ideal)

(Sumber: Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya, Shirley L.Hendarsin)

Pada penelitian ini dibahas lebih lanjut mengenai jenis campuran yang diharapkan mampu meningkatkan kualitas dan durabilitas dari konstruksi permukaan jalan tersebut. Terdapat berbagai macam jenis dan metode pencampuran aspal panas, salah satunya akan dibahas lebih lanjut pada sub-bab selanjutnya.

2.2 Campuran Aspal Beton

Campuran aspal beton adalah campuran aspal yang berfungsi sebagai bahan pengikat dengan campuran agregat, yang dalam penelitian ini digunakan gradasi butiran agregat spesifikasi IV untuk lapis permukaan jalan. Menurut *Asphalt Institute* (1997), suatu rancangan campuran aspal yang baik diharapkan mampu melayani dengan baik variasi pembebanan selama bertahun-tahun dan kondisi lingkungan. Rancangan campuran aspal yang diharapkan adalah suatu rancangan campuran yang memiliki sifat-sifat dasar campuran aspal meliputi *stability, durability, impermeability, workability, flexibility, fatigue resistance, dan skid resistance*. Hal yang paling utama dalam desain sebuah campuran bitumen/aspal adalah memilih tipe agregat, mutu agregat, mutu aspal, modifier aspal (jika diperlukan), dan untuk menentukan kadar aspal yang dapat bekerja paling optimum selama kurun waktu umur perkerasan tersebut (*Asphalt Institute, 1997*). Tujuan menyeluruh dari rancangan campuran perkerasan dengan bahan ikat aspal (dalam batasan-batasan spesifikasi) untuk menentukan campuran dengan biaya efektif, gradasi dari agregat-agregat dan aspal memberikan campuran yang mempunyai hal-hal sebagai berikut :

1. Terdapat cukup aspal untuk menjamin perkerasan mempunyai daya tahan yang baik.
2. Mempunyai stabilitas campuran yang cukup untuk melayani lalu lintas tanpa terjadi penyimpangan ataupun kerusakan.
3. Mempunyai pori yang cukup dalam campuran padat sehingga terjadi pemadatan yang sangat kecil akibat beban lalu lintas dan terjadi sedikit pengembangan akibat kenaikan suhu tanpa terjadi *flushing, bleeding* dan kehilangan stabilitas.
4. Mempunyai kadar pori maksimum yang membatasi permeabilitas saat masuknya air dan udara yang membahayakan kedalam campuran.
5. Cukup mudah dikerjakan (*workability*) yang diperkenankan saat pengerjaan campuran tanpa terjadinya pemisahan butiran dan tanpa terjadinya penurunan stabilitas dan kinerja.

6. Campuran lapis permukaan mempunyai tekstur agregat dan kekerasan yang baik sehingga mampu memberikan kekesatan (*skid resistance*) pada kondisi cuaca tidak menguntungkan.

Pada umumnya aspal digunakan sebagai konstruksi perkerasan lentur, dimana mempunyai syarat-syarat yang harus dipenuhi dipandang dari segi kekuatan dan segi kenyamanan, (*Asphalt Institute, 1997*), kondisi yang harus dipenuhi yaitu:

- a. Kekakuan (*stiffness*)
Kemampuan untuk menahan deformasi serta mendistribusikan beban lalu lintas ke daerah yang lebih luas.
- b. Stabilitas (*stability*)
Kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa mengalami keruntuhan (*plastic flow*).
- c. Fleksibilitas (*flexibility*)
Kemampuan untuk mengabsorpsi regangan tarik akibat deformasi/lendutan oleh beban lalu lintas tanpa mengalami retak (*fatigue cracking*).
- d. Keawetan (*durability*)
Kemampuan untuk mempertahankan umur perkerasan dari pengaruh buruk cuaca dan lalu lintas antara lain oksidasi dan penguapan fraksi ringan dari aspal .
- e. Tahan Air (*impermeability*)
Kemampuan untuk melindungi perkerasan dari masuknya air dan udara yang bisa memperlemah lapisan dibawahnya.
- f. Kekesatan
Tersedianya permukaan yang cukup kasar sehingga terjadi gesekan yang baik antara ban kendaraan dengan permukaan jalan, tidak mudah terjadi selip.

2.3 Bahan Pembentuk Campuran Aspal Beton

2.3.1 Aspal

Aspal, berdasarkan **ASTM D8** (*Materials for Roads and Pavements*), adalah material perekat (*cementitious*) berwarna hitam atau coklat tua dalam bentuk solid, semisolid, atau kental, alami atau buatan, yang terdiri dari molekul-molekul *hydrocarbon* dalam kadar yang tinggi. Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesif, kedap air dan mudah dikerjakan. *Asphalt Institute* (**J. F. Young, 1998**), aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Tingkat kepekaan aspal terhadap suhu dapat diketahui dari pengujian penetrasi dan titik lembek dan leleh aspal tersebut.

Aspal memiliki penetrasi antara 5-300 pada temperatur 77 °F (25 °C), dengan beban yang diberikan seberat 0,2 lb selama 5 detik. Aspal merupakan material yang termoplastis, dan sangat sensitif terhadap temperatur. Pada temperatur di atas 140 °C (*glass transition temperature*), aspal akan menjadi lunak/sangat cair. Sedangkan pada temperatur mulai turun dibawah 140 °C, molekul-molekul di dalamnya akan saling mengikat sehingga wujudnya menjadi material yang padat, kental dan elastis. Jika temperaturnya terlalu rendah, material padat elastis tadi akan menjadi rapuh/getas. Sehingga dalam penggunaan aspal sebagai pengikat campuran aspal beton, terlebih dahulu aspal dipanaskan hingga temperatur ± 140 °C, karena jika temperaturnya jauh melebihi 140 °C, aspal akan kembali kental dan sulit digunakan dalam pencampuran.

Banyak aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4% – 10% dihitung berdasarkan berat campuran, atau 10% – 15% berdasarkan volume campuran. Aspal umumnya berasal dari salah satu hasil destilasi minyak bumi (aspal Minyak) dan bahan alami (aspal Alam). Aspal minyak (*Asphalt cement*) bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air. Serta tahan terhadap pengaruh asam, Basa dan garam. Sifat aspal akan berubah akibat panas dan umur, aspal akan menjadi kaku dan rapuh dan akhirnya daya adhesinya terhadap partikel agregat akan berkurang.

Totomihardjo (2004), menyatakan aspal merupakan senyawa hidrogen (H) dan karbon (C) yang diperoleh dari proses penyulingan minyak bumi, terdiri dari *parafins*, *naptene* dan *aromatics*. Berdasarkan komposisi kimianya, *hydrocarbon* merupakan bahan dasar utama pembentuk aspal yang juga disebut bitumen, sehingga aspal sering juga disebut bitumen. Aspal yang umumnya digunakan saat ini terutama berasal dari salah satu hasil proses destilasi minyak bumi dan disamping itu mulai banyak pula dipergunakan aspal alam yang berasal dari Pulau Buton (**Sukirman, 1999**)

Kandungan unsur kimia aspal sangat dipengaruhi oleh jenis aspal dan proses pembuatannya. Namun, pada umumnya variasi komposisi unsur tersebut dalam aspal adalah sebagai berikut :

- Carbon : 80-87%
- Nitrogen : 0-1%
- Material lain (iron, nickel, vanadium, dan calcium): 0-0,5%
- Hydrogen : 9-11%
- Sulfur : 0,5-7%
- Oksigen : 2-8%

Berdasarkan cara memperolehnya, aspal dibagi menjadi dua jenis, antara lain:

- a. Aspal Alam, yaitu material aspal tambang yang berasal dari alam. Jenis aspal alam ada dua, yaitu; *Rock asphalt* (aspal gunung) dan *Lake asphalt* (aspal danau). Salah satu jenis aspal gunung yang terdapat di Indonesia adalah aspal batu buton (asbuton) yang berasal dari Pulau Buton. Sedangkan salah satu contoh aspal danau yang paling terkenal adalah aspal danau trinidad (*Trinidad Lake Asphalt*) dan aspal *Bermudez*.
- b. Aspal buatan, merupakan aspal hasil olahan manusia biasanya berasal dari hasil olahan minyak bumi atau hasil penyulingan pembakaran batu bara. Jenis aspal buatan antara lain:
 - Bitumen/ aspal minyak
Merupakan hasil pemisahan olahan minyak bumi yang dipisahkan dari material lain dengan proses penyulingan fraksional yang biasanya dilakukan dalam kondisi vakum sehingga didapat material koloid berupa minyak yang biasa disebut bitumen.

- Tar/ aspal batu bara
Merupakan hasil penyulingan batu bara dan kayu (tidak umum digunakan, peka terhadap temperatur dan beracun).

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

1. Aspal Panas/Keras (*Asphalt Cement/AC*)

Adalah aspal yang digunakan dalam keadaan panas dan cair, pada suhu ruang berbentuk padat. Yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan hampa udara, yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat.

Berdasarkan pemeriksaan sesuai dengan syarat, seperti 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	°C
Titik Nyala (<i>Cleveland Open Cup</i>)	232	-	232	-	232	-	°C
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 : Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah 2002

Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas, volume lalu lintas tinggi. Sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin, lalu lintas rendah. Di Indonesia umumnya digunakan aspal penetrasi 60/70 dan 80/100.

2. Aspal Cair

Aspal cair adalah aspal yang digunakan dalam keadaan dingin dan cair, dan pada suhu ruang berbentuk cair. Pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair, terdiri dari aspal keras yang diencerkan dengan bahan pelarut.

Terdapat beberapa persyaratan aspal cair, yaitu kadar parafin tidak lebih dari 2 %, tidak mengandung air dan jika dipakai tidak menunjukkan pemisahan atau penggumpalan. Aspal cair dikelompokkan berdasarkan pengencernya, yaitu:

- Bila ditambahkan benzene dinamakan *Rapid Curing cut back (RC)*; merupakan aspal keras yang dilarutkan dengan bensin (premium), RC merupakan cutback aspal yang paling cepat menguap.
- Bila ditambahkan kerosene dinamakan *Medium Curing (MC)*; aspal dengan kecepatan menguap sedang.
- Bila ditambahkan minyak berat (contoh: solar) dinamakan *Slow Curing (SC)*; aspal yang paling lama menguap

3. Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah aspal yang disediakan dalam bentuk emulsi dan digunakan dalam kondisi dingin dan cair. Merupakan suatu jenis aspal yang terdiri dari aspal keras, air, dan bahan pengemulsi, dimana pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair. Jenis aspal emulsi yang umum digunakan sebagai bahan perkerasan jalan adalah emulsi anionik dan kationik.

Aspal Emulsi dikelompokkan sebagai berikut:

- Emulsi Kationik, terdiri dari aspal keras, air, dan larutan basa sehingga akan bermuatan positif (+).
- Emulsi Anionik, terdiri dari aspal keras, air, dan larutan asam sehingga bermuatan negatif (-).
- Emulsi Nonionik, merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak mengantarkan listrik.

Sebagai material perkerasan jalan, aspal berfungsi sebagai bahan pengikat dan bahan pengisi. Bahan pengikat disini maksudnya adalah aspal berfungsi untuk memberi ikatan yang kuat baik antara aspal dan agregat serta material lainnya seperti *filler* dan sebagainya. Sedangkan aspal sebagai bahan pengisi maksudnya adalah aspal berfungsi mengisi rongga antara butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Untuk dapat memenuhi kedua fungsi tersebut dengan baik, maka aspal harus memiliki sifat adhesi dan kohesi yang baik sehingga aspal tersebut memiliki durabilitas yang tinggi. Sifat adhesi pada aspal adalah kemampuan aspal dalam mengikat agregat sehingga didapat ikatan yang kuat. Sifat kohesi pada aspal adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat yang telah saling terikat, dengan kata lain sifat kohesi adalah kemampuan saling mengikat antar molekul aspal. Daya tahan atau durabilitas pada aspal merupakan kemampuan aspal mempertahankan sifat dan bentuk asalnya dari pengaruh cuaca, beban dan pengaruh eksternal lainnya.

2.3.2 Agregat

Agregat di definisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM C125 mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat berupa masa berukuran besar ataupun fragmen-fragmen. **Didik Purwadi (2008)** menyatakan bahwa agregat merupakan campuran dari pasir, gravel, batu pecah, slag atau material lain dari bahan mineral alami atau buatan. Agregat merupakan bagian terbesar dari campuran aspal. Material agregat yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan utamanya untuk menahan beban lalu lintas. Jumlah agregat dari struktur perkerasan jalan yaitu sekitar 90% - 95% dari total persentase berat atau sekitar 75% - 85% berdasarkan persentase volume struktur perkerasan jalan.

Agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen (**Djanasudirja, 2007**). Agregat dapat dibedakan berdasarkan kelompok asalnya, terjadinya, pengolahan dan ukuran butirnya. Berdasarkan *The Asphalt Institute* (**J. F. Young 1998**), menurut asalnya agregat dapat dibagi dalam tiga jenis yaitu :

- a. Agregat alam (*natural aggregate*), langsung diambil dari alam tanpa melalui proses pengolahan khusus.
- b. Agregat dengan pengolahan (*manufacture aggregate*), berasal dari mesin pemecah dan penyaring batu untuk memperbaiki gradasi agregat agar sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

- c. Agregat buatan (*synthetic aggregate*), dibuat khusus dengan tujuan agar memiliki daya tahan yang tinggi dan ringan untuk digunakan dalam konstruksi jalan.

Berdasarkan proses terjadinya agregat dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu :

- a. Agregat beku (*igneous rock*), agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku.
- b. Agregat sedimen (*sedimentary rock*), agregat yang dapat berasal dari campuran partikel material, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan pada lapisan kulit bumi.
- c. Agregat metamorfik (*metamorphic rock*), agregat sedimen ataupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi.

Berdasarkan butirannya agregat dapat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*). Dekimpraswil/Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2000) membedakan jenis dalam peraturannya mengenai spesifikasi aspal hotmix membedakan aspal menjadi 3 jenis, yaitu :

- Agregat kasar, yaitu agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 8 (= 2,36 mm)
- Agregat halus, yaitu agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan No. 8 (= 2,36 mm)
- Bahan pengisi (*filler*), yaitu bagian dari agregat halus yang lolos saringan No. 30 (= 0,60 mm)

Berdasarkan Bina marga departemen PU (1999), agregat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

- Agregat kasar, yaitu agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 4 (= 4,75 mm)
- Agregat halus, yaitu agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan No. 4 (= 4,75 mm)
- Bahan pengisi (*filler*), yaitu bagian dari agregat halus yang minimum 75 % lolos saringan No. 200 (= 0,075 mm)

Salah satu sifat agregat yang paling mempengaruhi kekuatan lapisan perkerasan jalan adalah gradasi agregat. Gradasi agregat adalah batas ukuran agregat yang terbesar dan yang terkecil, jumlah dari masing-masing jenis ukuran, persentase setiap ukuran butir pada agregat. Ukuran butir agregat didapat melalui analisa saringan agregat (*sieve analysis*). Ukuran saringan menunjukkan ukuran bukaan atau besarnya ukuran agregat yang dapat diloloskan oleh saringan. Ukuran bukaan saringan berdasarkan AASHTO dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Ukuran Bukaan Saringan

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Ukuran Saringan	Bukaan (mm)
4 inch	100	3/8 inch	9,5
3½ inch	90	No. 4	4,75
3 inch	75	No. 8	2,36
2½ inch	63	No. 16	1,18
2 inch	50	No. 30	0,6
1½ inch	37,5	No. 50	0,3
1 inch	25	No. 100	0,15
¾ inch	19	No. 200	0,075
½ inch	12,5		

Sumber : Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah 2002

Ukuran butir agregat dan persentase berat dari setiap jenis agregat yang diperlukan, ditentukan dalam persyaratan teknisnya. Penentuan gradasi dapat berdasarkan persentase agregat yang tertahan saringan atau yang lolos saringan, sesuai jenis campurannya dan jenis lapisan perkerasan jalannya.

Berdasarkan gradasinya agregat dikelompokkan atas gradasi seragam (*uniform graded*), gradasi menerus/rapat (*continuous*), dan gradasi senjang (*gap*).

- a. Gradasi seragam (*uniform graded*) yaitu agregat yang terdiri dari butir-butir agregat dengan ukuran yang hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya, sehingga memiliki pori antar butir yang cukup besar dan tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, berat volume kecil.

- b. Gradasi menerus/rapat (*continuous*) adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam suatu rentang ukuran butir mulai dari ukuran kasar sampai dengan ukuran halus. Sifat campuran agregat ini adalah memiliki sedikit pori atau rongga, mudah dipadatkan, serta memiliki nilai stabilitas tinggi. Pada **Tabel 2.3** dijelaskan distribusi gradasi agregat menerus yang menentukan spesifikasi lapisan perkerasan jalan lentur.

Tabel 2.3 Syarat Gradasi Agregat Untuk Berbagai Tipe Laston

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

Sumber : Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 1987

Keterangan :

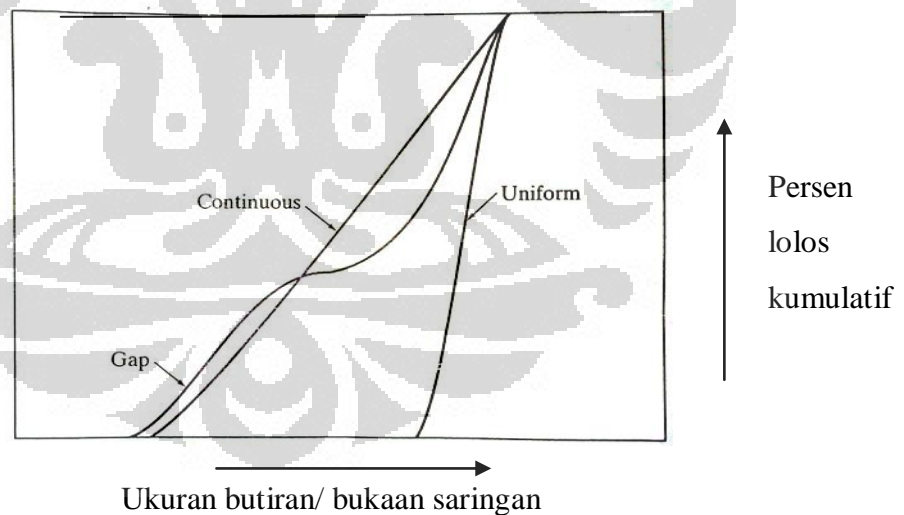
No. Campuran : I, III, IV, VI, VII, VIII, IX, X, dan XI digunakan untuk lapis permukaan

No. Campuran : II, digunakan untuk lapis permukaan, perata (*leveling*) dan lapis antara (*binder*)

No. Campuran : V, digunakan untuk lapis permukaan dan lapis antara (*binder*)

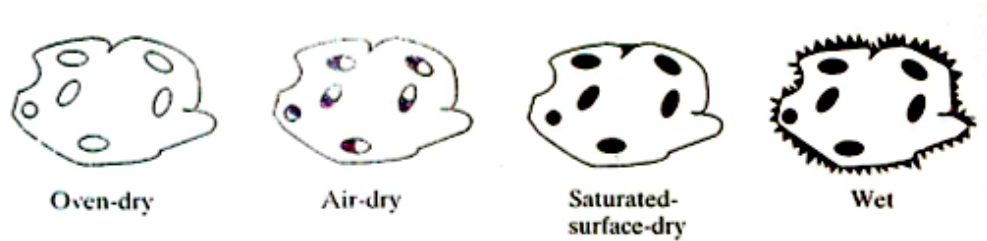
- c. Gradasi senjang (*gap*) adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali. Gradasi Senjang adalah suatu komposisi agregat yang grafik pembagian butirnya menunjukkan di antara ukuran-ukuran tertentu berbentuk senjang, mempunyai rongga di antara agregat (VMA) lebih besar sehingga dapat mengakomodasi aspal lebih banyak, dan dapat menghasilkan campuran yang lebih awet.

Ketiga jenis gradasi agregat tersebut dapat lebih jelas terlihat melalui **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Jenis Gradasi Agregat

Dari segi kondisi fisiknya, butiran agregat dapat menyerap air dan menahan lapisan air tipis di permukaannya. Berdasarkan kemampuan tersebut, agregat dapat dibagi kedalam 4 kondisi kelembaban seperti terlihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Kondisi Kelembaban Agregat

Keterangan:

1. Oven-dry : agregat dalam keadaan sepenuhnya kering dan pori-pori tidak terisi mineral apapun.
2. Air-dry : agregat dalam keadaan pori-porinya terisi sebagian oleh mineral lain (agregat yang baru diambil dari stockpile).
3. Saturated-surface-dry : agregat dalam keadaan kering permukaannya saja, namun pori-pori di dalamnya terisi mineral.
4. Wet : agregat dalam keadaan basah sepenuhnya baik permukaan maupun pori-pori dalamnya.

2.3.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm (**RSNI, Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, 2002**). Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet dan bebas dari bahan lain yang mengganggu serta memenuhi persyaratan seperti pada **Tabel 2.4** dan **Tabel 2.5**.

Tabel 2.4 Persyaratan Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Metode	Persyaratan		Satuan
		min	maks	
Berat Jenis				
• Bulk	SNI 03-1969-1990	2,5	-	Kg/m ³
• SSD		2,5	-	
• Apparent		2,5	-	
Penyerapan terhadap air	SNI 03-1969-1990	-	3	%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	-	40	%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	95	-	%
Angularitas (kedalaman permukaan < 10 cm)	Lalu lintas <10 ⁶ ESA*		85/80	%
	Lalu lintas ≥10 ⁶ ESA*	Pennsylvania DoT's	95/90	%
Angularitas (kedalaman permukaan ≥ 10 cm)	Lalu lintas <10 ⁶ ESA*	Test Method No.621	60/50	%
	Lalu lintas ≥10 ⁶ ESA*		80/75	%

(Sumber: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 2000)

*jumlah lintasan sumbu standar 18000 pon

Tabel 2.5 Jumlah tumbukan masing-masing sisi benda uji

Beban lalu lintas	Jumlah lintasan sumbu standar 18000 pon (ESA)	Jumlah tumbukan masing-masing sisi benda uji
Ringan	< 10 ⁴	35
Sedang	10 ⁴ – 10 ⁶	50
Berat	> 10 ⁶	75

Catatan

80/75 menunjukkan bahwa 80% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 75% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

Fungsi agregat kasar dalam campuran panas aspal adalah memberikan stabilitas dalam campuran. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan yang cukup terhadap abrasi, terutama untuk pengguna agregat sebagai lapis aus atau permukaan perkerasan. Agregat kasar harus awet, mempunyai kekekalan bentuk dan mempunyai muka bidang pecah (angularitas) yang cukup untuk memberikan daya dukung atau stabilitas kepada campuran beraspal. Angularitas agregat kasar

didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih. (Pennsylvania DoT's Test Method No.621).

Tabel 2.6 Gradasi Standar Agregat Kasar (ASTM-C33)

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos			
	37,5 mm (1½ in)	25 mm (1 in)	19,0 mm (¾ in)	12,5 mm (½ in)
50 (2 in)	100	-	-	-
37,5 (1½ in)	95-100	100	-	-
25 (1 in)	-	95 – 100	100	-
19 (¾ in)	35-70	-	90-100	100
12,5 (1/2 in)	-	25 – 60	-	90-100
9,5 (3/8 in)	10-30	-	20-55	40-70
4,75 (No. 4)	0-5	0 – 10	0-10	0-15
2,36 (No. 8)	-	0 – 5	0-5	0-5
Pan				

2.3.2.2 Agregat Halus

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

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

Agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagaimana tercantum pada **Tabel 2.7** dan **Tabel 2.8**.

Tabel 2.7 Persyaratan Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Metode	Satuan	Persyaratan	
			min	maks
Berat jenis				
• Bulk	SNI 03-1979-1990	Kg/m ³	2,5	-
• SSD			2,5	-
• Apparent			2,5	-
Penyerapan terhadap air	SNI 03-1979-1990	%	-	3
Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	%	-	8
Nilai <i>Sand Equivalent</i>	AASHTO T104-86	%	-	40

(Sumber: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 2000)

Agregat harus berfungsi untuk menambah stabilitas dari campuran dengan memperkuat sifat saling mengunci (*interlocking*) dari agregat kasar. Selain itu agregat halus juga berfungsi untuk mengurangi rongga udara dalam campuran dan menaikkan luas permukaan dari agregat sehingga akan menaikkan kadar aspal. Kadar aspal yang cukup tinggi akan membuat campuran menjadi lebih awet (*durable*).

Tabel 2.8 Gradasi Standar Agregat Halus (ASTM-C33)

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos
9,5 (3/8 in)	100
4,75 (No. 4)	95-100
2,36 (No 8)	80-100
1,18 (No 16)	50-85
0,6 (No 30)	25-60
0,3 (No 50)	10-30
0,15 (No 100)	2-10
Pan	-

(Sumber: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 2000)

2.3.2.3 Filler

Filler merupakan material pengisi yang terdiri dari abu batu, abu batu kapur (*limestone dust*), abu terbang, semen (PC), abu tanur semen atau bahan non plastis lainnya yang harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bahan

lain yg mengganggu (Departemen PU,2007). Filler merupakan material halus yang lolos saringan No. 200 dan menurut BS (*British Standard*) 594 Part 1-1985, proporsi filler yang ditambahkan ini minimal 85% dari berat total material filler.

Peranan filler di dalam HRA (**Shell, 1990**) diantaranya adalah sebagai berikut :

- 1) Dapat dipertimbangkan untuk memodifikasi gradasi agregat halus dan sebagai pengisi sehingga kontak partikel agregat halus semakin besar.
- 2) Bersama-sama dengan aspal membentuk bahan pengikat (sistem filler-aspal).
- 3) Penambahan filler dalam binder akan meningkatkan viskositas binder sehingga menyebabkan campuran HRA tidak terlalu peka terhadap perubahan temperatur.

Filler atau bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu dan apabila dilakukan pemeriksaan analisa saringan secara basah, harus memenuhi gradasi pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2.9 Syarat gradasi untuk filler(ASTM-C33)

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

2.4 Bahan Tambah Lain Dalam Campuran Aspal beton

2.4.1 BGA (Buton Granular Asphalt)

BGA adalah sebutan lain dari Asbuton Butir. Asbuton butir merupakan hasil pengolahan Asbuton berbentuk padat yang di pecah dengan alat pemecah batu (*crusher*) atau alat pemecah lainnya yang sesuai sehingga memiliki ukuran butir tertentu. BGA atau biasa disebut dengan sebutan asbuton mikro adalah aspal alam yang berasal dari pulau Buton yang merupakan produk hasil pengolahan dari pabrik pengolahan asbuton, yang tergolong dalam produk yang masih mengandung material filler dengan ukuran butiran maksimum 1,2 mm atau lolos pada saringan no.16.

Adapun bahan baku untuk membuat asbuton butir ini dapat berupa asbuton padat dengan nilai penetrasi bitumen rendah (< 10 dmm) seperti asbuton padat Kabungka atau yang memiliki nilai penetrasi bitumen diatas 10 dmm seperti asbuton padat Lawele, namun dapat juga penggabungan dari kedua jenis asbuton padat tersebut. Aspal batu buton (asbuton) berasal dari Pulau Buton yang terletak pada 5° lintang selatan dan 123° bujur timur, membentang dari arah utara ke selatan dengan luas sekitar 4520 km^2 (Bakosurtanal, 1982). Jumlah deposit diperkirakan sebesar 350 juta ton, dengan kadar aspal bervariasi antara 10% sampai dengan 40% (Gandhi, 2002). Asbuton memiliki sifat yang berbeda-beda tergantung di daerah mana asbuton tersebut diperoleh. Sampai saat ini dikenal ada dua daerah penambangan asbuton yang banyak dimanfaatkan hasilnya, yaitu di daerah Kabungka dan Lawele. Sifat dari kedua asbuton tersebut berbeda, khususnya adalah kandungan bitumennya. Kandungan bitumen/aspal dari daerah Lawele sekitar 25 – 35% dan banyak mengandung silikat, sedang Kabungka 12 – 20% dan banyak mengandung karbonat. Beda dengan aspal minyak yang diperoleh dari proses distilasi, maka aspal dari asbuton diperoleh dengan cara ekstraksi sehingga kandungan aspal seperti resin dan fraksi ringan diharapkan masih terkandung didalamnya. Dengan demikian, sifat dari aspal minyak sedikit berbeda dengan aspal dari asbuton.

Penelitian yang dilaksanakan oleh Puslitbang Prasarana Transportasi dalam laporan “**Penggunaan Buton Lake Asphalt di dalam Campuran Beraspal Panas**” (Kurniaji dkk) melaporkan data-data sebagai berikut:

Karakteristik fisik bitumen asbuton Lawele cenderung bersifat keras dengan nilai penetrasi yang rendah, ditunjang pula dengan hasil uji kimia, dengan kandungan *asphaltene* yang tinggi. Dari uji kimia disimpulkan bahwa bitumen asbuton Lawele mempunyai keawetan yang baik dan tidak terkena pengaruh buruk parafin.

Dari sisi lain dapat pula dijelaskan bahwa pada prinsipnya bitumen mengandung tiga komponen esensial yang penting yang keberadaannya mempengaruhi karakteristik bitumen, yaitu *asphaltene* dan keberadaan resin ditandai oleh parameter *maltene*, sedangkan minyak dalam bitumen asbuton sudah

hilang atau sedikit, dan tidak mengandung parafin atau sulfur dalam jumlah yang mengganggu.

Karakteristik *asphaltene* adalah keras, kuat dan kokoh, juga disebut “*the body of asphalt*” dan resin bersifat seperti lem atau karet, dengan daya lekat dan sifat elastis dan minyak yang bersifat *viscous* (mengalir). Oleh karena itu bitumen asbuton dengan kandungan *asphaltene* dan resin yang tinggi menjadikan karakteristik yang disebutkan di atas. Jadi dapat disimpulkan bahwa bitumen dalam asbuton Lawele bersifat keras dan berpenetrasi rendah serta memiliki kadar *asphaltene* yang tinggi, disamping sifat keawetan/durabilitas yang tinggi.

Tabel 2.10 Produk Asbuton Untuk Bahan Jalan

No	Tahun	Tipe Produk	Uk. Butir Maks	Kadar Bitumen (%)	Kadar Air (%)	Kemasan	Kegunaan
1	1929	Asbuton Konvensional	½” (12,7 mm)	18 – 22	10 – 15	Curah	Campuran dingin
2	1993	Asbuton Halus	¼” (6,35 mm)	< 6	2 ± 2	Karung Plastik @40 kg	Campuran dingin
3	1993/1996	Asbuton Mikro Plus	No. 8 (2,36 mm)	25 ± ½	< 2	Karung Plastik kedap air @40 kg	Campuran panas
4	1995	BMA (<i>Butonite Mastic Asphalt</i>)	Mineral < 600 µm	50	< 2	Bahan dasar Asbuton mikro	Campuran panas
5	1997	Retona (ekstraksi aspal buton) + Aspal Minyak (20% + 80%)	-	90	< 2	Blok/curah	Campuran panas
6	2002	BGA (<i>Buton Granular Asphalt</i>)	Mineral < 1,16 mm	20 – 25	< 2	Karung plastik 2 lapis @40 kg	Campuran panas

Sumber : Puslitbang Prasarana Transportasi Departemen Pekerjaan Umum (2005)

Asbuton Mikro adalah asbuton yang dipecah menjadi butir-butir yang berukuran maksimum sekitar 1 mm dengan kandungan bitumen berkisar antara 18,69% hingga 23,07% dan kadar air berkisar antara 1,47% sampai 1,83% (Dairi G., 1992). Penggunaan asbuton mikro ini adalah upaya peningkatan pemanfaatan asbuton untuk keperluan bahan perkerasan jalan raya. Salah satu lapisan

perkerasan jalan yang menggunakan lapis bahan asbuton adalah Laston (lapisan aspal beton) pada kondisi lalu lintas berat. Penggunaan Asbuton Mikro sebagai filler, dapat menghemat biaya pembuatan lapisan permukaan jalan jika dibandingkan dengan menggunakan filler yang lain, seperti semen atau abu batu (Erwin Wisnu Wardana & Ragil Purwanto, 2005). Persyaratan dan sifat Asbuton dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Persyaratan Asbuton Butir

Sifat-sifat Asbuton	Metoda Pengujian	Tipe 5/20	Tipe 15/20	Tipe 15/25	Tipe 20/25
Kadar bitumen Asbuton; %	SNI 03-3640-1994	18 – 22	18 – 22	23 – 27	23 – 27
Ukuran butir					
-Lolos Ayakan No. 4 (4,75 mm); %	SNI 03-1968-1990	100	100	100	100
-Lolos Ayakan No. 8 (2,36 mm); %	SNI 03-1968-1990	100	100	100	Min. 95
-Lolos Ayakan No. 16 (1,18 mm); %	SNI 03-1968-1990	Min. 95	Min. 95	Min. 95	Min. 75
Kadar air, %	SNI 06-2490-1991	Maks. 2	Maks. 2	Maks. 2	Maks. 2
Penetrasi aspal asbuton pada 25°C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2490-1991	≤ 10	10 – 18	10 – 18	19 – 22
Titik Lembek °C	SNI 06-2432-1191			Min. 60	

Keterangan:

1. Asbuton butir Tipe 5/20 : Kelas penetrasi 5 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 20%.
2. Asbuton butir Tipe 15/20 : Kelas penetrasi 15 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 20%.
3. Asbuton butir Tipe 15/25 : Kelas penetrasi 15 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 25%.
4. Asbuton butir Tipe 20/25 : Kelas penetrasi 20 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 25%.

Pada dasarnya Asbuton dapat digunakan pada setiap jenis lapisan beraspal. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kekakuan dengan batas fleksibilitas yang cukup untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan di luar rencana.

Oleh karena itu, penggunaan Asbuton pada pekerjaan pengaspalan adalah sebagai berikut:

- Campuran beraspal panas digunakan untuk lapis aus, antara, dan pondasi.
- Campuran beraspal hangat digunakan untuk lapis aus, antara, dan pondasi.
- Campuran beraspal dingin digunakan untuk lapis antara aus dan pondasi.
- Lapis tipis Asbuton pasir.
- Lapis tipis Asbuton.
- Lapis penetrasi macadam Asbuton.

Asbuton di dalam lapisan beraspal akan berfungsi sebagai berikut:

- a. Bahan tambah (*filler*) yang akan meningkatkan kemampuan lapisan beraspal saat beban lalu lintas bertambah. Umumnya Asbuton yang digunakan adalah jenis butir dengan penetrasi bitumen rendah;
- b. Pengganti aspal keras. Asbuton yang umumnya digunakan adalah jenis murni hasil ekstraksi atau Asbuton butir jenis LGA pada pekerjaan lapis macadam;

Adapun keunggulan dan kelemahan Asbuton, yaitu:

1) Keunggulan Asbuton:

Kelebihan asbuton yaitu titik lelehnya lebih tinggi dari aspal minyak dan ketahanan (stabilitas) Asbuton yang cukup tinggi membuatnya tahan terhadap panas dan menjadi tidak mudah meleleh, sehingga dapat meningkatkan daya tahan infrastruktur jalan raya di Indonesia.

Filler Asbuton selain berfungsi meningkatkan viskositas dari bitumen dan mengurangi kepekaan terhadap temperatur (**Shell,1990**), juga diharapkan memberikan kontribusi bitumen dalam campuran Mortar HRA sehingga dapat mengurangi jumlah bitumen aspal minyak.

Deposit Asbuton dalam jumlah besar dapat menjamin pasokan kebutuhan akan aspal. Dari pengujian yang telah dilakukan, didapat hasil campuran beraspal yang ditambah asbuton menghasilkan campuran beraspal yang bermutu baik dengan kecenderungan sebagai berikut:

- Stabilitas Marshall campuran beraspal yang lebih tinggi
- Stabilitas dinamis campuran beraspal yang lebih tinggi
- Meningkatkan umur konstruksi (dari hasil uji fatigue)

- Lebih tahan terhadap perubahan temperatur
- Nilai modulus yang meningkat

Kecenderungan tersebut terjadi karena Asbuton mengandung bahan aromatik dan resin yang tinggi, sehingga di dalam campuran Asbuton mempunyai:

- Daya lekat yang lebih tinggi (anti stripping)
- Kelenturan yang tinggi (fatigue life tinggi)

Dengan kelebihan-kelebihan tersebut, penentu kebijakan memberikan pernyataan bahwa Asbuton:

- Cocok digunakan untuk lokasi temperatur tinggi (tropis)
- Cocok digunakan untuk jalan raya dengan beban kendaraan berat

2) Kelemahan Asbuton:

Kurangnya pemanfaatan Asbuton disebabkan pula karena Asbuton memiliki kelemahan seperti; mineral yang tidak homogen, dan mudah pecah akibat rendahnya penetrasi dan daktilitas dari asbuton.

Meskipun telah melewati proses fabrikasi, Asbuton masih memiliki beberapa titik kelemahan sebagai berikut:

- Inkonsistensi kualitas produksi Asbuton, yang berupa; kandungan bitumen, penetrasi bitumen, kadar air Asbuton)
- Belum terjaminnya ketersediaan Asbuton pada saat pelaksanaan di lapangan.
- Ketidakesesuaian kemampuan supply oleh pabrik pengolah Asbuton dengan demand proyek pengguna yang ditunjang oleh kebijakan Ditjen Bina Marga.
- Biaya transportasi pengiriman ke pengguna yang relatif mahal.
- Pola kerjasama antara produsen dan konsumen yang belum menemukan titik harmonis.
- Pembagian wilayah kerja pemasaran dari produsen.
- Harga yang wajar, dengan perincian analisa biaya terhadap; harga bahan baku Asbuton, biaya transportasi, dan biaya pengolahan asbuton butir.

2.4.2 Polimer

Penggunaan bahan alam asbuton dapat ditingkatkan dan dimanfaatkan dengan lebih optimal dengan menambah kandungan aspal yang memiliki ikatan lebih baik melalui penambahan unsur polimer. Fungsinya adalah menambah ikatan antar agregat yang dikandung oleh komponen aspal dan mineral yang dimiliki oleh aspal buton.

Belakangan ini, polimer sering digunakan dalam pembuatan perkerasan jalan sebagai modifier aspal. Penambahan bahan aditif jenis polimer dalam jumlah kecil ke dalam aspal terbukti dapat meningkatkan kinerja aspal dan memperpanjang umur kekuatan/masa layan perkerasan tersebut (**Sengoz B and Isikyakar G, 2008**). Dan polimer dapat meningkatkan daya tahan perkerasan terhadap berbagai kerusakan, seperti deformasi permanen, retak akibat perubahan suhu, *fatigue damage*, serta pemisahan/pelepasan material (**Yildirim.Y, 2007**).

Terdapat beberapa jenis polimer antara lain karet, karet sintetis, dan lain-lain. Dimana Puslitbang Jalan telah mengeluarkan klasifikasi dari polimer seperti yang tercantum pada **Tabel 2.12**.

Tabel 2.12 Klasifikasi Polimer

Tipe Polimer	Nama Umumnya	Keperluan untuk Perkerasan
SBS (<i>Styrene Butadiene Styrene</i>)	<i>Thermoplastic Rubber</i>	Hotmix, Pengisian retak
EVA (<i>Ethylene Vinyl Acetate</i>)	<i>Thermoplastic</i>	Daya tahan terhadap alur, seal, retak
PolyEthylene; Polypropylene	<i>Thermoplastic</i>	Daya tahan terhadap alur
SBR (<i>Styrene Butadiene Rubber</i>)	Karet Sintetis	Retak, alur
Karet Alam	Karet	Retak, alur

Sumber: Pusat Penelitian Bangunan Jalan dan Jembatan, 2002

Karet sintetis atau karet buatan yang umum disebut dengan *Synthetic Rubber*, merupakan polimerisasi Styrene yang dikombinasikan dengan Butadiena menghasilkan Styrene Butadiena Rubber (SBR) atau Styrene Butadiena Styrene

(SBS), yang mempunyai sifat menyerupai karet alam dan mempunyai kelebihan memperbaiki sifat yang kurang pada karet alam, antara lain ketahanan terhadap temperatur dan oksidasi.

Polimer telah banyak digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan ketahanan dan kepekaan aspal terhadap temperatur. Diperkirakan bahwa dengan meningkatnya kekakuan aspal maka akan meningkat pula ketahanan terhadap deformasi, keretakan akibat temperatur dan ketahanan terhadap kelelahan pada lapisan beraspal (**Brown dkk, 1990**). Dalam industri konstruksi jalan, polimer dapat dibagi menjadi 2 kelompok kategori, yaitu elastomer (karet) dan plastomer (plastik). Plastomer bersifat lebih keras dan kaku, tiga jenis plastomer yang mampu menahan deformasi adalah polyethylene, polypropylene dan ethylene vinyl acetate (EVA). Polimer jenis ini dapat dipanaskan dan didinginkan berkali-kali tanpa mempengaruhi kualitasnya. Demikian pula dengan elastomer yang mampu memperkuat konstruksi jalan dari deformasi, namun perbedaannya adalah, polimer jenis elastomer ini fungsinya lebih bertahan deformasi setelah menerima beban di permukaannya dan elastomer akan meregangkan permukaan dan mengembalikannya ke bentuk semula setelah beban tersebut hilang.

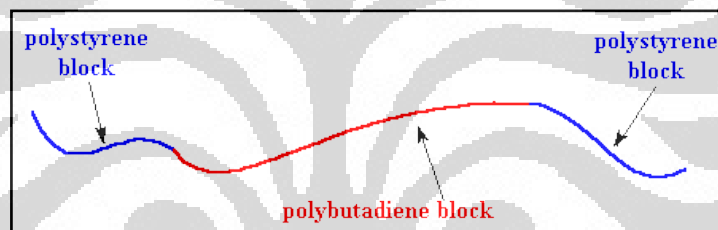
Elastomer selain menambah elastisitas aspal secara signifikan juga kuat tarik aspal akan meningkat sepanjang penguluran (**Brown dkk, 1990**). Elastomer yang biasa digunakan sebagai PMB (*Polimer Modified Bitumen*) antara lain; SBS (*Styrene Butadiene Styrene*), SBR (*Styrene Butadiene Rubber*), SIS (*Styrene Isoprene Styrene*), dan sejenisnya. Selain itu, polimer jenis elastomer ini harganya jauh lebih mahal dibandingkan dengan plastomer (**Freddy L. Roberts, 1996**).

Satu alasan mengapa digunakan polimer untuk memodifikasi aspal adalah karena aspal mempunyai keterbatasan sedangkan polimer menaikkan sifat-sifat secara nyata antara lain;

- Tahan terhadap suhu tinggi karena aspal polimer mempunyai titik leleh lebih dari 50 derajat.
- Dapat digunakan pada kondisi lalu lintas tinggi sehingga dapat mengurangi deformasi pada suhu tinggi, karena aspal polimer mempunyai titik leleh dan modulus kekakuan yang lebih tinggi.

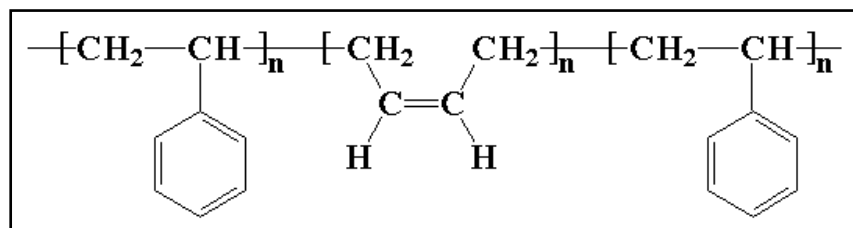
- Tahan terhadap gaya geser karena aspal polimer menaikkan ketahanan terhadap gaya geser.
- Dapat menaikkan umur pakai karena kekentalan aspal polimer makin tinggi.

Jenis polimer yang digunakan dalam penelitian ini adalah polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*), yaitu sebuah karet sintetis yang mulanya hanya digunakan dalam industri ban karet, sepatu, ataupun tempat-tempat lain yang mementingkan durabilitas. SBS adalah tipe *copolymer* yang dinamakan dengan *block copolymer*. Rantai penyusunnya terbagi atas tiga segmen. Segmen pertama adalah *polystyrene block*, segmen tengahnya berupa rantai panjang dari *polibutadiene*, dan segmen terakhirnya kembali pada *polystyrene block*. Ketiga segmen tersebut dapat dilihat melalui **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Rantai Penyusun SBS

Polystyrene adalah sejenis plastik yang keras dan kaku, dan inilah yang membuat SBS memiliki durabilitas yang baik. Sedangkan *Polybutadiene* berfungsi sebagai karet yang memberikan sifat elastis bagi SBS. Dari kedua unsur penyusun inilah yang membuat SBS memiliki durabilitas dan sifat elastisitas yang tinggi. Material ini bersifat seperti karet elastomer dalam temperatur ruangan, namun ketika dipanaskan, dapat diproses seperti plastik. SBS juga merupakan material yang biasa disebut sebagai *thermoplastic elastomer*, yaitu suatu polimer yang mempunyai kelenturan (karet) dan ikatan samping yang besar dalam strukturnya. Hal ini dapat dilihat dari susunan rantai kimia SBS yang panjang seperti pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Rantai Kimia SBS

2.4.3 Aspal Modifikasi Polimer (AMP)

Aspal adalah bahan yang kompleks dan terdiri dari beberapa komponen untuk jenis aspal yang tidak mempunyai titik leleh pasti, oleh karena itu harus ditentukan setiap aspal. Bila diinginkan tahan pada suhu yang tinggi agar tidak terjadi deformasi maka sebaiknya dipilih polimer. Aspal yang sudah ditambahkan dengan polimer biasa disebut dengan sebutan aspal modifikasi. Sifat-sifat yang diinginkan pada aspal yang sudah dimodifikasi dengan polimer adalah (**Ws, Tjitjik 2001**) :

- 1) Titik leleh; Diinginkan aspal dengan daya tahan terhadap suhu yg tinggi agar tidak terjadi deformasi, maka digunakan polimer.
- 2) Penetrasi indeks; Dengan penetrasi indeks, maka akan tahan terhadap deformasi pada suhu tinggi dan tahan terhadap retak pada suhu rendah.
- 3) Kekentalan; Kekentalan aspal berhubungan dengan ketebalan lapisan aspal serta aspal harus cukup tebal dan keras untuk melapisi agregat dibawah tekanan lalu lintas.

Kelebihan dan kekurangan aspal modifikasi polimer dibandingkan dengan aspal konvensional antara lain tertera pada **Tabel 2.13**.

Tabel 2.13 Kekurangan dan kelebihan aspal modifikasi dibandingkan dengan aspal konvensional

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Titik leleh lebih tinggi • Stabilitas dinamis tinggi • Deformasi permanen kecil • Temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan tidak beda terlalu jauh dengan aspal konvensional 	<ul style="list-style-type: none"> • Harga per kg lebih mahal • Perlu alat pengaduk khusus agar aspal dan polimer dapat tercampur secara homogen

Aspal modifikasi (AMP) digunakan untuk menambah daya tahan aspal terhadap perubahan suhu dengan meningkatkan kekakuan *binder*/pengikat pada temperatur tinggi dan mengurangi kekakuan pada temperatur rendah di saat yang bersamaan (Airey G.D., 2002). AMP dapat digunakan dalam aplikasi beberapa konstruksi jalan, seperti; airport, lajur motor dan jalan-jalan kota, lapis perkerasan aspal, lapis permukaan untuk lalulintas tinggi, jembatan dan terowongan, persimpangan, area parkir untuk kendaraan truk, dan untuk perbaikan jalan beton (Giavarini C., Paolo De Filippis, M. Laura Santarelli and Marco Scarsella, 1996).

Aspal yang sudah dimodifikasi dengan polimer harus memenuhi persyaratan seperti pada **Tabel 2.14**.

Tabel 2.14 Persyaratan Pengujian Aspal Modifikasi Polimer Elastomer

No.	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	50 – 75
2	Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	Min. 54
3	Titik Nyala, °C	SNI 06-2433-1991	Min. 232
4	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	
5	Kekentalan pada 135 °C, cSt	SNI 06-6271-2002	Min. 2000
6	Stabilitas Penyimpanan pada 163 °C Selama 48 jam, Perbedaan Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	Max. 2
7	Kelarutan dalam Trichloro Etylen, % berat	RSNI M-04-2004	Min. 99
8	Penurunan Berat (dengan RTFOT), berat	SNI 06-2440-1991	Max. 1
9	Perbedaan Penetrasi setelah RTFOT, % asli	SNI 06-2456-1991	
	1. Kenaikan Penetrasi		
	2. Penurunan Penetrasi		Max. 10 Max. 40
10	Perbedaan Titik lembek setelah RTFOT, % asli	SNI 06-2434-1991	
	3. Kenaikan Titik Lembek		
	4. Penurunan Titik Lembek		Max. 6,5 Max. 2
11	Elastic Recovery residu RTFOT, %	AASHTO T301-95	Min. 45

Sumber: (Dept. Pekerjaan Umum 2005) Spesifikasi Umum Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.5 Pengujian Material

2.5.1 Uji Mutu Bahan Dasar Campuran

Agregat yang diperoleh dari suatu stockpile bervariasi dari titik ke titik, sehingga diperlukan pengujian mutu untuk memastikan bahwa contoh pengujian mewakili keadaan agregat yang sebenarnya. Jika agregat tersebut mengalami segregasi, maka tidak boleh digunakan.

Pengujian agregat dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu; pengujian berat jenis dan penyerapan, abrasi, serta analisa saringan untuk menentukan gradasi sesuai spesifikasi yang diinginkan. Hal ini dilakukan guna mendapatkan contoh agregat yang memenuhi spesifikasi yang sesuai sebagai salah satu bahan campuran aspal panas yang baik.

2.5.2 Uji Campuran

Kinerja campuran aspal beton dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksaan Marshall yang pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall yang dikembangkan selanjutnya oleh U.S Corps of Engineer. Pemeriksaan dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (*stability*) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Pertama kali pengujian harus dilakukan untuk meyakinkan bahwa:

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

Kedua persyaratan tersebut adalah persyaratan yang telah ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum berdasarkan Petunjuk Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (*stabilitas*) terhadap kelelahan (*flow*) dari campuran aspal.

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kg atau pound. Nilai ini diperoleh dengan mengalikan nilai jarum pada arloji penunjuk stabilitas pada alat uji Marshall dengan faktor kalibrasi alat dan faktor korelasi benda uji.

Nilai yang diperoleh akan menunjukkan kekuatan struktural suatu campuran aspal yang dipengaruhi oleh kandungan aspal, susunan gradasi, dan kualitas agregat dalam campuran.

Kelelahan plastis (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 *inch*. Pengukuran kelelahan plastis dilakukan bersamaan dengan pengukuran stabilitas dimana nilai kelelahan dibaca pada arloji pada saat benda uji mengalami keruntuhan. Dan hasil uji marshall dengan beberapa variabel kandungan aspal dan beberapa benda uji akan didapat kandungan aspal yang optimum.

Akan sangat sulit mencari metode pengujian yang dapat meneliti semua faktor tersebut hanya dalam satu cara. Tetapi sebagian besar dari faktor-faktor tersebut dapat diuji dengan menggunakan alat Marshall. Hasil yang diperoleh dari pengujian dengan alat Marshall, antara lain:

- Stabilitas
- Marshall Quotient (MQ)
- Kelelahan
- Rongga dalam campuran (VIM)
- Rongga dalam agregat (VMA)

2.5.3 Persyaratan Campuran

Persyaratan campuran dari hasil uji marshall dibagi menjadi 2, yaitu persyaratan untuk campuran laston dan untuk campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) yang ditentukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 seperti pada **Tabel 2.15**.

Tabel 2.15 Persyaratan Campuran lapis Aspal Beton

SIFAT CAMPURAN	LL BERAT		LL SEDANG		LL RINGAN	
	(2 x 75 tumb)		(2 x 50 tumb)		(2 x 35 tumb)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Stabilitas (Kg)	550	-	450	-	350	-
Kelelahan (mm)	2	4	2	4,5	2	5
Stabilitas/Kelelahan (kg/mm)	200	350	200	350	200	350
Rongga dalam campuran (%)	3	5	3	5	3	5
Rongga dalam agregat (%)	Lihat Tabel 2.16					
Indeks perendaman (%)	75	-	75	-	75	-

Sumber : SNI-03-1737-1989

Catatan :

- 1) Rongga dalam campuran aspal dihitung berdasarkan Berat Jenis maksimum teoritis campuran (berdasarkan berat jenis efektif agregat) atau berdasarkan berat jenis maksimum campuran menurut AASHTO T 209-82.
- 2) Rongga dalam agregat ditetapkan berdasarkan berat jenis jenis curah (*bulk specific gravity*) dari agregat.

- 3) Indeks perendaman ditetapkan berdasarkan Rumus :

$$\frac{48 \text{ jam pada suhu } 60^{\circ} \text{C (Kg)}}{\text{Stabilitas Marshall (Kg)}} \times 100\%$$

- 4) Kepadatan Lalu Lintas

Berat : lebih besar 500 UE 18 KSAL/hari/jalur

Sedang : 50 sampai 500 UE 18 KSAL/hari/jalur

Ringan : lebih kecil dari UE 18 KSAL/hari/jalur

Tabel 2.16 Persentase Minimum Rongga dalam Agregat (VMA)

Ukuran Maksimum Nominal Agregat		Persentase Minimum Rongga dalam Agregat
inci	mm	
No. 16	1,18	23,5
No. 8	2,36	21,0
No. 4	4,75	18,0
3/8 i	9,50	16,0
½	12,50	15,0
¾	19,00	14,0
1	25,00	13,0
1 ½	37,50	12,0
2	50,00	11,5
2 1/2	63,00	11,0

Sumber : SNI-03-1737-1989

Tabel 2.17 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Penyerapan Aspal (%)	Max	1,2		
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
	Min	3,5		
Rongga dalam campuran (%)		5,5		
	Max	5,5		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall (%)	Min	800		1500
	Max	-		-
Pelelehan (mm)	Min	3	5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250	300	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min	75		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min	2,5		

Tabel 2.18 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Dimodifikasi (*AC Modified*)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		WC Mod	BC Mod	Base Mod
Penyerapan Aspal (%)	Max	1,7		
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,5		
	Max	5,5		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall (%)	Min	1000		1800
	Max	-		-
Pelelehan (mm)	Min	3		5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	300		350
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min	75		
Rongga dalam campuran (%) pada	Min	2,5		
Kepadatan membal (refusal)				
Stabilitas Dinamis, Lintasan / mm	Min	2500		

Sumber : Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007

2.5.4 Perhitungan Marshall

Perhitungan yang digunakan dalam menganalisis hasil pengujian Marshall adalah sebagai berikut:

2.5.4.1 Berat Jenis Agregat

Berat jenis (*bulk specific gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

- a) Berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dari total agregat

$$BJ \text{ Bulk} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{ agregat kasar}}{Bj \text{ Bulk agregat kasar}}\right) + \left(\frac{\% \text{ agregat medium}}{Bj \text{ Bulk agregat medium}}\right) + \left(\frac{\% \text{ agregat halus}}{Bj \text{ Bulk agregat halus}}\right)} \quad (3.2)$$

- b) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dari total agregat

$$BJ \text{ App} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{ agregat kasar}}{Bj \text{ App agregat kasar}}\right) + \left(\frac{\% \text{ agregat medium}}{Bj \text{ App agregat medium}}\right) + \left(\frac{\% \text{ agregat halus}}{Bj \text{ App agregat halus}}\right)} \quad (3.3)$$

- c) Berat jenis agregat total

$$\text{Berat Jenis Agregat} = \frac{BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ App}}{2} \quad (3.4)$$

2.5.4.2 Berat Jenis Aspal Teoritis

$$BJ \text{ Teoritis} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{ agregat}}{Bj \text{ Agregat}}\right) + \left(\frac{\% \text{ aspal}}{Bj \text{ Aspal}}\right)} \quad (3.5)$$

Keterangan: Persentase aspal dan agregat tergantung kadar aspal dan agregat yang di uji.

2.5.4.3 Rongga Terhadap Agregat (*VMA/Voids in the Mineral Agregat*)

Rongga udara antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga di antara partikel agregat pada campuran beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal

efektif (tidak termasuk volume aspal yang terserap agregat). VMA direncanakan berdasarkan berat jenis bulk agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran beraspal. Perhitungan untuk memperoleh nilai VMA dapat dilihat pada persamaan (3.6).

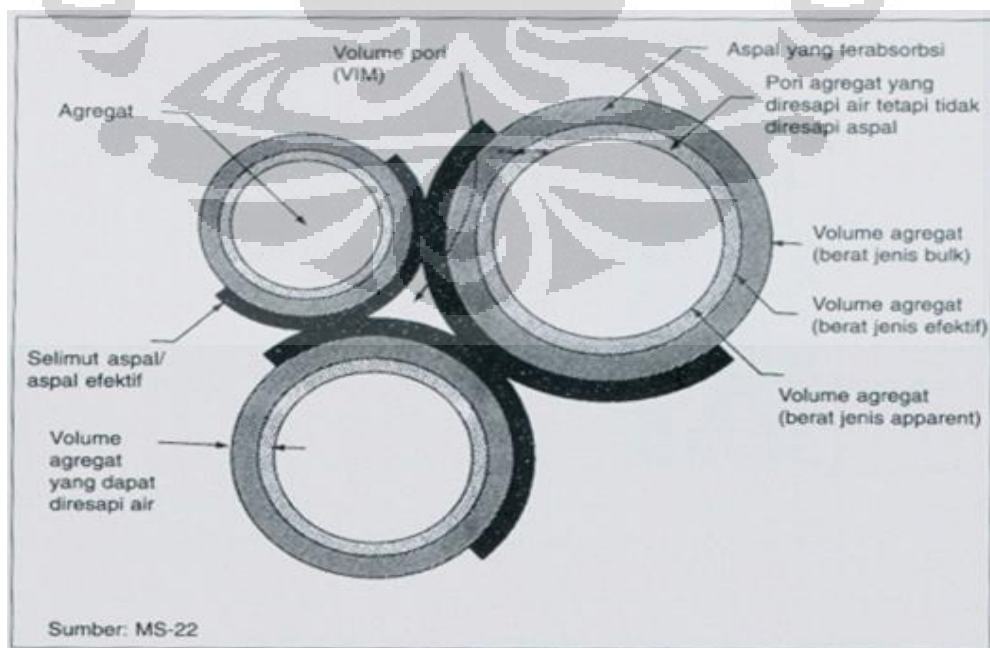
$$VMA = 100 - \frac{(100 - \% \text{ aspal terhadap campuran}) \times \text{berat isi benda uji}}{\text{Berat jenis agregat}} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\text{Dengan, berat isi benda uji} = \frac{\text{berat kering}}{\text{berat jenuh} - \text{berat dalam air}} \dots\dots\dots (3.6a)$$

2.5.4.4 Rongga Terhadap Campuran (VIM/Voids in Mix)

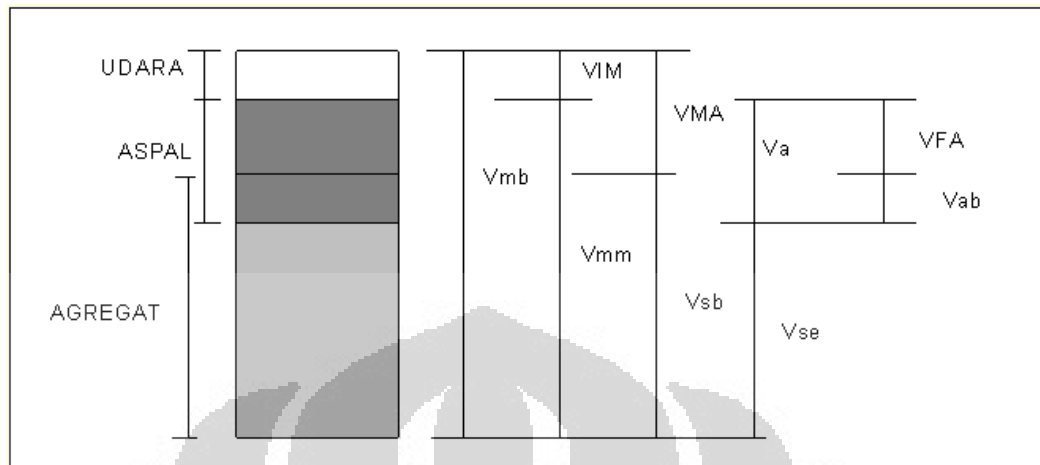
Rongga udara dalam campuran adalah rongga udara dalam campuran beraspal yang terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. Untuk memperoleh nilai VIM dapat digunakan persamaan (3.7).

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{berat isi benda uji}}{\text{berat jenis teoritis}} \dots\dots\dots (3.7)$$



Gambar 2.6 Pengertian tentang selimut aspal dalam campuran

Untuk dapat lebih jelas melihat perbedaan antara VMA dan VIM dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Skema Volume Beton Aspal

Keterangan:

V_{mb} = volume bulk dari campuran beton aspal padat

V_{sb} = volume agregat, adalah volume bulk dari agregat (volume bagian masif + pori yang ada di dalam masing-masing butir agregat)

V_{se} = volume agregat, adalah volume efektif dari agregat (volume bagian masif + pori yang tidak terisi aspal di dalam masing-masing butir agregat)

VMA = volume pori di antara butir agregat di dalam beton aspal padat

V_{mm} = volume tanpa pori dari beton aspal padat

VIM = volume pori dalam beton aspal padat

V_a = volume aspal dalam beton aspal padat

VFA = volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal

V_{ab} = volume aspal yang terabsorpsi ke dalam agregat dari beton aspal padat

2.5.4.5 Marshall Quotient

Marshall Quotient (MQ) adalah hasil bagi dari nilai stabilitas (ketahanan) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal. Nilai Marshall Quotient akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai Marshall Quotient berarti campuran semakin kaku, sebaliknya semakin kecil Marshall Quotient berarti semakin lentur campuran.

Stabilitas (ketahanan) adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kilogram atau pound. Sedangkan kelelahan plastis (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam milimeter atau 0,01 inch.

Kedua nilai ini diperoleh berdasarkan pembacaan jarum yang ditunjukkan oleh jarum pada dial stabilitas (O) dan kelelahan (R) pada alat tes Marshall. Nilai stabilitas kemudian dikonversikan dengan koefisien yang tertera pada tabel kalibrasi sesuai *proving ring* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan kekuatan 2500 kgf. Selanjutnya nilai stabilitas tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi akibat dari tinggi benda uji. Sedangkan untuk nilai kelelahan tidak diperlukan kalibrasi angka, cukup dengan pembacaan jarum yang bersatuan mm (milimeter).

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas (O)}}{\text{Kelelahan (R)}} \dots\dots\dots(3.8)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rencana Penelitian

Pengujian akan dilakukan terhadap aspal minyak dengan penetrasi 60/70 untuk lapis permukaan jalan. Penelitian dilakukan pada campuran Laston dengan aspal pen 60/70 dan BGA (*Buton Granular Asphalt*). Dalam penelitian ini tidak dilakukan langkah menentukan kadar aspal optimum terlebih dahulu, namun masing-masing dari 5 variasi kadar aspal yang digunakan langsung divariasikan dengan bahan campur yang lain, seperti BGA 20/25 (0%, 5%, 7%) dan polimer SBS (0%, 2%, 4%), dengan masing-masing variasi campuran dibuat 3 buah benda uji. Penelitian dilakukan dalam 2 (dua) tahap, yaitu:

- Uji mutu aspal pen 60/70, agregat (kasar, medium, halus), aspal modifikasi polimer (AMP) dan BGA
- Pengujian Marshall masing-masing sampel dengan 5 variasi kadar aspal AC, 2 variasi dengan bahan aditif jenis polimer SBS (2% dan 4%), serta gabungan 2 variasi kadar BGA (5% dan 7%) sebagai bahan modifikasi agregat dan aspal terhadap campuran aspal beton modifikasi polimer

Berdasarkan jenis dan komposisi campurannya, benda uji yang dibuat pada penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi 3 tipe campuran, yaitu:

- 1) Campuran murni, terdiri dari agregat dan aspal AC dengan 5 variasi kadar aspal
- 2) Campuran aspal modifikasi polimer, terdiri dari agregat dan aspal modifikasi polimer (2% dan 4%) dengan 5 variasi kadar aspal
- 3) Campuran aspal modifikasi polimer dan BGA, terdiri dari agregat, BGA /*Buton Granular Asphalt* (5% dan 7%) dan aspal modifikasi polimer (2% dan 4%) dengan 5 variasi kadar aspal

Pada tahap pertama, dilakukan persiapan material yang akan digunakan. Material yang dipersiapkan antara lain aspal pen 60/70, agregat (kasar, medium, halus), BGA 20/25, dan Polimer SBS untuk membuat benda uji. Setelah semua

material terkumpul, maka akan dilakukan pengujian standar untuk material tersebut. Untuk material aspal pen 60/70 akan dilakukan beberapa pengujian, sebagai berikut:

- Pemeriksaan Penetrasi Aspal sebelum dan setelah kehilangan berat minyak
- Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
- Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar
- Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal
- Pemeriksaan Kelarutan Bitumen Aspal dalam Karbon Tetra Klorida (CCl_4)
- Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen
- Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen

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

- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Medium
- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus
- Abrasi dengan mesin Los Angeles

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam perancangan campuran metode Marshall adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari spesifikasi gradasi agregat campuran yang diinginkan dari spesifikasi campuran, yaitu gradasi agregat spesifikasi IV.
2. Merancang proporsi dari masing-masing fraksi agregat yang tersedia untuk mendapatkan agregat campuran dengan gradasi sesuai spesifikasi yang diinginkan, pada penelitian ini dipilih gradasi agregat spesifikasi IV.
3. Menentukan kadar aspal total dalam campuran

Kadar aspal total dalam campuran beton aspal adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antar agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing-masing butir agregat.

Biasanya kadar aspal campuran telah ditetapkan dalam spesifikasi sifat campuran, maka untuk rancangan campuran di laboratorium dipergunakan kadar aspal tengah/ideal. Kadar aspal tengah yaitu nilai tengah dari rentang kadar aspal dalam spesifikasi campuran.

Kadar aspal tengah/ideal dapat pula ditentukan dengan mempergunakan rumus, berdasarkan Spesifikasi Depkimpraswil/ Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2002), yaitu:

$$P = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan:

P = kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran

CA = persen agregat tertahan saringan No. 8

FA = persen agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200

filler = persen agregat minimal 75% lolos No. 200

K = konstanta

= 0,5 – 1,0 untuk laston

= 2,0 - 3,0 untuk lataston

Kadar aspal yang diperoleh dari salah satu rumus-rumus tersebut dibulatkan mendekati angka 0,5% terdekat. 5 variasi kadar aspal yang akan digunakan dalam pencampuran adalah kadar aspal yang masing-masing berbeda 0,5%. Kadar aspal yang dipilih haruslah sedemikian rupa, sehingga dua kadar aspal kurang dari nilai kadar aspal tengah, dan dua kadar aspal selanjutnya lebih besar dari nilai kadar aspal tengah. Jika kadar aspal tengah adalah a%, maka benda uji dibuat untuk kadar aspal (a-1)%, (a-0,5)%, a%, (a+0,5)%, dan (a+1)%, dan masing-masing kadar aspal dibuat 3 buah benda uji (lihat **Tabel 3.1**).

4. Setelah semua variasi dicampurkan satu sama lain menjadi suatu benda uji, kemudian dilakukan uji Marshall pada masing-masing benda uji untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) benda uji mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991.
5. Menghitung parameter Marshall yaitu Stabilitas, Kelelahan, VIM (*Void In Mix*), VMA (*Void Mix Aggregate*), Nilai Marshall dan parameter lain sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran.
6. Menggambarkan hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, yaitu gambar hubungan antara:

- a. Kadar aspal dengan stabilitas
- b. Kadar aspal dengan kelelahan
- c. Kadar aspal dengan VIM
- d. Kadar aspal dengan VMA
- e. Kadar aspal dengan nilai marshall

Jumlah sampel yang dibutuhkan beserta masing-masing komposisinya dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

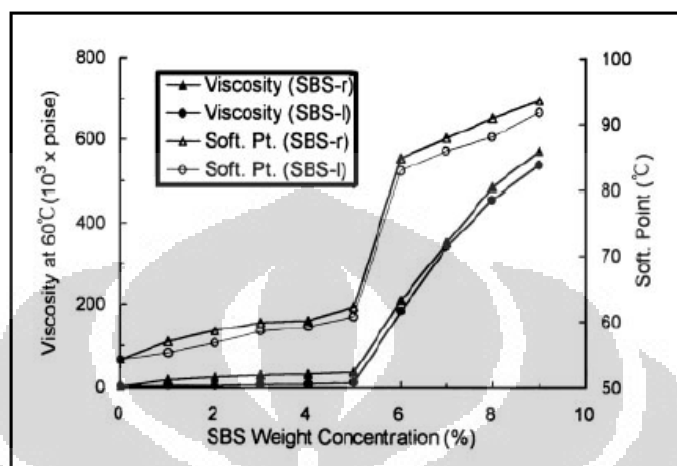
Tabel 3.1 Perhitungan Jumlah Sampel Benda Uji

No.	Komposisi	Kadar Aspal	Kadar BGA			Jumlah Sampel
		(%)	0%	5%	7%	
1	Polimer 0%	(a-1)	3	3	3	45
		(a-0,5)	3	3	3	
		a	3	3	3	
		(a+0,5)	3	3	3	
		(a+1)	3	3	3	
2	Polimer 2%	(a-1)	3	3	3	45
		(a-0,5)	3	3	3	
		a	3	3	3	
		(a+0,5)	3	3	3	
		(a+1)	3	3	3	
3	Polimer 4%	(a-1)	3	3	3	45
		(a-0,5)	3	3	3	
		a	3	3	3	
		(a+0,5)	3	3	3	
		(a+1)	3	3	3	
Total Keseluruhan Benda Uji =					135	

Keterangan:

a = kadar aspal tengah

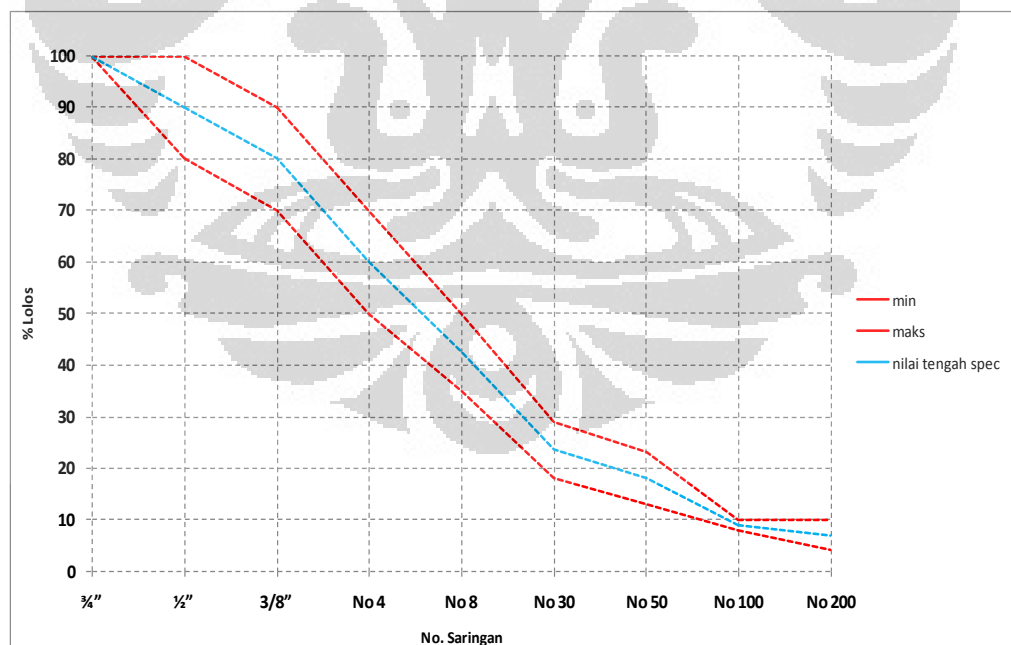
Persentase polimer pada penelitian ini ditentukan berdasarkan jurnal yang berjudul “**Evaluation and Optimization of the Engineering Properties of Polymer-Modified Asphalt**”, oleh: J.-S. Chen, M.-C. Liao, and H.-H. Tsai (2002).



Gambar 3.1 Perubahan Sifat Aspal dengan Modifikasi Polimer SBS

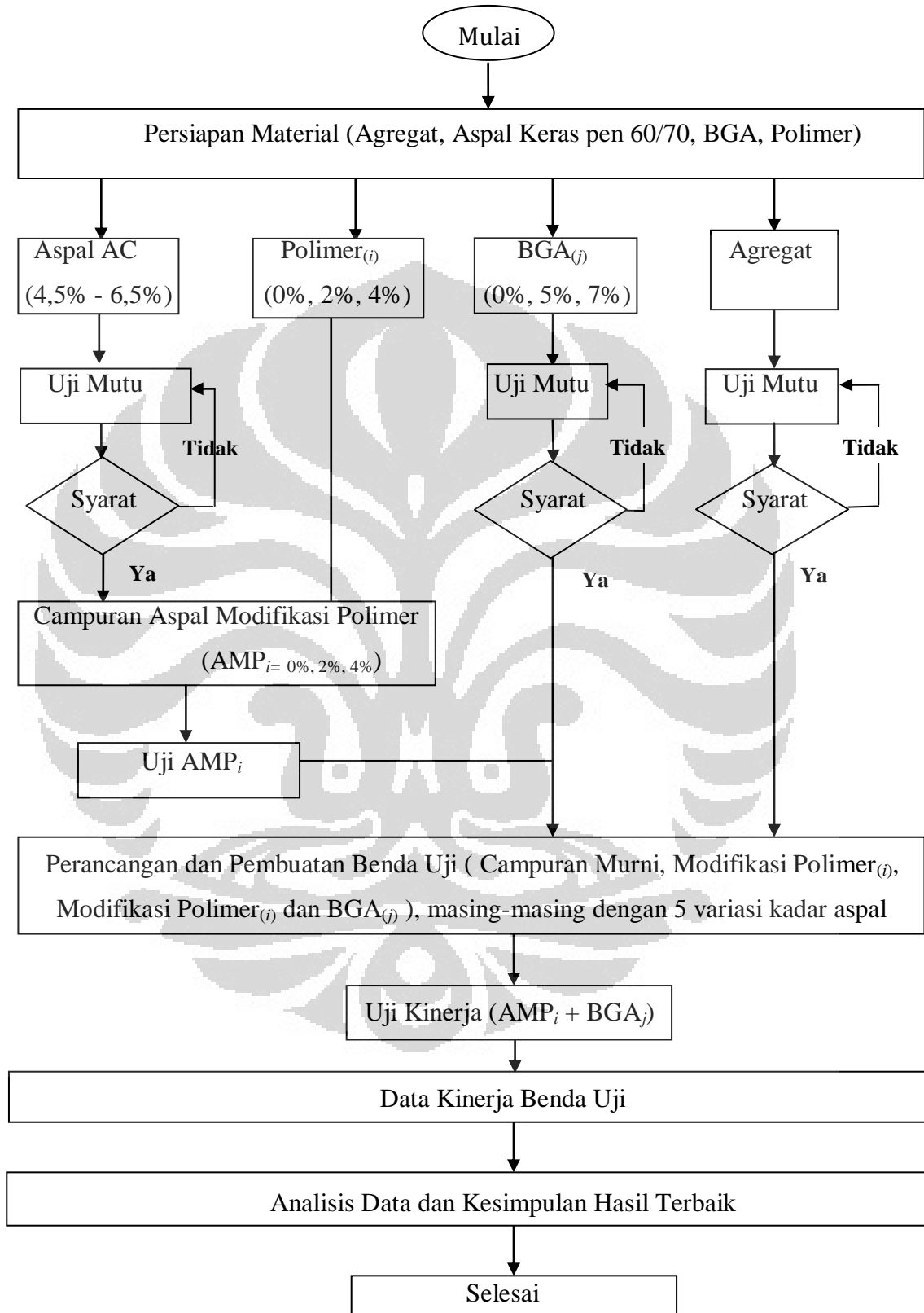
Gambar 3.1 merupakan grafik hubungan antara viskositas dalam suhu 60°C dan suhu titik leleh (°C) dengan persentase jumlah SBS yang digunakan, yaitu 0 – 9 %. Persentase penggunaan SBS 1 %, kenaikan viskositasnya tidak terlalu terlihat dikarenakan polimernya yang berjumlah sedikit hanya tersebar merata, sehingga tidak terlalu mempengaruhi kenaikan titik lelehnya. Dalam penelitian ini kami memutuskan untuk mengambil angka 2 % karena berdasarkan penelitian sebelumnya menyatakan bahwa pada persentase 2 – 3 % kenaikan viskositasnya mulai terlihat karena SBS mulai membentuk struktur jaringan pada campuran aspal panas. Dan angka 4 % diambil juga dikarenakan pada penelitian sebelumnya jumlah persentase diatas 3 %, jaringan yang semula sudah terbentuk mulai saling berinteraksi membentuk sebuah ikatan yang lebih kuat. Kenaikan yang signifikan terjadi pada penggunaan SBS sebanyak 6 % seperti yang terlihat pada **Gambar 3.1**. Pada umumnya, kadar polimer maksimal yang digunakan pada campuran aspal berkisar antara 1 – 4 %. Disamping harganya yang cukup mahal, penggunaan kadar polimer lebih dari 4 % bukan lagi berfungsi sebagai bahan modifikasi aspal dalam campuran perkerasan, namun berubah fungsi sebagai karet penyambung jembatan maupun *roofing* (atap). Maka pada penelitian ini memutuskan untuk menggunakan kadar polimer 2 % dan 4 %.

Sedangkan untuk pemilihan kadar BGA ditentukan berdasarkan grafik sebaran gradasi hasil analisa saringan berdasarkan spesifikasi IV, seperti yang tertera pada **Grafik 3.2**. Oleh karena hasil analisa saringan butir BGA tidak dapat masuk dalam klasifikasi filler, dimana syarat utamanya adalah minimal 85% dari total beratnya harus lolos saringan no.200, maka BGA diikutsertakan sebagai bagian dari agregat pada saat menentukan proporsi masing-masing fraksi agregat dalam campuran melalui proses *trial and error*. Kadar BGA 5% yang diambil pada penelitian ini diperoleh melalui proses *trial and error* terhadap seluruh komposisi agregat yang nilai gradasi gabungannya paling mendekati nilai tengah spesifikasi IV dari kisaran kadar BGA 1% hingga 10%. Sedangkan kadar BGA 7% pertama diambil karena kadar BGA 7% merupakan besar persentase komposisi BGA yang biasa digunakan pada proyek pembangunan jalan oleh PT. Hutama Prima. Selain itu berdasarkan hasil *trial and error* terhadap seluruh komposisi agregat, untuk kadar BGA lebih dari 7% sudah semakin sulit untuk menyesuaikan agar nilai gradasi gabungannya memenuhi kisaran yang disyaratkan untuk sebaran gradasi agregat spesifikasi IV.



Gambar 3.2 Grafik Sebaran Gradasi Agregat Spesifikasi IV

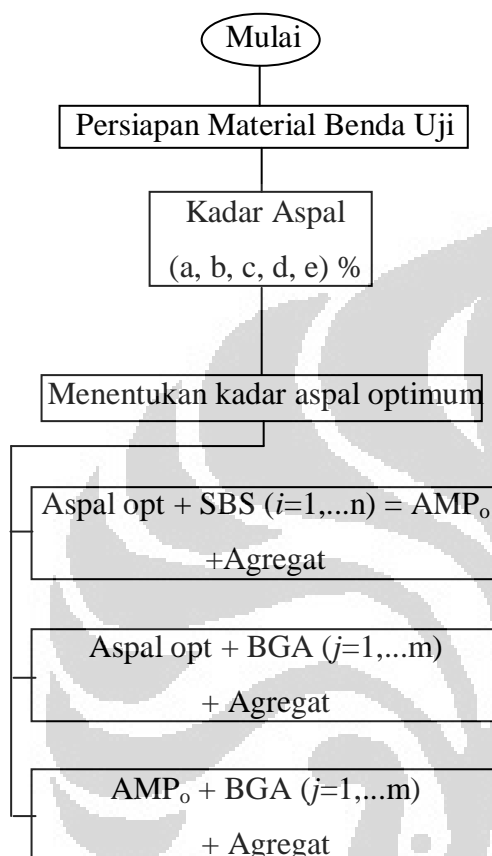
Secara skematis alur penelitian dan pelaksanaan di laboratorium dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

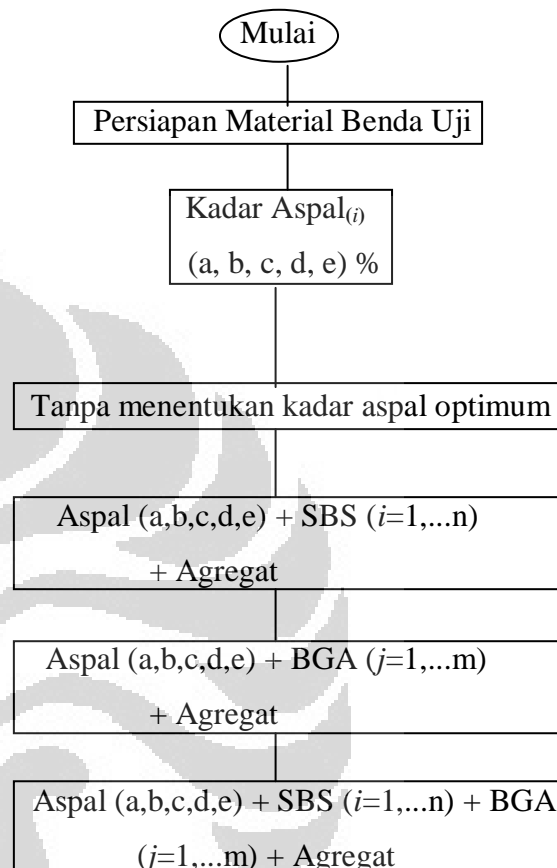
Perbedaan mendasar antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu adalah seperti pada **Gambar 3.4** dan **Gambar 3.5** :

Sebelumnya (Konvensional)



Gambar 3.4 Metode Konvensional

Sekarang



Gambar 3.5 Alur Prinsip Penelitian

Penelitian ini tidak dilakukan dengan cara konvensional seperti pada **Gambar 3.4**, yaitu diawali dengan pencarian kadar aspal optimum kemudian baru divariasikan dengan bahan tambah lain. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan kelima kadar aspal murni dengan kombinasi bahan tambah yang dikehendaki seperti pada **Gambar 3.5**. Hal ini dilakukan untuk membuktikan apakah kinerja campuran aspal terbaik selalu dapat diperoleh dari penggunaan kadar aspal optimum atau tidak. Sehingga, jumlah sampel yang akan diuji jumlahnya lebih banyak dibandingkan dengan yang menggunakan kadar aspal optimum.

3.2 Pelaksanaan

3.2.1 Bahan Baku Penelitian

Bahan baku penelitian meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus, BGA, dan Polimer.

- Aspal, Tipe : Aspal Pen 60/70
- Agregat Kasar
 - Tipe : Batu Pecah (*Split*)
 - Ukuran : maksimum 20 mm
 - Berat Jenis : minimum 2500 kg/m³
- Agregat Halus
 - Tipe : Abu batu
 - Ukuran : 0,075 mm – 4,75 mm
 - Berat Jenis : minimum 2500 kg/m³
- BGA (*Buton Granular Asphalt*)
 - Tipe : BGA 20/25
- Polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*)

3.2.2 Standar Pengujian

Pada penelitian di laboratorium dilakukan pemeriksaan bahan-bahan pembentuk campuran. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar, pengujian terhadap material aspal, serta pengujian terhadap aspal keras. Semua standar pengujian menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI), *American Society for Testing Material* (ASTM) serta *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Beberapa metode standar yang digunakan, antara lain:

a) Metode Standar untuk Pengujian Material Aspal

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal (SNI-06-2456-1991)

A. Sebelum Kehilangan Berat Minyak

B. Setelah Kehilangan Berat Minyak

Tujuannya adalah untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid).

2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal (SNI-06-2434-1991)

Tujuannya adalah untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30°C sampai 200°C.

3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI-06-2433-1991)

Tujuannya adalah untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua jenis hasil minyak bumi kecuali minyak bakar dan bahan lainnya yang mempunyai titik nyala open cup kurang dari 79 °C.

4. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal (SNI-06-2440-1991)

Tujuannya adalah untuk menetapkan kehilangan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu, yang dinyatakan dalam persen berat semula.

5. Pemeriksaan Kelarutan Bitumen Aspal (SNI 06-2438-1991)

Tujuannya adalah untuk menentukan kadar bitumen yang larut dalam Karbon Tetra Klorida (CCl₄).

6. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen (SNI-03-2441-1991)

Tujuannya adalah untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

7. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen (SNI-03-2441-1991)

Tujuannya adalah untuk menentukan berat jenis bitumen keras dan ter dengan piknometer.

b) Metode Standar untuk Pengujian Agregat

1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (SNI-03-1969-1990)

Tujuannya adalah untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*) dari agregat kasar.

2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (SNI-03-1979-1990)

Tujuannya adalah untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*) dari agregat halus.

3. Abrasi dengan mesin Los Angeles (SNI-03-2417-1991)

4. Analisa Butiran (*Sieve Analysis*)

Tujuannya adalah untuk menentukan distribusi ukuran butiran (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

3.2.3 Perancangan dan Pembuatan Benda Uji

Setelah diperoleh grafik analisa butiran, langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji sebanyak jumlah benda uji yang telah diperhitungkan dalam rencana penelitian. Pembuatan benda uji ini dilakukan tiga kali. Pertama adalah melakukan pembuatan campuran aspal panas murni tanpa penambahan bahan aditif polimer SBS dan BGA. Tahap kedua dilakukan dengan menggunakan variasi polimer SBS (2% dan 4%), dan ketiga adalah campuran aspal yang sudah dimodifikasi dengan variasi polimer SBS (2% dan 4%) yang divariasikan lagi dengan BGA (5% dan 7%).

Prosedur Pelaksanaan :

3.2.3.1 Persiapan Campuran

Untuk masing-masing benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1150 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $6,25 \text{ cm} \pm 0,125$ ($2,5'' \pm 0,05''$).

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

Sementara itu panaskan aspal sampai mencair dan mencapai suhu pencampuran ($\pm 140^{\circ}\text{C}$ untuk aspal pen 60/70 dan $\pm 160^{\circ}\text{C}$ untuk aspal modifikasi polimer). Tuangkan aspal sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan tersebut, kemudian diaduk dengan cepat sampai agregat terlapis rata.

- Menentukan Variasi Kadar Aspal

- Aspal (a-1)%
- Aspal (a-0,5)%
- Aspal a%
- Aspal (a+0,5)%
- Aspal (a+1)%

Nilai “a” adalah nilai tengah yang diperoleh dari Persamaan 3.1.

- Menentukan persentase agregat kasar, medium, halus sesuai grafik hasil uji Analisa Saringan di Laboratorium.
- Adapun prosedur pencampuran material dikelompokkan menjadi 3 variasi benda uji, yaitu campuran aspal murni, campuran aspal modifikasi polimer dan campuran aspal modifikasi polimer dengan BGA seperti berikut.

1. Benda Uji dengan komposisi Campuran Aspal murni (Polimer SBS dan BGA 0%)

- Siapkan campuran aspal dan agregat sebanyak ± 1150 gram
- Aspal dan agregat masing-masing dipanaskan di tempat yang berbeda
- Aspal dipanaskan hingga mencair dan mencapai suhu $170 \pm 20^{\circ}\text{C}$

- Agregat dipanaskan didalam kuali hingga mencapai suhu ± 150 °C, bertujuan untuk menghilangkan kadar air agar penyerapan aspal terhadap agregat menjadi homogen.
- Setelah keduanya mencapai suhu masing-masing, kemudian dicampurkan didalam kuali dan diaduk hingga tercampur merata.
- Masukkan ke dalam cetakan untuk memulai pemadatan sebanyak 75 tumbukan dengan suhu pemadatan ± 110 °C.

2. Benda Uji dengan komposisi Campuran Aspal panas dan variasi polimer SBS (2% dan 4%)

Aspal yang digunakan dalam campuran ini adalah aspal modifikasi (aspal yang sudah dicampur dengan variasi polimer SBS), cara pemanasannya adalah (*sumber jurnal: **Evaluation and Optimization of the Engineering Properties of Polymer-Modified Asphalt**, 2002, J.-S. Chen, M.-C. Liao, and H.-H. Tsai*):

- Aspal 0% dipanaskan hingga mencapai suhu 180 °C
- Pasang mesin pengaduk di atas wadah aspal yang sedang dipanaskan
- Dengan kecepatan rendah, masukkan butiran polimer SBS dengan perlahan dan sedikit demi sedikit, untuk mencegah penggumpalan, dengan temperatur tetap terjaga 180 °C
- Setelah semua polimer dimasukkan, atur kembali mesin pengaduk dengan temperatur konstan 180 °C dan kecepatan konstan 3000 rpm, biarkan hingga mencapai waktu minimal 2 jam, agar benar-benar homogen.
- Pindahkan ke wadah lain dan pisahkan antara yang akan digunakan untuk campuran aspal dengan untuk uji mutu.
- Agregat dipanaskan didalam kuali hingga mencapai suhu ± 170 °C, bertujuan untuk menghilangkan kadar air agar penyerapan aspal terhadap agregat menjadi homogen.

- Setelah keduanya mencapai suhu masing-masing, kemudian dicampurkan didalam kuili dan diaduk hingga tercampur merata.
- Masukkan ke dalam cetakan untuk melakukan pemadatan sebanyak 75 tumbukan dengan suhu pemadatan $\pm 150^{\circ}\text{C}$.

3. Benda Uji dengan komposisi Campuran Aspal modifikasi polimer dan BGA (5% dan 7%)

- Siapkan campuran aspal modifikasi, agregat dan BGA, ± 1150 gram
- Panaskan aspal modifikasi dan agregat di dua tempat yang berbeda
- Campurkan BGA ke dalam kuili agregat yang sedang dipanaskan setelah agregat dalam kuili mencapai suhu $\pm 180^{\circ}\text{C}$, kemudian dituangkan dengan aspal yang sudah dipanaskan hingga mencair dan lakukan langkah seperti sebelumnya.

3.2.3.2 Pemadatan Benda Uji

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

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

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

Letakkan cetakan diatas landasan pematat, dalam pemegang cetakan. Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali, sesuai rencana konstruksi perkerasan jalan untuk lalu lintas berat, dengan tinggi jatuh 45 cm (18”). Selama pemadatan harus tetap dijaga agar sumbu palu pematat selalu tegak lurus pada cetakan. Lepaskan keping alas dan balikkan alat cetak berisi benda uji dan pasang kembali lehernya di sisi sebaliknya, kemudian lakukan penumbukan kembali dengan jumlah tumbukkan yang sama.

Sesudah pemadatan, lepaskan keping alas dan keluarkan benda uji dari cincinnya dengan menggunakan alat pengeluar benda uji (*extruder*). Dengan hati-hati keluarkan dan letakkan benda uji diatas permukaan rata yang halus, biarkan selama ± 24 jam pada suhu ruang dan diberi label.

3.2.3.3 Pengujian Marshall

Setelah benda uji mencapai waktu ± 24 jam pada suhu ruang, kemudian benda uji ditimbang berat keringnya dan diukur dimensi permukaan dan tingginya. Kemudian benda uji direndam didalam air dengan suhu ruangan selama ± 24 jam. Setelah mencapai waktu ± 24 jam, benda uji dilap hingga tercapai keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*) /kering permukaan, dan ditimbang untuk memperoleh berat jenuhnya. Penimbangan berat yang terakhir adalah berat benda uji didalam air, untuk mengetahui kejenuhan dari sampel tersebut.

Selanjutnya untuk pengujian Marshall, sebelumnya benda uji tersebut harus dimasukkan kedalam *waterbath* terlebih dahulu dengan temperatur 60 °C selama 30 menit. Setelah 30 menit, benda uji dikeluarkan dan langsung diletakkan di alat *Marshall test* yang telah diberi pembebanan, kemudian lakukan pembacaan kedua *dial gauge* untuk memperoleh nilai stabilitas (O) dan kelelahan (R).

3.3 Analisa Data Hasil Pelaksanaan Penelitian

Setelah diperoleh hasil pengujian dari seluruh sampel benda uji, kemudian dilakukan analisa sebagai berikut:

- a) Membandingkan data hasil pengujian Marshall seluruh benda uji dan melihat perbedaan hasil antara sampel benda uji yang menggunakan variasi campuran yang berbeda-beda, baik dari segi material maupun bahan aditif yang digunakan.
- b) Menyimpulkan hasil yang paling optimum dari keseluruhan hasil uji Marshall yang dilakukan dengan berbagai variasi komposisi campuran.
- c) Menganalisis pengaruh perbedaan dan penambahan bahan aditif terhadap kinerja seluruh campuran.

3.4 Kesimpulan dan Saran

Setelah memperoleh data mengenai kinerja masing-masing tipe campuran aspal dan dibandingkan hasilnya satu sama lain, kemudian dilakukan penarikan kesimpulan dan pemberian usulan berdasarkan hasil kesimpulan yang dibuat.

BAB IV

HASIL DAN ANALISA DATA PENELITIAN

4.1 Pengujian Mutu Material Pembentuk Campuran

4.1.1 Hasil Uji Mutu Aspal

Pengujian standar material aspal dilakukan pada 2 tipe aspal yang berbeda, yaitu aspal AC (pen 60/70) dan aspal modifikasi polimer SBS / *Styrene Butadiene Styrene* (kadar 2% dan 4%). Hasil pengujian disesuaikan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang dikeluarkan oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Depkimpraswil) tahun 2002 seperti yang tertera pada **Tabel 4.1**.

4.1.1.1 Aspal AC (pen 60/70)

Material aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal AC dengan pen 60/70. Untuk mengetahui apakah mutu aspal yang akan digunakan sudah memenuhi syarat pengujian seperti standar yang ditetapkan, maka dilakukan pengujian sesuai dengan nilai-nilai karakteristik material aspal tersebut, seperti yang tercantum dalam **Tabel 4.1**.

Tabel 4.119 Perbandingan Hasil Pengujian Aspal Keras dengan Standar

Jenis Pemeriksaan, pen 60/70	Min	Maks	Hasil Uji	Unit	Status
Penetrasi aspal 25°, 100 gram, 5 detik	60	79	62,8	0,1 mm	OK
Titik Lembek aspal 5°C	48	58	49	°C	OK
Titik Nyala Aspal	232	-	320	°C	OK
Kehilangan Berat aspal	-	0,4	0,19	% Berat	OK
Kelarutan dalam CCl ₄	99	-	99,5	% Berat	OK
Daktilitas	100	-	> 100	cm	OK
Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	89,17	% Semula	OK
Berat jenis	1	-	1,031	gr/cc	OK

Sumber : Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah 2002 (telah diolah kembali)

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 kehilangan berat minyak (TFOT/ *Thin Film Oven Test*). Dari hasil pengujian sebelum TFOT, diperoleh nilai penetrasi rata-rata sebesar 62,8. Nilai penetrasi ini memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan nilai penetrasi kelompok aspal pen 60/70 pada rentang 60 – 79.

Sedangkan hasil pemeriksaan penetrasi setelah TFOT diperoleh penurunan angka penetrasi sebesar 89,17 % dari penetrasi sebelumnya. Nilai ini telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum tahun 2007 yang mensyaratkan nilai penetrasi untuk aspal Pen 60/70 setelah TFOT minimal mengalami penurunan sebesar 75% dari kondisi awal.

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, diperoleh nilai titik lembek aspal sebesar 49°C, nilai ini telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan titik lembek untuk aspal pen 60/70 sebesar 48°C – 58°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 326°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 selama ± 5 jam. Hasil pemeriksaan kehilangan berat menunjukkan aspal kehilangan berat sebesar 0,19%, sudah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan persyaratan maksimal sebesar 0,4%.

e. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam Karbon Tetraklorida (CCl₄)

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, diperoleh nilai kelarutan dalam CCl₄ adalah sebesar 99,5%, sangat 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, diperoleh hasil di atas 100 cm, sehingga aspal tergolong sudah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan batas minimum adalah 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, diperoleh berat jenis aspal murni sebesar 1,031 gr/cc, dimana hasil ini telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007 yang menetapkan batas minimum berat jenis aspal sebesar 1 gr/cc.

4.1.1.2 Aspal Modifikasi Polimer (AMP)

Pemeriksaan sifat fisik aspal polimer meliputi penetrasi, titik leleh, titik nyala, titik bakar, dan daktilitas aspal. Aspal yang dimodifikasi dengan polimer adalah aspal AC penetrasi 60/70 merk Pertamina, diperoleh dari AMP PT Utama Prima. Polimer yang digunakan sebagai bahan modifikasi adalah

styrenebutadiene-styrene (SBS), produk dari LG Chemical Ltd., Korea, diperoleh dari AMP PT Widya Saptas Colas (WASCO). Pengujian sifat dasar aspal polimer dilakukan dengan kadar polimer sebesar 2% dan 4% dari berat aspal, untuk mengetahui sejauh mana penambahan polimer mempengaruhi sifat dasar aspal keras dan mutu campuran. Hasil pengujian dipaparkan pada **Tabel 4.2** dengan mengacu pada spesifikasi teknis berdasarkan Revisi SNI 03-6749-2002.

Tabel 4.20 Perbandingan Hasil Pengujian Aspal Modifikasi Polimer SBS-elastomer dengan Standar

Jenis Pemeriksaan, pen 60/70	Spek		Hasil Uji		Unit	Status
	Min	Max	Pol 2%	Pol 4%		
Penetrasi aspal 25°, 100 gram, 5 detik	50	75	54	52	0,1 mm	OK
Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	80,74	90	% Semula	OK
Titik Lembek aspal 5°C	54	-	55	90	°C	OK
Titik Nyala aspal	232	-	324	310	°C	OK
Titik Bakar aspal	232	-	328	320	°C	OK
Daktilitas	50	-	> 100	> 100	cm	OK
Penurunan Berat (RTFOT)	-	1,0	0	0	% berat	OK

Sumber: RSNI 03-6749-2002 (telah diolah kembali)

4.1.2 Hasil Uji Mutu Agregat

Untuk memperoleh hasil perencanaan campuran yang memiliki mutu yang baik, diperlukan pengujian mutu masing-masing komponen material penyusunnya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisik atau karakteristik dasar yang dimiliki oleh komponen utama penyusun campuran, yaitu agregat kasar, medium dan halus. Agregat yang digunakan dalam perencanaan ini merupakan agregat yang berasal dari AMP PT Hutama Prima, Bogor, Jawa Barat. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM (*American Society for Testing Material*) dan SNI (Standar Nasional Indonesia), adapun hasil pengujiannya dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Pengujian Agregat dengan Spesifikasi

No	Jenis pemeriksaan	Syarat*)	Hasil	Unit	Status
A Agregat Kasar					
1	Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)	> 2,5	2,57	gr/cm ³	OK
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>saturated surface dry</i>)	> 2,5	2,61	gr/cm ³	OK
3	Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)	> 2,5	2,68	gr/cm ³	OK
4	Penyerapan (<i>absorption</i>)	< 3	1,65	gr/cm ³	OK
B Agregat Medium					
1	Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)	> 2,5	2,5	gr/cm ³	OK
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>saturated surface dry</i>)	> 2,5	2,58	gr/cm ³	OK
3	Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)	> 2,5	2,7	gr/cm ³	OK
4	Penyerapan (<i>absorption</i>)	< 3	2,85	gr/cm ³	OK
C Agregat Halus					
1	Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)	> 2,5	2,61	gr/cm ³	OK
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>saturated surface dry</i>)	> 2,5	2,63	gr/cm ³	OK
3	Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)	> 2,5	2,67	gr/cm ³	OK
4	Penyerapan (<i>absorption</i>)	< 3	1,01	gr/cm ³	OK

*) Berdasarkan SNI 03 – 1969 – 1990

Uji Abrasi dilakukan dengan mesin Los Angeles untuk mengetahui nilai keausannya sesuai dengan ASTM No. C 131 dan SNI 03 – 2417 – 1991. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian berat dengan gradasi benda uji tipe B, yaitu lolos saringan no. 3/4” dan tertahan saringan no. 1/2” serta lolos saringan no. 1/2” dan tertahan saringan no. 3/8”. Hasil persentase keausan yang diperoleh adalah 19,24%, dan sudah memenuhi standarnya yaitu maksimal 40 %.

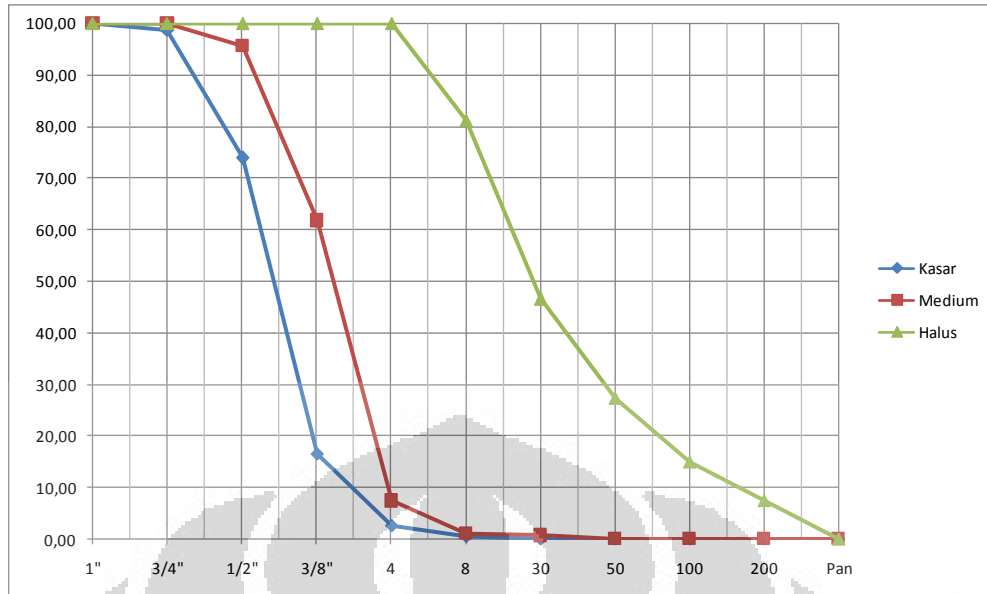
4.1.3 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar, Medium dan Halus

Pengujian analisis saringan agregat kasar, medium dan halus ini mengacu pada PB-0201-76, AASHTO T-27-82, ASTM D-136-04. Hasil pemeriksaan ini tertera seperti pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Data Analisa Saringan Agregat Kasar, Medium dan Halus

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Kumulatif
Agregat Kasar				
3/4"	19,1	25,00	1,26	98,74
1/2"	12,7	495	24,85	73,90
3/8"	9,25	1.143	57,38	16,52
4	4,76	275	13,81	2,71
8	2,38	44	2,21	0,50
Pan		10	0,50	0,00
Total		1.992	100	
Agregat Medium				
1/2"	12,7	88	4,41	95,59
3/8"	9,52	675	33,82	61,77
4	4,76	1.086	54,41	7,36
8	2,38	125	6,26	1,10
30	0,59	8,00	0,40	0,70
Pan		14,00	0,70	0,00
Total		1.996	100	
Agregat Halus				
4	4,76	0	0,00	100
8	2,38	186	18,81	81,19
30	0,59	342	34,58	46,61
50	0,279	190	19,21	27,40
100	0,149	122	12,34	15,07
200	0,074	75	7,58	7,48
Pan		74	7,48	0,00
Total		989	100	

Dari tabel hasil analisa saringan tersebut diperoleh grafik sebaran gradasi agregat seperti pada **Gambar 4.1**. Grafik sebaran gradasi ini selanjutnya yang akan digunakan untuk menghitung proporsi agregat dalam campuran melalui kertas grafik pembagian butir.



Gambar 4.8 Grafik Sebaran Gradasi Agregat per Fraksi

4.1.4 Hasil Uji Mutu BGA

Pemeriksaan sifat fisik BGA (*Buton Granular Asphalt*) meliputi analisis saringan sebelum dan setelah ekstraksi, serta pengujian aspal hasil ekstraksi yang disebut dengan nama asbuton/ aspal buton. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik BGA terhadap standar mutu BGA, standar mutu agregat yang bersifat sebagai filler dan standar aspal buton. BGA yang diuji adalah BGA tipe 20/25 atau kelas penetrasi 20 (0,1 mm) dengan kelas penetrasi 25. Benda uji ini diperoleh dari PT. Utama Prima.

Pengujian analisa saringan BGA menggunakan susunan saringan yang sama dengan agregat halus, sedangkan pengujian ekstraksi BGA dilakukan dengan menggunakan cairan TCE (*trichloroethylene*) dan alat ekstraktor reflux. Dan pengujian asbuton yang dilakukan yaitu penetrasi, titik lembek dan daktilitas.

a. Pemeriksaan Analisa Saringan

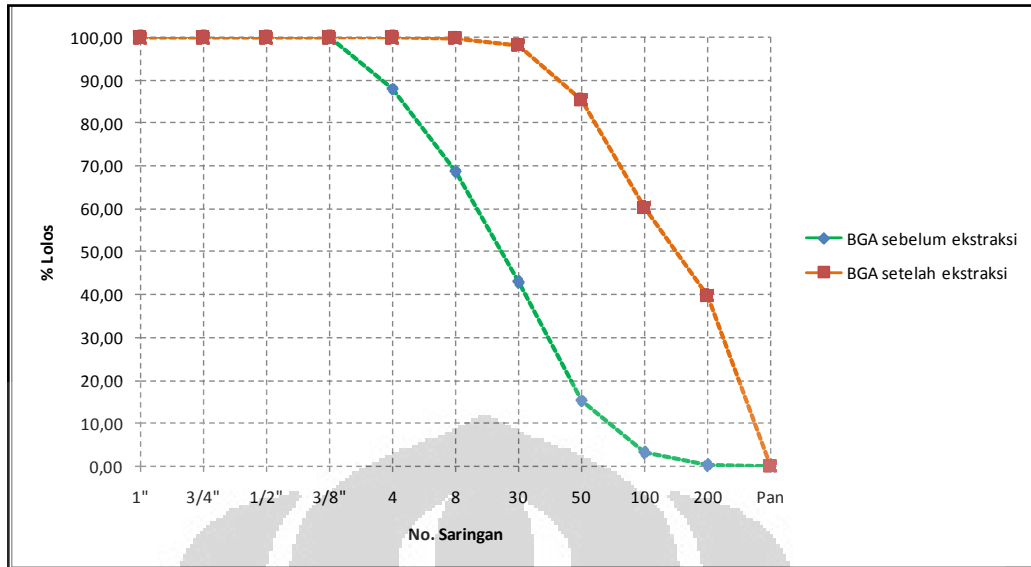
Hasil analisa saringan BGA sebelum dan setelah ekstraksi dapat dilihat pada **Tabel 4.5** yang menghasilkan grafik sebaran gradasi agregat seperti pada **Gambar 4.2**.

Tabel 4.5 Tabel Perbandingan Analisa Saringan BGA sebelum dan setelah ekstraksi

No. Saringan	Diameter (mm)		Syarat (%)	BGA (Sebelum Ekstraksi)	BGA (Setelah Ekstraksi)	
4	4,76	Dep. PU tahun 2007	Syarat	100	88,19	100
8	2,38	Dep. PU tahun 2007		BGA	Min. 95	68,77
30	0,59	ASTM-C33	Syarat		100	42,94
50	0,279	ASTM-C33		Filler	95 – 100	15,42
100	0,149	ASTM-C33	Filler		90 – 100	3,10
200	0,074	ASTM-C33		Filler	65 – 100	0,20
Pan						0,00

Hasil sebaran analisa saringan menunjukkan bahwa jumlah persentase lolos saringan No.4 butir BGA sebelum ekstraksi kurang dari 100%, yaitu sebesar 88,19%, hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat 11,81% jumlah butir yang tertahan saringan tersebut, yang menandakan bahwa ukuran butir agregat terbesarnya sebesar diameter saringan di atasnya, yaitu no 3/8" (9,52 mm). Namun hasil sebaran analisa saringan setelah ekstraksi menunjukkan jumlah persentase lolos saringan No.4 butir BGA mencapai 100%, hal ini menunjukkan bahwa butir BGA yang tertahan pada saat sebelum ekstraksi bukan merupakan ukuran maksimum butirnya, tetapi hanya merupakan gumpalan butir agregat yang terselimuti asbuton. Hal ini membuktikan bahwa ukuran butir BGA masih sangat bervariasi, sehingga nilai mutu BGA tidak dapat disimpulkan hanya berdasarkan syarat BGA dari hasil analisa saringan seperti pada **Tabel 4.5**. Masih terdapat syarat pengujian mutu aspal BGA yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

Berdasarkan **Tabel 4.5** dapat dibuktikan bahwa BGA bukan merupakan filler bagi campuran aspal, karena baik hasil analisa saringan BGA sebelum dan sesudah ekstraksi pada saringan no.30 – 200 tidak ada yang sesuai dengan syarat gradasi untuk filler (bahan pengisi campuran). Perubahan analisa saringan BGA sebelum dan sesudah ekstraksi dapat dilihat lebih jelas pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2 Grafik Sebaran Gradasi BGA Sebelum dan Setelah Ekstraksi

b. Pemeriksaan Mutu Aspal BGA

Untuk pengujian ekstraksi butir BGA dilakukan dengan menggunakan sampel butir BGA 20/25 sebanyak 300 gram yang diambil secara acak, adapun rincian hasil pemeriksaannya dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.21 Tabel pemeriksaan kadar aspal BGA

	(A)	Syarat	Keterangan
Berat contoh sebelum ekstraksi (1)	300		
Berat kertas saring sebelum ekstraksi (2)	7		
Berat contoh setelah ekstraksi (3)	190		
Berat kertas saring setelah ekstraksi (4)	10		
Berat mineral (agregat) (5) = (3)+(4)-(2)	193		
Berat aspal = (1)-(5)	107		
% kadar aspal = (6)/(1)x100%	35,67%	23 – 27 %	Tidak Memenuhi

Sumber : Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 (telah diolah kembali)

Seperti halnya pembahasan yang telah diutarakan pada **Tabel 4.5** bahwa ukuran butir BGA masih sangat bervariasi, berlaku pula pada hasil

pemeriksaan kadar aspal BGA seperti pada **Tabel 4.6** yang tidak memenuhi kisaran sesuai standar yang ditetapkan. Dengan ukuran sampel acak butir BGA yang sangat bervariasi mengakibatkan kadar aspal yang terkandung di dalamnya juga sangat bervariasi.

Setelah melalui proses ekstraksi, diperoleh aspal cair yang kemudian dioven ± 24 jam untuk menghilangkan cairan TCE yang digunakan pada saat ekstraksi. Pemeriksaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Pemeriksaan Penetrasi

Penetrasi aspal BGA menggunakan standar SNI 06-2490-1991 dengan nilai antara 19-22 dmm. Benda uji terlebih dahulu didiamkan dalam suhu 25 °C selama 30 menit. Dengan beban yang diberikan selama 5 detik didapatkan nilai penetrasi seperti pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Tabel Pengujian Penetrasi Aspal BGA

Penetrasi BGA (0,1 mm)					Rata-rata	Syarat	Keterangan
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5			
18	20	20	19	21	19,6	19-22	Memenuhi

Sumber : Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 (telah diolah kembali)

Nilai penetrasi yang dihasilkan terbukti lebih rendah dibandingkan dengan penetrasi aspal murni. Hal ini menunjukkan bahwa aspal dalam butir BGA bersifat lebih keras dibandingkan dengan aspal murni dengan pen 60/70.

- Pemeriksaan Titik Lembek

Pengujian menggunakan alat *ring* dan *ball* serta didiamkan terlebih dahulu pada suhu 5 °C selama 15 menit. Hasil pemeriksaan menunjukkan angka 68 °C untuk *ring* kiri dan 67 °C untuk *ring* kanan, dengan rata-rata 67,5 °C. Titik lembek BGA ini sudah memenuhi standar yang ditetapkan berdasarkan SNI 06-2432-1991 dengan standar minimum titik lembek aspal BGA adalah 60 °C.

- Pemeriksaan Daktilitas

Daktilitas menunjukkan batas keelastisitasan aspal BGA yang ditandai dengan putusnya aspal pada alat uji. Pengujian menggunakan beban tarik dengan kecepatan 5 cm/menit. Benda uji terlebih dahulu didiamkan dalam suhu 25 °C selama 15 menit. Hasil pemeriksaan menunjukkan aspal putus pada angka 80 cm. Nilai daktilitas ini lebih rendah daripada daktilitas aspal murni. Hal ini menunjukkan bahwa aspal buton dalam butir BGA bersifat lebih keras dibanding dengan aspal murni.

4.2 Rancangan Komposisi Campuran Benda Uji

Rancangan komposisi penyusun campuran aspal panas yang digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan tipe campuran no. IV untuk lapis permukaan berdasarkan SNI 03-1737-1989 seperti pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8 Syarat Gradasi agregat untuk berbagai tipe laston

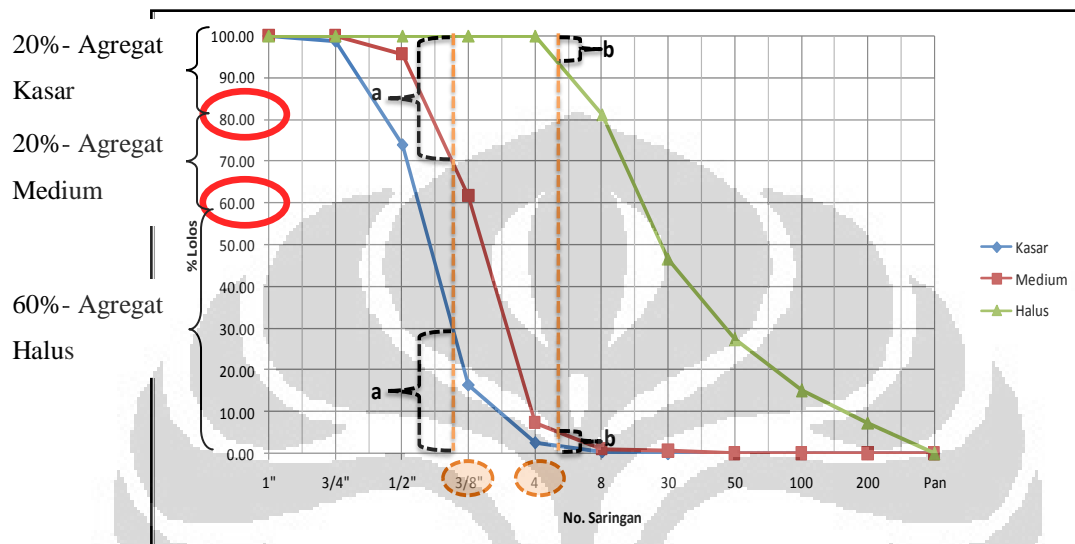
No. Campuran	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Gradasi/ Tekstur	Kasar	Kasar	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat
Tebal padat (mm)	20-40	25-50	20-40	25-50	40-65	50-75	40-50	20-40	40-65	40-65	40-50
Ukuran Saringan	% BERAT YANG LOLOS SARINGAN										
1 1/2" (38,1 mm)	-	-	-	-	-	100	-	-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

Sumber : SNI 03-1737-1989

Dari syarat gradasi agregat seperti yang tertera pada **Tabel 4.8** dapat diketahui kisaran gradasi agregat gabungan yang harus disesuaikan untuk

membuat rancangan campuran aspal panas sebagai bahan lapisan aspal beton untuk perkerasan jalan pada kondisi lalu lintas sedang (tipe campuran no. IV).

Mengacu pada **Gambar 4.1**, langkah awal yang dilakukan untuk memperoleh komposisi agregat berdasarkan fraksinya dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.9 Penentuan Komposisi Agregat Berdasarkan Grafik Sebaran Gradasi Agregat

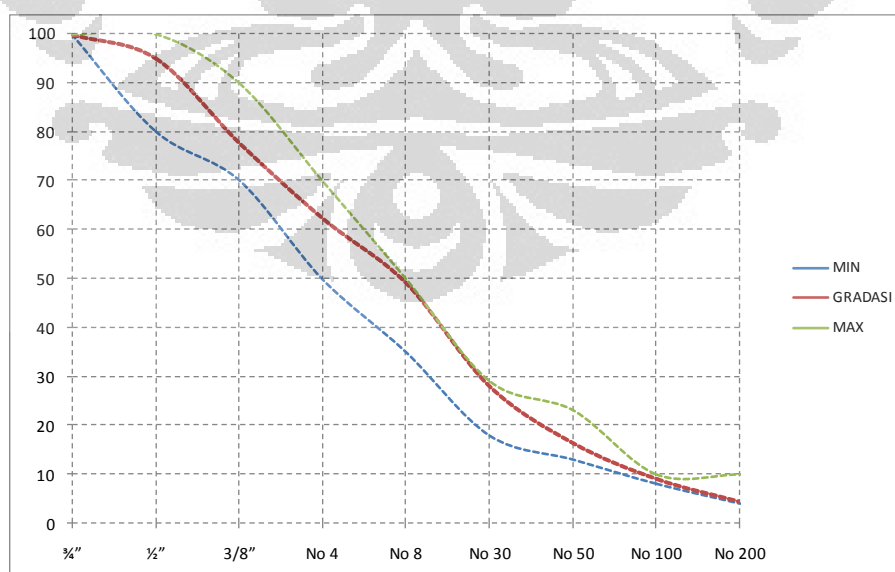
Untuk menentukan proporsi agregat halus, digunakan jarak yang sama dari kurva luar gradasi agregat halus dan agregat medium (**b**), kemudian dilihat ke no.saringan terdekat. Diperoleh garis perpotongan kurva luar yang mendekati saringan no.4 dengan persyaratan persen lolos sesuai spesifikasi IV sebesar 50-70% seperti pada **Tabel 4.8**. Proporsi agregat halus ditentukan dengan mengambil nilai tengah % lolos persyaratan tersebut yaitu 60 %. Demikian pula dengan proporsi agregat kasar yang ditentukan dengan mengambil nilai tengah hasil perpotongan jarak yang sama antara kurva luar agregat kasar dengan agregat medium (**a**) yaitu 80 %. Dengan demikian didapatkan persentase awal komposisi agregat kasar 20 %, agregat medium 20 % dan agregat halus 60 %.

Hasil persentase awal ini kemudian dikalikan dengan persentase lolos kumulatif masing-masing agregat berdasarkan urutan nomor saringannya dari yang terbesar hingga terkecil, setelah itu hasil dari masing-masing ukuran saringan yang sama dari ketiga jenis agregat dijumlahkan. Hasil dari nilai tersebut merupakan nilai gradasi gabungan dari komposisi agregat tersebut. Nilai gradasi

gabungan tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai gradasi gabungan yang sesuai dengan syarat gradasi agregat untuk tipe laston no.IV seperti pada **Tabel 4.8**. Jika nilai gradasi gabungan tersebut tidak masuk dalam kisaran yang disyaratkan, maka perlu dilakukan *trial and error* pada nilai persentase komposisi agregatnya hingga dapat tergolong mendekati nilai tengah dari kisaran yang disyaratkan. Perincian akhir persentase gradasi masing-masing komponen agregat setelah dilakukan *trial and error* adalah seperti pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9 Persentase agregat dalam campuran berdasarkan gradasinya

Saringan No	Kasar		Medium		Halus		Spek IV	Nilai tengah Spek	Gradasi Gabungan
	(% lolos komulatif)		(% lolos komulatif)		(% lolos komulatif)				
	Total	15%	Total	25%	Total	60%			
¾"	98,74	14,81	100	25	100	60	100	100	99,81
½"	73,90	11,08	95,59	23,90	100	60	80-100	90	94,98
3/8"	16,52	2,48	61,77	15,44	100	60	70-90	80	77,92
No 4	2,71	0,41	7,36	1,84	100	60	50-70	60	62,25
No 8	0,50	0,08	1,10	0,28	81,19	48,72	35-50	42,5	49,07
No 30			0,70	0,18	46,61	27,97	18-29	23,5	28,14
No 50					27,40	16,44	13-23	18	16,44
No 100					15,07	9,04	8 s/d 10	9	9,04
No 200					7,48	4,49	4 s/d 10	7	4,49



Gambar 4.4 Grafik Gradasi Gabungan Disesuaikan Tipe Laston Spesifikasi IV

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa tidak ada nilai gradasi gabungan yang kurang dari batas minimum atau melebihi batas maksimum kisaran yang disyaratkan sesuai dengan spesifikasi laston tipe IV. Setelah menentukan persentase komposisi agregatnya, untuk mendapatkan jumlah berat masing-masing agregat dapat dilakukan dengan cara mengalikan masing-masing persentase agregat dengan berat total campuran yang direncanakan, yaitu 1150 gram.

Untuk variasi kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan dengan cara dapat pula ditentukan dengan mempergunakan rumus kadar aspal tengah/ideal, berdasarkan Spesifikasi Depkimpraswil/ Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2002), yaitu:

$$P = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K \quad (4.1)$$

dengan:

P = kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran

CA = persen agregat tertahan saringan No. 8

FA = persen agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200

filler = persen agregat minimal 75% lolos No. 200

K = konstanta

= 0,5 – 1,0 untuk laston

= 2,0 - 3,0 untuk laston

Dari persamaan 4.1 diperoleh nilai “P” = 5,5 ; maka variasi kadar aspal yang akan digunakan adalah (P-1)%, (P-0,5)%, P%, (P+0,5)%, dan (P+1)%, dan masing-masing kadar aspal dibuat 3 buah benda uji. Sehingga diperoleh 5 variasi kadar aspal, yaitu; 4,5% , 5% , 5,5% , 6% , dan 6,5%. Variasi kadar aspal tersebut merupakan proporsi berat aspal terhadap berat total campuran. Sedangkan berat agregat kasar, medium, dan halus ditentukan dari sisa berat total sampel yang telah dikurangi berat aspal sesuai proporsinya masing-masing dalam setiap tipe campuran.

4.2.1 Campuran Aspal Murni dan Polimer

Untuk campuran aspal murni dan polimer, persentase jumlah masing-masing agregat yang digunakan adalah sama, yaitu 15% Agregat Kasar, 25% Agregat Medium dan 60% Agregat Halus seperti pada **Tabel 4.9** dan **Gambar 4.4**. Aspal yang digunakan adalah dari jenis aspal AC dan aspal modifikasi polimer SBS 2% dan 4% dengan variasi kadar aspal yang digunakan adalah 4,5%, 5% , 5,5%, 6%, dan 6,5%. Sehingga diperoleh proporsi agregat setiap sampelnya seperti tertera pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Proporsi Berat Agregat Penyusun Campuran Aspal AC dan Aspal Modifikasi

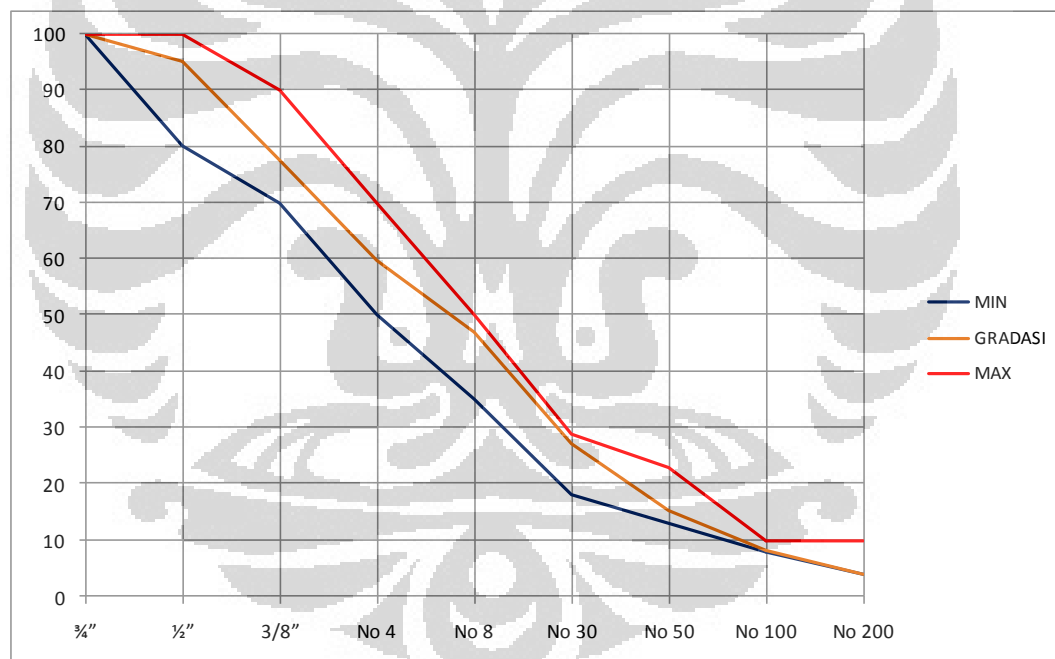
Aspal %	Aspal Jumlah (gram)	Berat (Total-Aspal)	Agregat (gram)			Total
			Kasar (15%)	Medium (25%)	Halus (60%)	
4,5	51,75	1098,25	164,74	274,56	658,95	1150
5	57,5	1092,5	163,87	273,13	655,5	1150
5,5	63,25	1086,75	163,01	271,69	652,05	1150
6	69	1081	162,15	270,25	648,6	1150
6,5	74,75	1075,25	161,29	268,81	645,15	1150

4.2.2 Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

Kadar BGA yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5% dan 7% dari berat total agregat (berat total – berat aspal). Dengan penambahan BGA ini mengakibatkan perubahan yang cukup besar pada proporsi serta sebaran gradasi gabungan agregatnya, sebab BGA diasumsikan sebagai agregat bukan sebagai filler. Untuk penambahan BGA 5%, proporsi agregatnya yaitu; 14% Agregat kasar, 28% Agregat medium, 53% Agregat Halus. Dan pada penambahan BGA 7%, proporsi agregatnya yaitu; 16% Agregat kasar, 22% Agregat medium, 55% Agregat Halus. Gradasi gabungan yang diperoleh dari masing-masing fraksi agregat dijelaskan lebih rinci pada **Tabel 4.11**, **Tabel 4.13**, **Gambar 4.5**, dan **Gambar 4.6**.

Tabel 4.11 Gradasi Gabungan Campuran Aspal Dengan Penambahan BGA 5%

Saringan No	Kasar (% lolos komulatif)		Medium (% lolos komulatif)		Halus (% lolos komulatif)		BGA (% lolos)		Spek IV	Nilai tengah Spek	Gradasi Gabungan
	Total	14%	Total	28%	Total	53%	Total	5%			
¾"	98,74	13,82	100	28	100	53	100	5	100	100	99,82
½"	73,90	10,35	95,59	26,77	100	53	100	5	80- 100	90	95,11
3/8"	16,52	2,31	61,77	17,30	100	53	100	5	70-90	80	77,61
No 4	2,71	0,38	7,36	2,06	100	53	88,19	4,41	50-70	60	59,85
No 8	0,50	0,07	1,10	0,31	81,19	43,03	68,77	3,44	35-50	42,5	46,85
No 30			0,70	0,20	46,61	24,70	42,94	2,15	18-29	23,5	27,05
No 50					27,40	14,52	15,42	0,77	13-23	18	15,29
No 100					15,07	7,98	3,10	0,16	8 s/d 10	9	8,14
No 200					7,48	3,97	0,20	0,01	4 s/d 10	7	3,98

**Gambar 4.10.** Gradasi Campuran dengan Penambahan BGA 5%

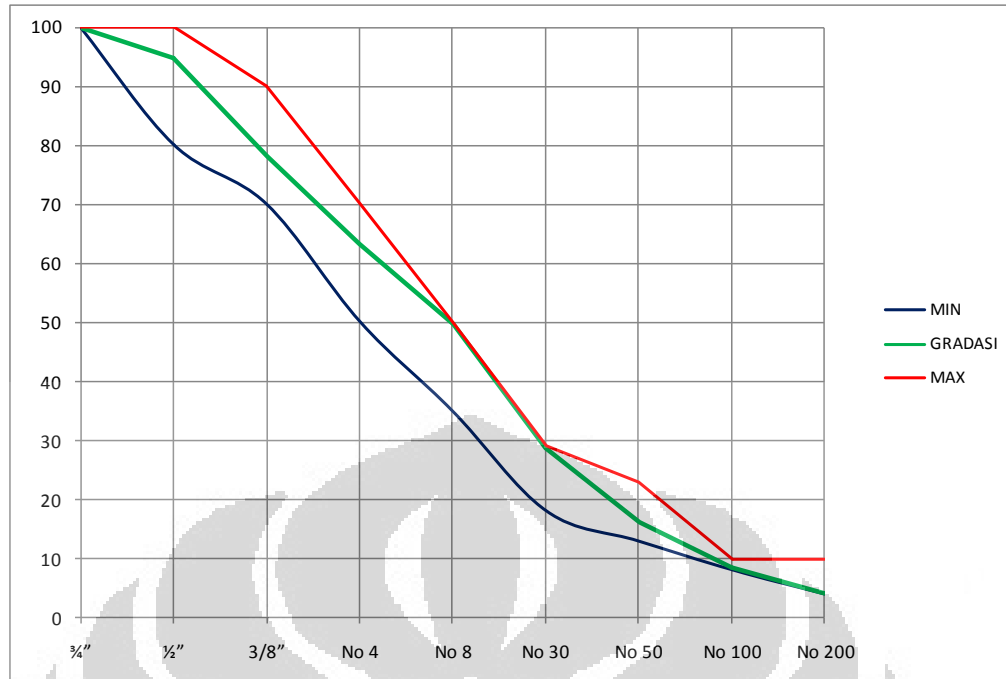
Berdasarkan komposisi tersebut diperoleh proporsi setiap fraksi agregat seperti pada **Tabel 4.12**.

Tabel 4.12 Proporsi Massa Agregat Penyusun Campuran dengan Penambahan BGA 5%

	Aspal		Agregat (gram)				Total
	%	Jumlah (gram)	Berat (Total – Aspal)	Kasar (14%)	Medium (28%)	Halus (53%)	
4,5	51,75	1098,25	153,75	307,51	582,07	54,91	1150
5	57,5	1092,5	152,95	305,9	579,03	54,63	1150
5,5	63,25	1086,75	152,15	304,29	575,98	54,34	1150
6	69	1081	151,34	302,68	572,93	54,05	1150
6,5	74,75	1075,25	150,54	301,07	569,88	53,76	1150

Tabel 4.13 Gradasi Gabungan Campuran Aspal Dengan Penambahan BGA 7%

Saringan No	Kasar (% lolos kumulatif)		Medium (% lolos kumulatif)		Halus (% lolos kumulatif)		BGA (% lolos)		Spek IV	Nilai tengah Spek	Gradasi Gabungan
	Total	16%	Total	22%	Total	55%	Total	7%			
¾"	98,74	15,80	100	22	100	55	100	7	100	100	99,80
½"	73,90	11,82	95,59	21,03	100	55	100	7	80-100	90	94,85
3/8"	16,52	2,64	61,77	13,59	100	55	100	7	70-90	80	78,23
No 4	2,71	0,43	7,36	1,62	100	55	88,19	6,17	50-70	60	63,23
No 8	0,50	0,08	1,10	0,24	81,19	44,66	68,77	4,81	35-50	42,5	49,79
No 30			0,70	0,15	46,61	25,64	42,94	3,01	18-29	23,5	28,80
No 50					27,40	15,07	15,42	1,08	13-23	18	16,15
No 100					15,07	8,29	3,10	0,22	8 s/d 10	9	8,50
No 200					7,48	4,12	0,20	0,01	4 s/d 10	7	4,13



Gambar 4.6 Gradasi Campuran dengan Penambahan BGA 7%

Berdasarkan komposisi tersebut diperoleh proporsi setiap fraksi agregat seperti pada **Tabel 4.14**.

Tabel 4.22 Proporsi Massa Agregat Penyusun Campuran dengan Penambahan BGA 7%

Aspal %	Aspal Jumlah (gram)	Berat (1150 – Aspal)	Agregat (gram)				Berat Total
			Kasar (16%)	Medium (22%)	Halus (55%)	BGA (7%)	
4,5	51,75	1098,25	175,7	241,6	604	76,9	1150
5	57,5	1092,5	174,8	240,4	600,9	76,5	1150
5,5	63,25	1086,75	173,9	239,1	597,7	76,1	1150
6	69	1081	173	237,8	594,6	75,7	1150
6,5	74,75	1075,25	172	236,6	591,4	75,3	1150

4.3 Pengujian Campuran Benda Uji *Marshall*

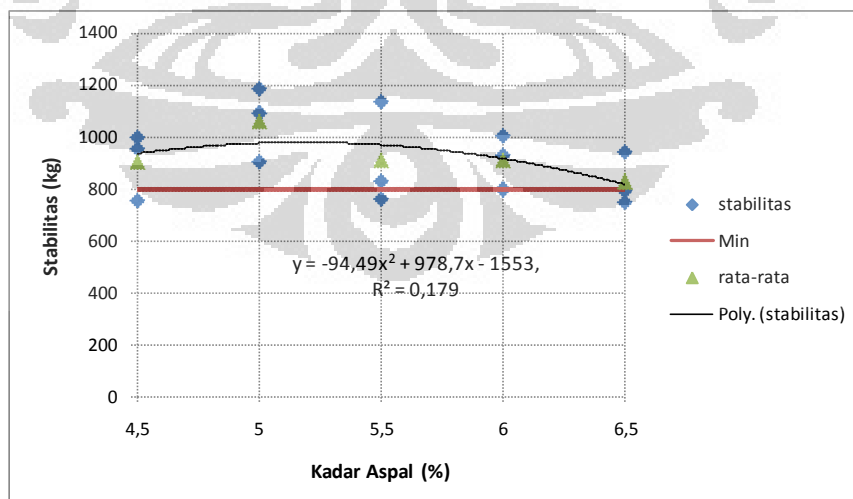
Setelah terbuat benda uji, benda uji didiamkan selama ± 24 jam, selanjutnya direndam di dalam air selama ± 24 jam, dan terakhir di uji menggunakan alat *Marshall* sesuai metode standar yaitu sebelum di uji, sampel terlebih dahulu direndam dalam *waterbath* dengan suhu rendaman adalah $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit. Pembacaan yang dihasilkan dalam uji *Marshall* ini yaitu pembacaan jarum Stabilitas (O) dan Kelelahan (R). Pengolahan data yang diperoleh dari hasil uji *Marshall* ini adalah nilai VIM (*Void in Mixture*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), Stabilitas, Kelelahan (*flow*), dan MQ (*Marshall Quotient*).

4.3.1 Campuran Aspal Murni

a. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas

Tabel 4.15 Nilai Stabilitas Campuran Aspal Murni

No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	> 800	955,247	1187,879	1139,385	1004,337	791,919
2	> 800	1001,681	906,117	831,172	797,723	941,828
3	> 800	756,516	1091,430	763,350	931,452	750,067
rata-rata		904,481	1061,809	911,302	911,171	827,938



Gambar 4.7 Grafik Stabilitas Campuran Aspal Murni vs Kadar Aspal

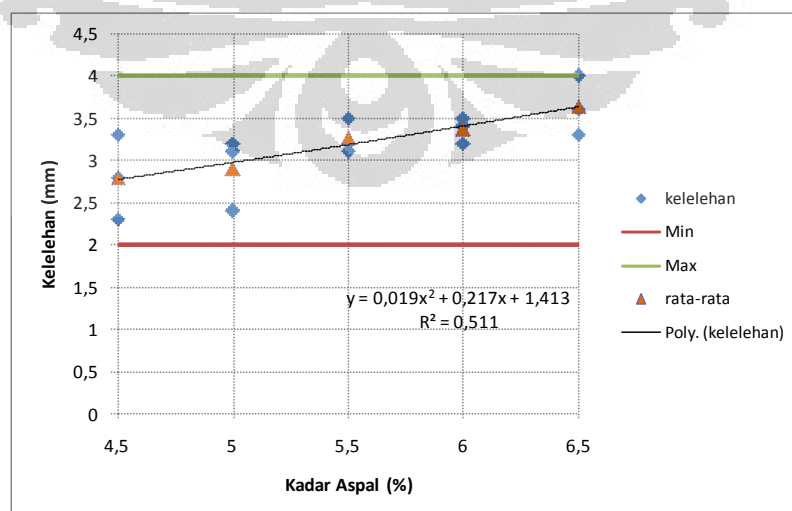
Pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa terjadi fluktuasi nilai stabilitas terhadap peningkatan kadar aspal. Kenaikan nilai stabilitas

terjadi pada komposisi dengan kadar aspal 5%, seterusnya mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kadar aspal. Hal ini menandakan bahwa untuk campuran aspal murni ini sudah mencapai nilai stabilitas optimum pada kadar aspal 5%. Semakin rendah kadar aspal mengakibatkan campuran belum terselimuti dengan baik dan jika kadar aspal semakin tinggi akan mengakibatkan semakin berkurangnya proporsi agregat dan bertambahnya jumlah aspal dalam campuran yang mengakibatkan ikatan campuran antara agregat yang sudah terselimuti aspal akan merenggang oleh desakan jumlah aspal yang berlebihan. Secara keseluruhan nilai stabilitas campuran aspal murni ini sudah memenuhi standar nilai stabilitas untuk campuran laston-WC berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu minimal nilai stabilitas adalah 800 kg.

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

Tabel 4.16 Nilai Kelelehan Campuran Aspal Murni

No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	2 - 4	2,3	2,4	3,2	3,2	4,0
2	2 - 4	3,3	3,2	3,1	3,4	3,3
3	2 - 4	2,8	3,1	3,5	3,5	3,6
rata-rata		2,8	2,9	3,267	3,367	3,633



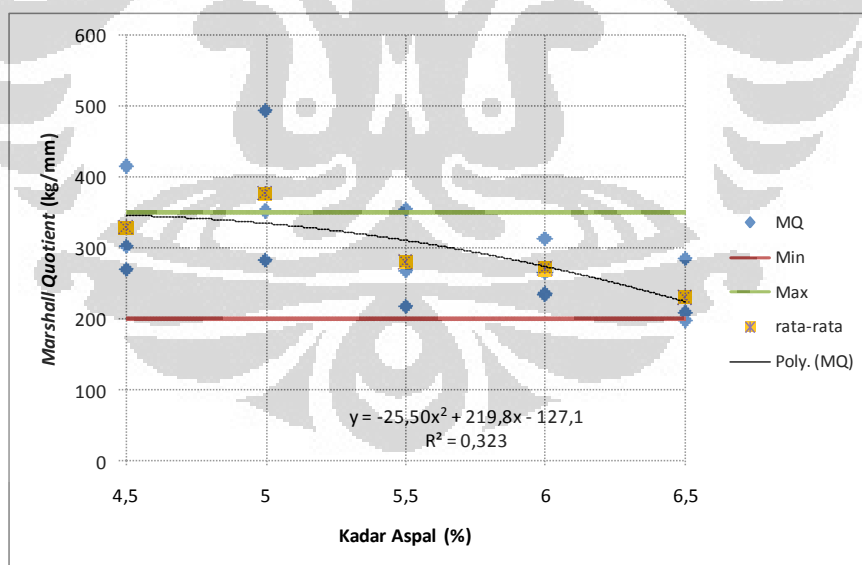
Gambar 4.8 Grafik Kelelehan Campuran Aspal Murni vs Kadar Aspal

Pada **Tabel 4.16** dan **Gambar 4.8** dapat dilihat bahwa nilai kelelahan campuran aspal murni meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal. Dengan semakin banyaknya kadar aspal yang akan digunakan, maka campuran akan bersifat semakin elastis yang ditandai dengan nilai kelelahan yang tinggi. Secara keseluruhan, semua nilai kelelahan campuran aspal murni ini sudah memenuhi standar yang ditetapkan berdasarkan SNI-03-1737-1989, yaitu batas nilai kelelahan campuran laston-WC adalah 2 – 4 (mm).

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

Tabel 4.17 Nilai *Marshall Quotient* Campuran Aspal Murni

No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	200 - 350	415,325	494,949	356,058	313,855	197,980
2	200 - 350	303,540	283,162	268,120	234,625	285,403
3	200 - 350	270,184	352,074	218,100	266,129	208,352
rata-rata		329,683	376,728	280,759	271,536	230,578



Gambar 4.9 Grafik Nilai *Marshall Quotient* Campuran Aspal Murni vs Kadar Aspal

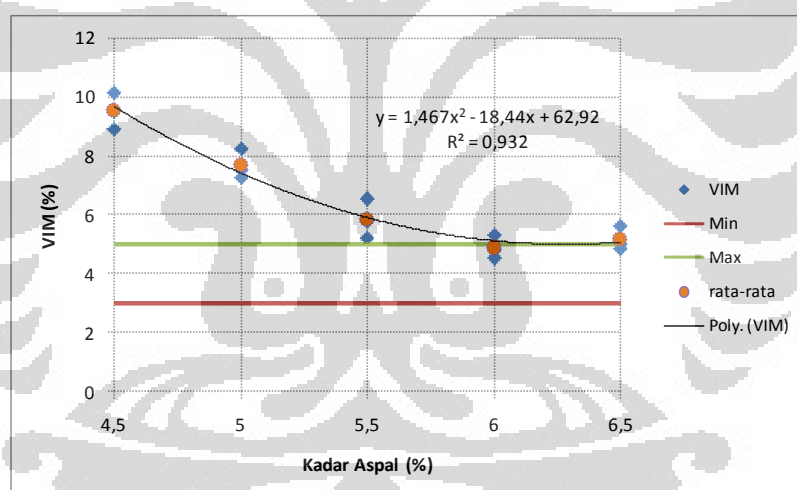
Pada **Tabel 4.17** dan **Gambar 4.9** dapat dilihat bahwa terdapat beberapa sampel benda uji yang tidak memenuhi standar nilai *Marshall Quotient* yang ditetapkan yaitu campuran dengan kadar aspal $\leq 5\%$, namun

karena sampel yang tidak memenuhi standar hanya 1 dari 3 sampel yang dibuat (pada kadar aspal 4,5% dan 5%) sehingga secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa nilai *Marshall Quotient* campuran murni ini sudah memenuhi standar yang ditetapkan berdasarkan SNI-03-1737-1989 yaitu nilai *Marshall Quotient* untuk campuran laston-WC terletak dalam kisaran angka 200 – 350 kg/mm.

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

Tabel 4.18 Nilai VIM Campuran Aspal Murni

No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	3 - 5	10,140	7,533	5,210	4,516	5,629
2	3 - 5	8,916	8,256	6,530	4,803	5,017
3	3 - 5	9,503	7,264	5,765	5,331	4,854
rata-rata		9,520	7,684	5,835	4,883	5,167



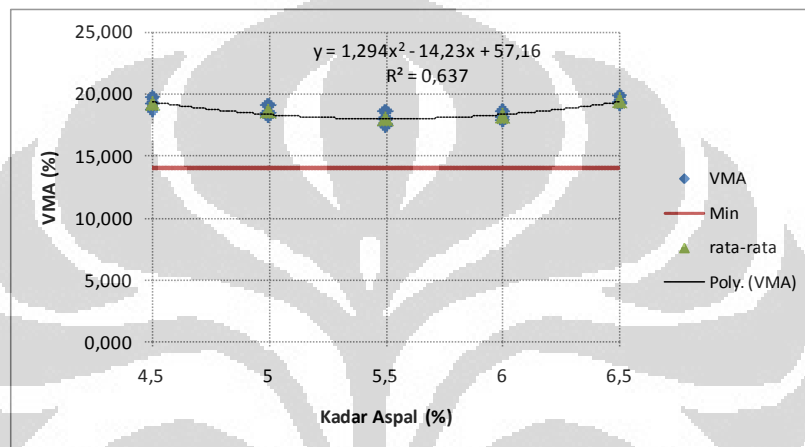
Gambar 4.11 Grafik Nilai VIM Campuran Aspal murni vs Kadar Aspal

Pada campuran aspal murni ini, nilai VIM yang sudah memenuhi standar yang ditetapkan SNI-03-1737-1989 hanya pada kadar aspal 5,9 – 6,3% sedangkan yang lain sudah melebihi batas yang ditetapkan. Hal ini menandakan bahwa agregat yang terdapat dalam campuran kurang terselimuti aspal dengan baik, mengingat keterbatasan kemampuan daya ikat yang dimiliki oleh aspal AC, sehingga mengakibatkan jumlah rongga udara dalam campuran tersebut masih tergolong besar dan melebihi batas maksimal nilai VIM untuk campuran laston-WC yaitu 5 mm.

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

Tabel 4.19 Nilai VMA Campuran Aspal Murni

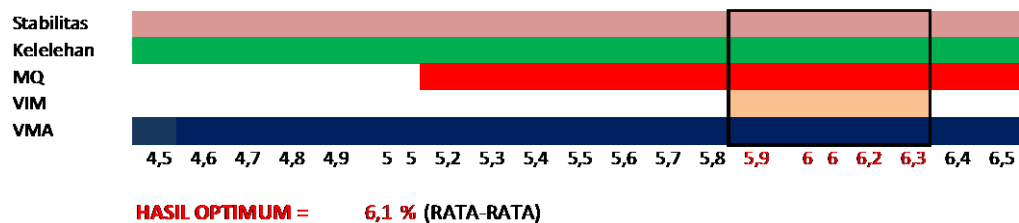
No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	> 14	19,774	18,468	17,453	17,875	19,831
2	> 14	18,680	19,106	18,602	18,121	19,311
3	> 14	19,205	18,231	17,936	18,575	19,173
rata-rata		19,220	18,602	17,997	18,190	19,439



Gambar 4.12 Grafik Nilai VMA Campuran Aspal Murni vs Kadar Aspal

Pada **Tabel 4.19** dan **Gambar 4.11** secara umum terlihat bahwa nilai VMA meningkat seiring peningkatan kadar aspal. Secara keseluruhan, nilai VMA campuran ini telah memenuhi standar yang ditetapkan SNI-03-1737-1989 yaitu batas minimum untuk campuran dengan ukuran maksimum agregat $\frac{3}{4}$ " adalah 14%.

Setelah membandingkan seluruh hasil perhitungan dengan standar yang ada, maka dapat diperoleh kadar aspal optimum untuk campuran aspal murni seperti pada **Gambar 4.12**.



Gambar 4.13 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Murni

4.3.2 Campuran Aspal Modifikasi Polimer

Pada campuran aspal modifikasi polimer, digunakan 2 variasi campuran yang berbeda berdasarkan kadar polimernya yaitu 2% dan 4% terhadap berat total aspal yang terdiri dari 5 variasi kadar aspal untuk masing-masing tipe campuran. Adapun analisis terhadap hasil pengujian campurannya adalah sebagai berikut.

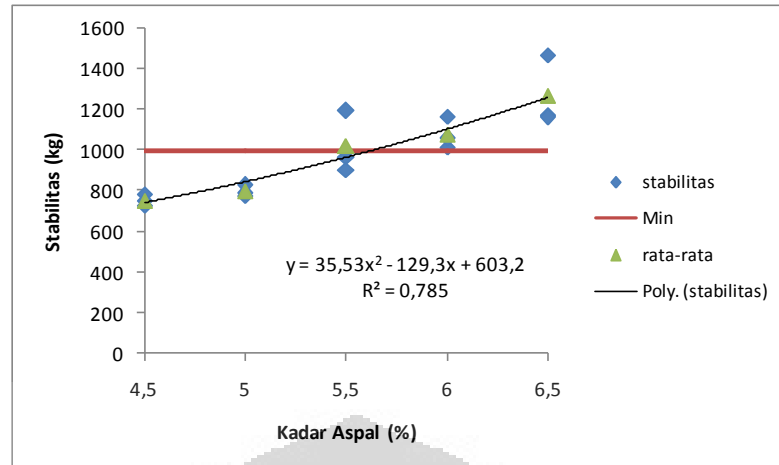
a. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas

Tabel 4.20 Nilai Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%

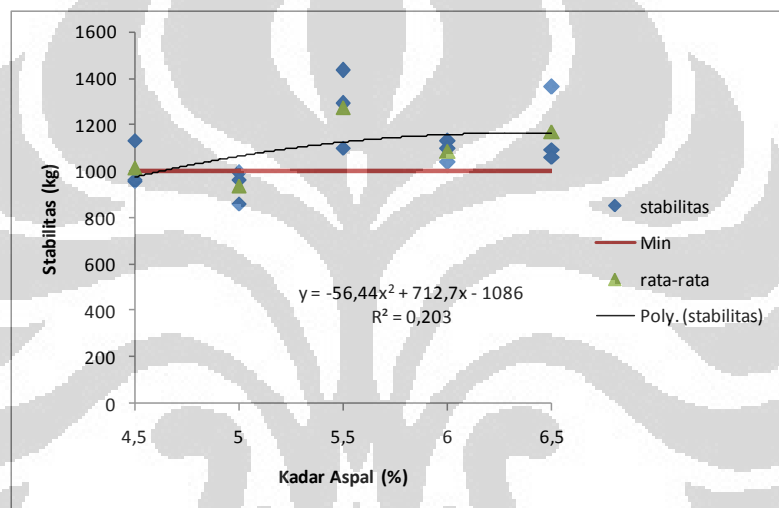
No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	> 1000	726,311	777,596	966,566	1016,889	1173,463
2	> 1000	784,779	788,512	904,549	1164,219	1160,934
3	> 1000	754,159	827,004	1194,925	1058,418	1469,293
rata-rata		755,083	797,704	1022,013	1079,842	1267,897

Tabel 4.21 Nilai Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%

No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	> 1000	955,4776	992,629	1292,205	1039,315	1363,421
2	> 1000	1133,569	861,0555	1435,397	1129,442	1092,104
3	> 1000	963,7653	964,6316	1098,768	1096,271	1063,39
rata-rata		1017,604	939,439	1275,457	1088,343	1172,972



(a)



(b)

Gambar 4.13 Grafik Nilai Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% (a) dan 4% (b)

Pada **Tabel 4.20** dan **Gambar 4.13 (a)** dapat dilihat bahwa nilai stabilitas campuran Polimer 2% terus meningkat seiring meningkatnya kadar aspal modifikasi. Namun, komponen aspal AC yang telah dimodifikasi polimer 2% pada campuran ini baru mulai memberi pengaruh dalam meningkatkan stabilitas sesuai standar campuran aspal modifikasi yang ditetapkan pada kadar aspal $\geq 5\%$. Standar nilai stabilitas campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 adalah minimal 1000 kg. Hal ini membuktikan bahwa dengan modifikasi aspal polimer 2%, secara keseluruhan dapat meningkatkan stabilitas dari stabilitas murni sebelumnya (lihat **Tabel 4.15** dan **Gambar 4.7**) namun

belum memberi pengaruh yang cukup kuat untuk mencapai standar stabilitas untuk campuran aspal modifikasi, yaitu minimal 1000 kg.

Tabel 4.21 dan **Gambar 4.13 (b)** menunjukkan bahwa secara keseluruhan, campuran aspal modifikasi polimer 4% telah memenuhi standar nilai stabilitas campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu minimal 1000 kg. Namun seiring peningkatan kadar aspal, campuran mulai menunjukkan penurunan nilai stabilitas, yang menandakan bahwa campuran sudah mencapai titik optimumnya. Semakin tinggi kadar aspal akan mengakibatkan semakin berkurangnya proporsi agregat dalam campuran dan semakin besar rongga antar agregat yang terisi oleh aspal yang mengakibatkan berkurangnya kekuatan campuran.

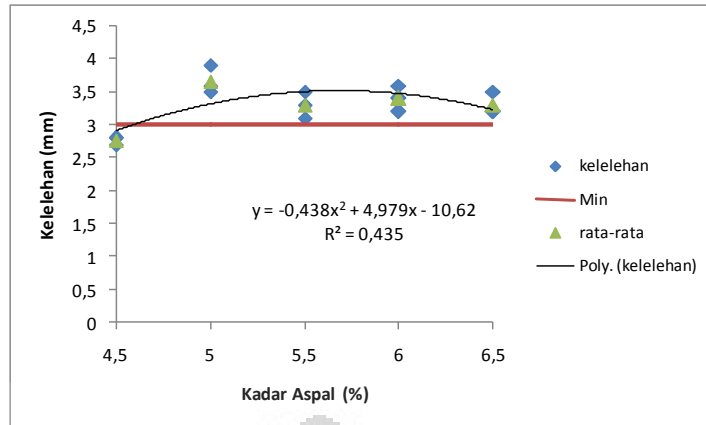
b. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelehan (*flow*)

Tabel 4.22 Nilai Kelelehan Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%

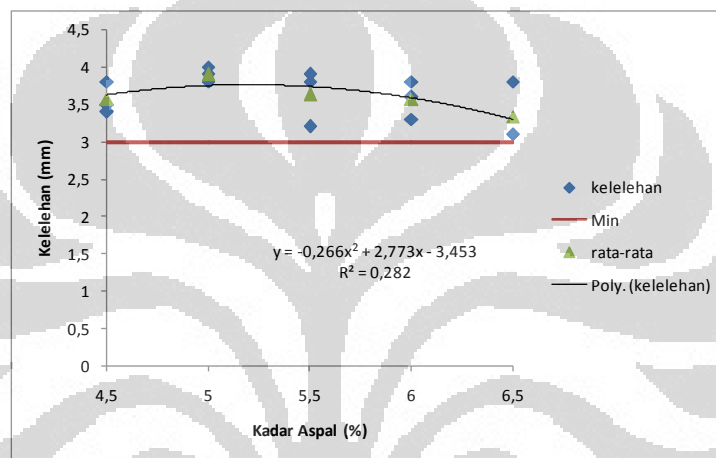
No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	> 3	2,7	3,6	3,1	3,2	3,5
2	> 3	2,8	3,5	3,3	3,6	3,2
3	> 3	2,8	3,9	3,5	3,4	3,2
rata-rata		2,767	3,667	3,3	3,4	3,3

Tabel 4.23 Nilai Kelelehan Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%

No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	> 3	3,8	3,8	3,8	3,6	3,1
2	> 3	3,5	3,9	3,2	3,8	3,8
3	> 3	3,4	4	3,9	3,3	3,1
rata-rata		3,567	3,9	3,633	3,567	3,333



(a)



(b)

Gambar 4.14 Grafik Nilai Kelelehan Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% (a) dan 4% (b)

Pada **Tabel 4.22** dan **Gambar 4.15 (a)** dapat dilihat bahwa sebaran nilai kelelehan justru menurun setelah melewati kadar aspal 5,5%. Hal ini dapat diakibatkan oleh pengaruh dari penggunaan polimer sebagai pemodifikasi aspal. Begitupula yang terjadi pada **Tabel 4.23** dan **Gambar 4.15 (b)**, yaitu campuran aspal modifikasi polimer 4%. Suhu campuran aspal polimer yang memiliki titik lembek lebih tinggi dari aspal murni, sehingga pada saat pengujian *Marshall* yang suhu terekstrimya hanya 60°C, aspal modifikasi polimer pada campuran belum seluruhnya meleleh karena suhu tersebut masih dibawah titik lembeknya yaitu 89-90 °C sehingga polimer justru akan meningkatkan kekakuan campuran yang mengakibatkan nilai kelelehan lebih kecil. Secara keseluruhan, nilai kelelehan campuran aspal modifikasi polimer 2% dan 4% ini sudah memenuhi standar yang ditetapkan berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang

Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu standar nilai kelelahan campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) adalah minimal 3 mm.

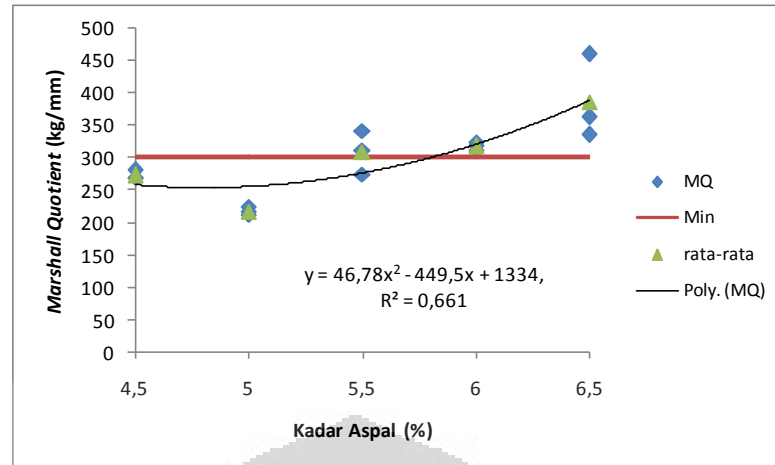
c. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai MQ (*Marshall Quotient*)

Tabel 4.24 Nilai *Marshall Quotient* Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%

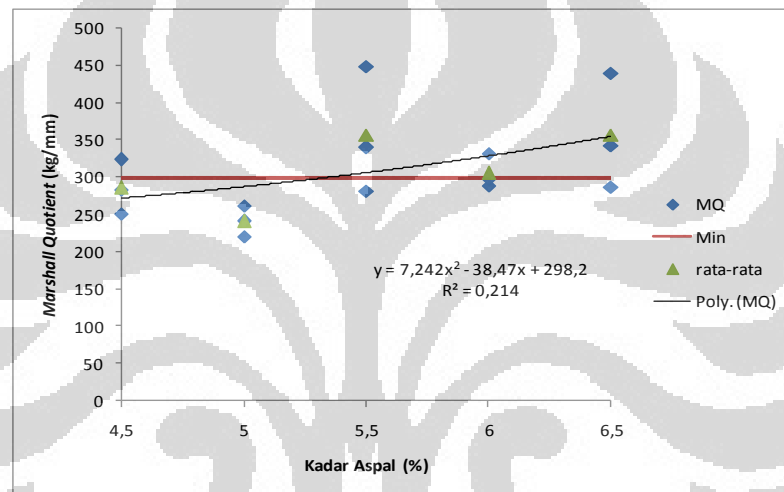
No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	> 300	269,004	215,999	311,796	317,778	335,275
2	> 300	280,278	225,289	274,106	323,394	362,792
3	> 300	269,342	212,052	341,407	311,299	459,154
rata-rata		272,875	217,780	309,103	317,490	385,740

Tabel 4.25 Nilai *Marshall Quotient* Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%

No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	> 300	251,4415	261,2182	340,0539	288,6986	439,8132
2	> 300	323,8769	220,7835	448,5615	297,2217	287,3957
3	> 300	283,4604	241,1579	281,7355	332,2032	343,0292
rata-rata		286,260	241,053	356,784	306,041	356,746



(a)



(b)

Gambar 4.14 Grafik Nilai *Marshall Quotient* Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% (a) dan 4% (b)

Pada **Tabel 4.24** dan **Gambar 4.16 (a)**, nilai MQ yang sudah memenuhi standar baru diperoleh pada kadar aspal $\geq 5,5\%$. Hal ini sebanding dengan nilai kelelehannya yang semakin kecil (lihat **Gambar 4.16**) dan nilai stabilitas yang semakin besar (lihat **4.14**) karena aspal modifikasi polimer memiliki suhu titik lebek yang lebih tinggi dari aspal murni, sehingga mengakibatkan campuran lebih kuat terhadap leleh pada suhu perendaman dan pemanasan dalam *waterbath* yang dilakukan sebelum uji *Marshall*. Standar yang ditetapkan berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu standar nilai *Marshall* untuk campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) adalah minimal 300 kg/mm. Begitupula dengan hasil yang

diperoleh pada campuran aspal modifikasi polimer 4% (lihat **Tabel 4.25** dan **Gambar 4.16 (b)**) yang nilai *Marshall*nya meningkat seiring dengan kenaikan stabilitas.

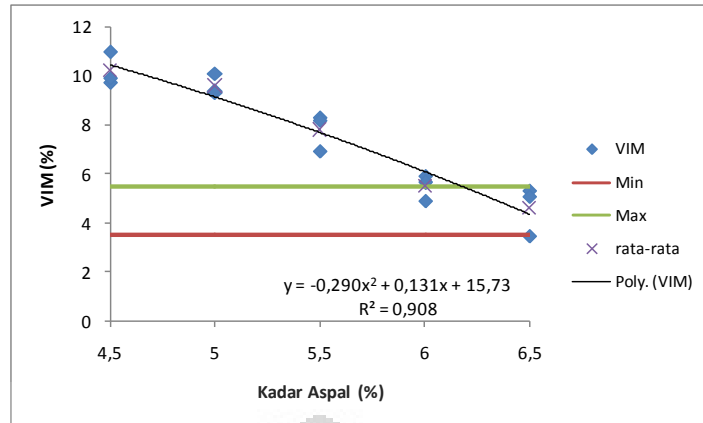
d. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai VIM (*Void in Mixture*)

Tabel 4.26 Nilai VIM Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%

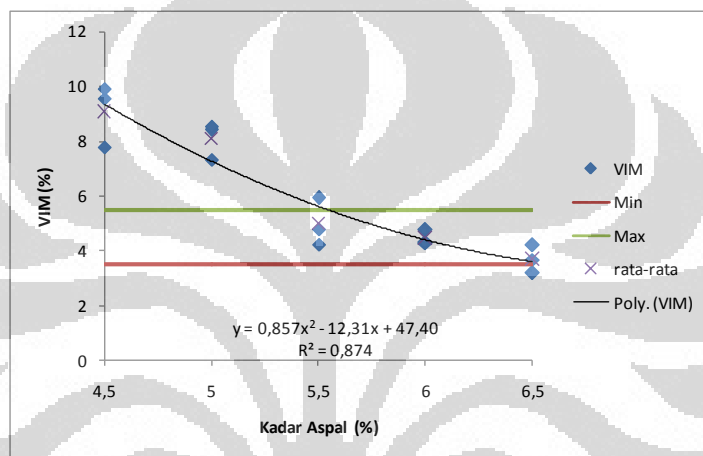
No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	3,5 - 5,5	9,735	10,078	8,289	5,908	5,308
2	3,5 - 5,5	9,926	9,339	8,176	4,893	5,066
3	3,5 - 5,5	10,977	9,316	6,933	5,639	3,449
rata-rata		10,213	9,578	7,799	5,480	4,608

Tabel 4.27 Nilai VIM Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%

No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	3,5 - 5,5	7,759	7,322	4,788	4,258	3,190
2	3,5 - 5,5	9,543	8,413	4,234	4,325	3,677
3	3,5 - 5,5	9,891	8,551	5,920	4,757	4,197
rata-rata		9,064	8,095	4,981	4,447	3,688



(a)



(b)

Gambar 4.16 Grafik nilai VIM campuran aspal modifikasi polimer 2% (a) dan 4% (b)

Tabel 4.26 dan **Gambar 4.17 (a)** menunjukkan nilai VIM mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kadar aspal. Hal serupa terjadi pula pada campuran aspal modifikasi polimer 4% seperti pada **Tabel 4.27** dan **Gambar 4.17 (b)**. Hanya saja terdapat sedikit perbedaan bahwa VIM pada campuran aspal polimer 4% memenuhi standar terlebih dahulu yaitu dari kadar aspal 5,5% keatas, sedangkan campuran aspal polimer 2% baru masuk pada kadar aspal 6,2% keatas. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak penggunaan polimer sebagai bahan modifikasi aspal mengakibatkan ikatan aspal dalam campurannya menjadi semakin kuat dan seluruh agregat yang terselimuti aspal dapat mengisi ruang dalam campurannya dengan lebih baik, sehingga jumlah persentase rongga dalam campurannya semakin kecil. Standar nilai VIM untuk campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan

dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu berkisar antara 3,5 – 5,5% dari total rongga campuran.

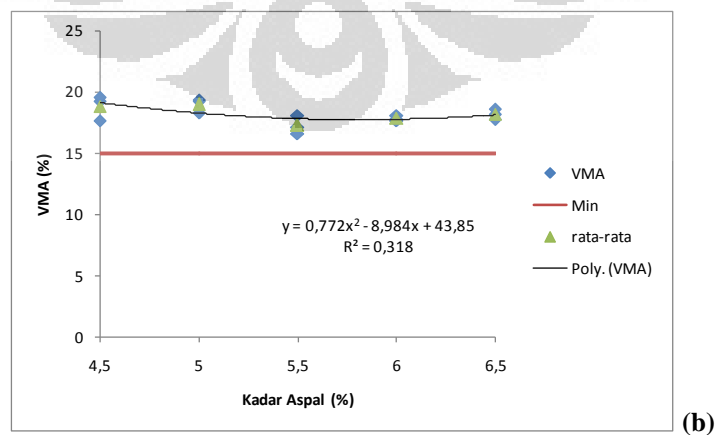
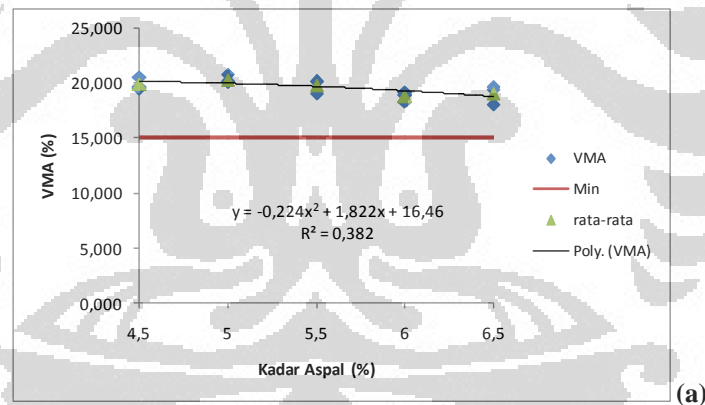
e. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*)

Tabel 4.28 Nilai VMA Pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%

No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	> 14	19,479	20,785	20,215	19,160	19,653
2	> 14	19,649	20,135	20,117	18,288	19,448
3	> 14	20,587	20,114	19,035	18,929	18,076
rata-rata		19,905	20,345	19,789	18,792	19,059

Tabel 4.29 Nilai VMA Pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%

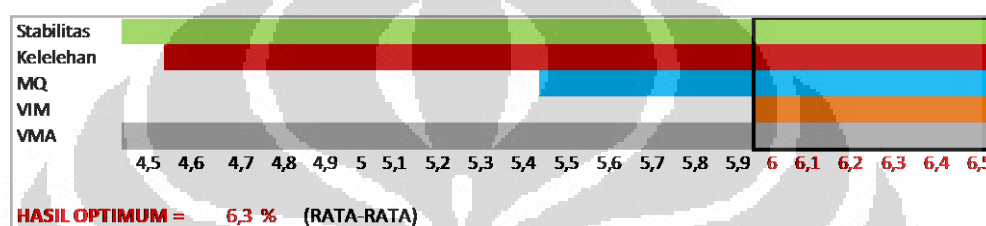
No. Sampel	Spek (kg)	Kadar Aspal				
		4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
1	> 14	17,648	18,282	17,086	17,652	17,760
2	> 14	19,240	19,244	16,603	17,710	18,173
3	> 14	19,551	19,365	18,071	18,082	18,615
rata-rata		18,813	18,964	17,253	17,815	18,183



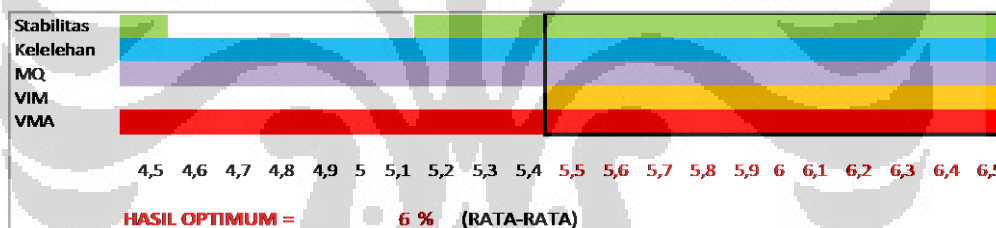
Gambar 4.17 Grafik Nilai VMA Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% (a) dan 4% (b)

Pada **Tabel 4.28**, **Tabel 4.29** dan **Gambar 4.18** terlihat bahwa perubahan nilai VMA secara umum menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal. Secara keseluruhan, nilai VMA kedua campuran ini telah memenuhi standar nilai VMA untuk campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu minimal 15%.

Setelah membandingkan seluruh hasil perhitungan dengan standar yang ada, maka dapat diperoleh kadar aspal optimum untuk campuran aspal modifikasi polimer seperti pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19**.



Gambar 4.18 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%



Gambar 4.15 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%

4.3.3 Perubahan Kinerja Campuran Aspal Modifikasi Polimer terhadap Campuran Aspal Murni

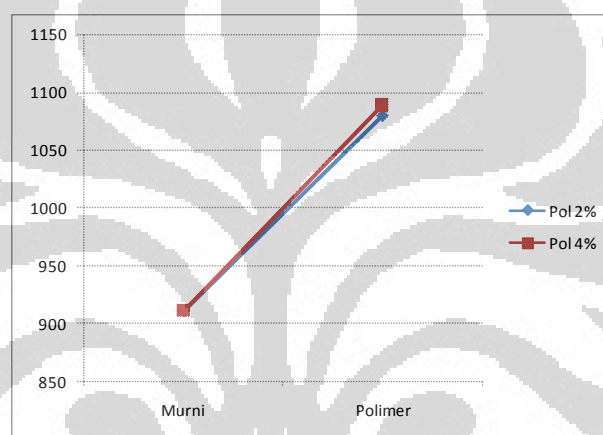
Setelah memperoleh nilai kadar aspal optimum kedua tipe campuran aspal modifikasi polimer 2% dan 4%, dapat pula diketahui kinerja optimum dari masing-masing campuran ditinjau dari 5 aspek pengukurannya. Secara keseluruhan, kinerja optimum yang dihasilkan oleh tipe campuran aspal modifikasi polimer ini lebih baik daripada kinerja optimum campuran aspal murni. Adapun spesifikasi penjelasannya dapat dilihat pada tabel dan gambar perbandingan seperti berikut.

1. Stabilitas (kg)

Secara keseluruhan, penambahan bahan modifikasi aspal berupa polimer SBS ini memberi pengaruh pada peningkatan nilai stabilitas seperti yang diutarakan pada **Tabel 4.32** dan **Gambar 4.20**.

Tabel 430 Perbandingan Nilai Stabilitas Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer

Stabilitas	Pol 2%	Pol 4%
Murni	911,171	911,171
Polimer	1079,842	1088,3427
% perubahan	18,51%	19,44%



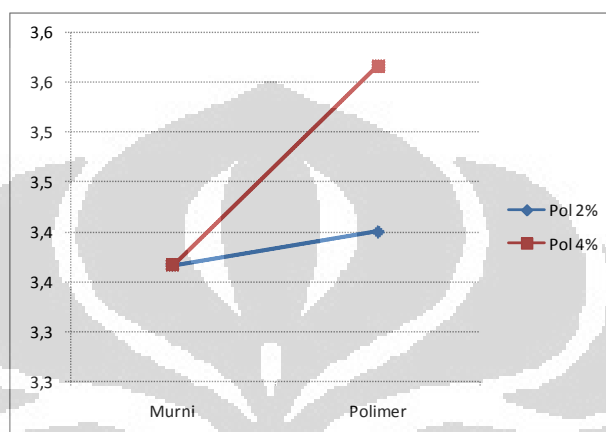
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer

2. Kelelahan / *Flow* (mm)

Secara keseluruhan, nilai kelelahan campuran aspal baik murni maupun modifikasi polimer meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal yang digunakan. Jika dibandingkan antara nilai kelelahan campuran aspal murni dan aspal modifikasi polimer berdasarkan kadar aspal optimum masing-masing tipe campuran, nilai kelelahan campuran aspal murni lebih kecil daripada nilai kelelahan pada campuran aspal polimer pada suhu pemanasan ekstrim. Hal ini menandakan bahwa campuran aspal polimer lebih lentur / elastis dibandingkan dengan campuran aspal murni. Adapun spesifikasi perubahannya dapat dilihat pada **Tabel 4.24** dan **Gambar 4.21**.

Tabel 4.31 Perbandingan Nilai Kelelahan pada Kondisi Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer

Kelelahan	Pol 2%	Pol 4%
Murni	3,367	3,367
Polimer	3,400	3,567
% perubahan	0,99%	5,94%



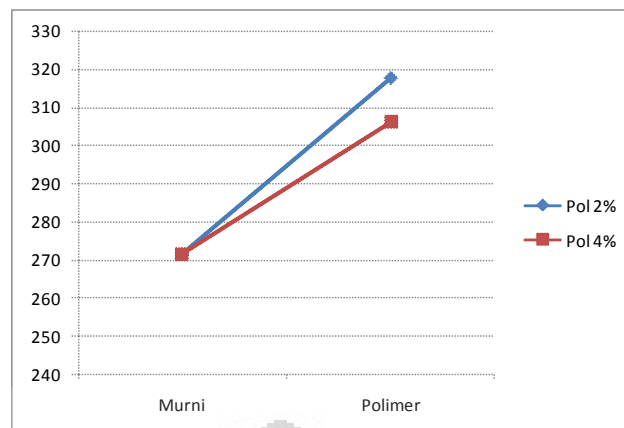
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Nilai Kelelahan pada Kondisi Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer

3. *Marshall Quotient* (kg/mm)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan. Sama halnya dengan kinerja optimum campuran berdasarkan nilai stabilitas dan kelelahan, nilai *Marshall Quotient* pada campuran aspal modifikasi polimer lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *Marshall Quotient* pada campuran aspal murni. Spesifikasi lebih lanjut dapat dilihat pada **Tabel 4.32** dan **Gambar 4.22**.

Tabel 4.32 Perbandingan Nilai *Marshall Quotient* Optimum pada Campuran Murni dan Modifikasi Polimer

Marshall Quotient	Pol 2%	Pol 4%
Murni	271,536	271,536
Polimer	317,490	306,041
% perubahan	16,92%	12,71%



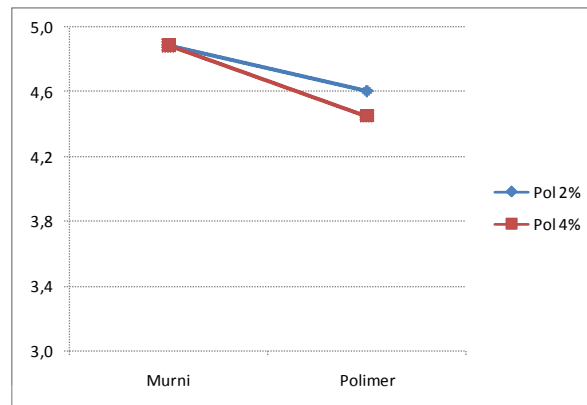
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai *Marshall Quotient* Optimum pada Campuran Murni dan Modifikasi Polimer

4. VIM / *Void in Mixture* (%)

Rongga udara dalam campuran (VIM) adalah rongga udara dalam campuran beraspal yang terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. Secara keseluruhan, nilai VIM yang dihasilkan dari 5 variasi kadar aspal baik pada campuran murni maupun modifikasi polimer mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kadar aspal. Pada **Tabel 4.33** dan **Gambar 4.23** dapat diketahui bahwa nilai VIM pada kondisi kadar aspal optimum campuran aspal modifikasi polimer lebih rendah daripada campuran aspal murni, dan semakin banyak penggunaan kadar polimer yang digunakan sebagai modifikasi aspal memberi pengaruh pada penurunan nilai VIM. Hal ini membuktikan bahwa aspal modifikasi polimer memiliki kemampuan daya ikat yang lebih kuat untuk mengikat mineral agregat penyusun campuran, sehingga menghasilkan nilai VIM yang lebih kecil.

Tabel 4.33 Perbandingan Nilai VIM pada Kondisi Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer

VIM	Pol 2%	Pol 4%
Murni	4,883	4,883
Polimer	4,608	4,447
% perubahan	-5,65%	-8,94%



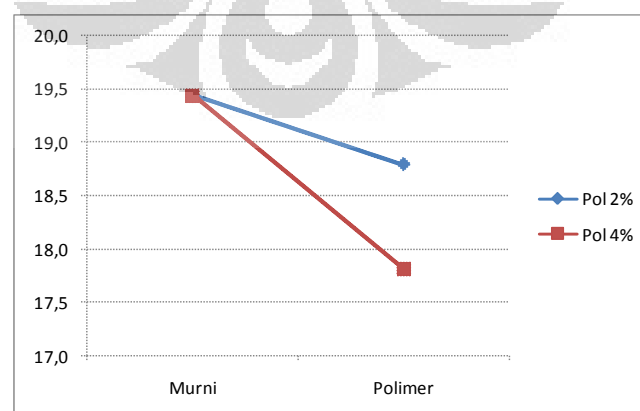
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Nilai VIM pada Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer

5. VMA / *Void in Mineral Aggregate* (%)

Rongga udara antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga di antara partikel agregat pada campuran beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang terserap agregat). Sama halnya dengan nilai VIM yang mengalami penurunan seiring dengan penggunaan polimer sebagai bahan modifikasi aspal pada saat campuran mencapai kondisi kadar aspal optimum.

Tabel 4.34 Grafik Perbandingan Nilai VMA pada Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer

VMA	Pol 2%	Pol 4%
Murni	19,439	19,439
Polimer	18,792	17,815
% perubahan	-3,33%	-8,35%



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Nilai VMA pada Kadar Aspal Optimum Campuran Murni dan Modifikasi Polimer

4.3.4 Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

Pada campuran aspal modifikasi polimer dan BGA, digunakan 2 variasi campuran yang berbeda berdasarkan kadar polimer pada campuran sebelumnya yaitu 2% dan 4% terhadap berat total aspal dan 2 variasi kadar BGA sebagai pemodifikasi agregat dan aspal yaitu 5% dan 7% terhadap berat total agregat dalam campuran. Kadar aspal yang digunakan untuk masing-masing tipe campuran terdiri dari 5 variasi kadar aspal. Adapun analisis terhadap hasil pengujian campurannya adalah sebagai berikut.

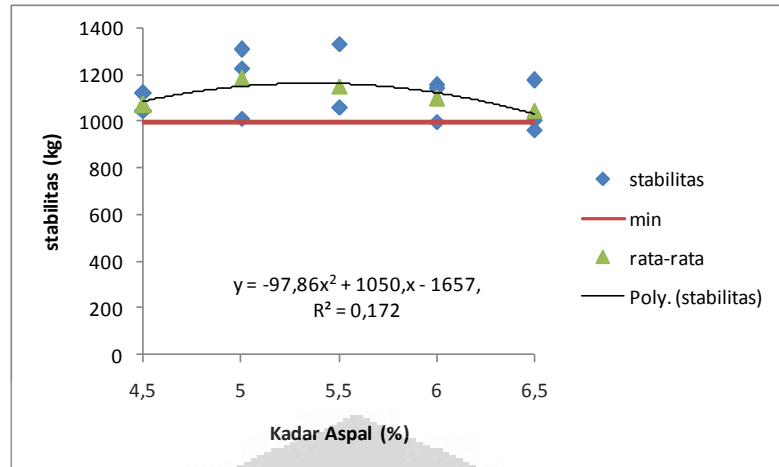
a. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas

Tabel 4.35 Nilai Stabilitas pada Campuran Aspal Polimer 2% dan BGA 5%

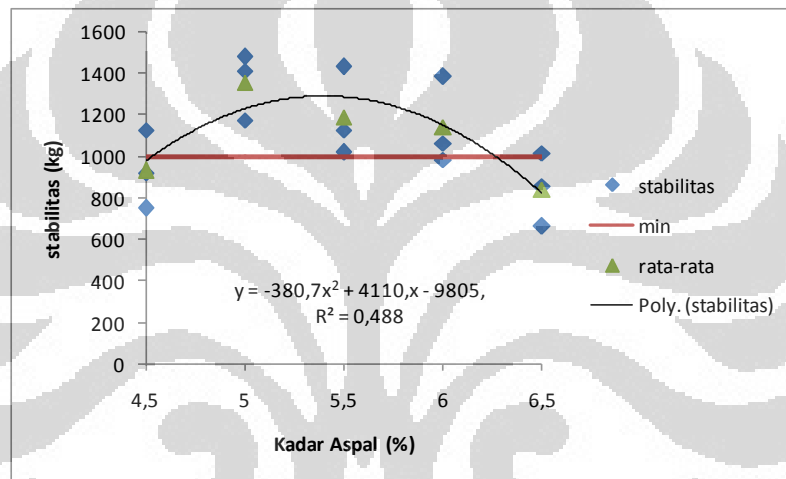
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Stabilitas (kg)	1	> 1000	1049,396	1308,776	1062,501	1156,499	1176,309
	2	> 1000	1047,38	1012,433	1062,607	1142,138	1006,609
	3	> 1000	1121,408	1227,305	1331,416	1000,202	965,315
	rata-rata		1072,728	1182,838	1152,174	1099,613	1049,411

Tabel 4.36 Nilai Stabilitas pada Campuran Aspal Polimer 4% dan BGA 7%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Stabilitas (kg)	1	> 1000	1125,918	1480,96	1127,445	1067,096	1014,617
	2	> 1000	751,2797	1413,234	1020,701	1385,136	664,6299
	3	> 1000	923,4147	1175,404	1432,889	986,7416	856,7765
	rata-rata		933,538	1356,532	1193,678	1146,325	845,341



(a)



(b)

Gambar 4.25 Grafik Nilai Stabilitas pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a); Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA7% (b)

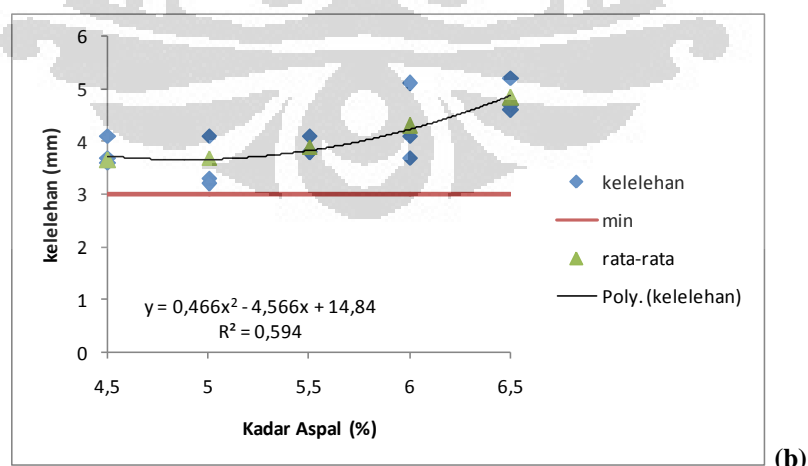
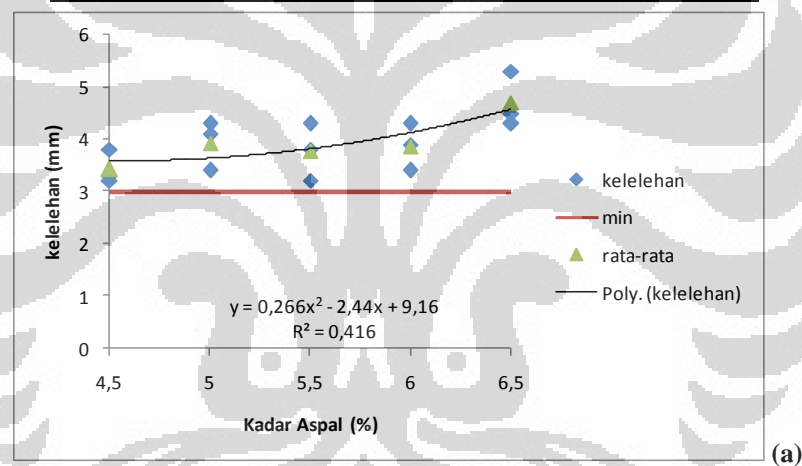
Tabel 4.35, Tabel 4.35 dan **Gambar 4.25** menunjukkan bahwa nilai stabilitas pada campuran dimodifikasi polimer 2% dan BGA 5% sudah mencapai titik optimumnya pada saat kadar aspal campurannya 5,5%, dilihat dari nilai stabilitas yang tidak lagi mengalami kenaikan setelah melewati kadar aspal 5,5%. Secara keseluruhan nilai stabilitas pada campuran ini sudah memenuhi standar nilai stabilitas untuk campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu minimal 1000 kg.

b. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Kelelehan (*flow*)**Tabel 4.37** Nilai Kelelehan pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA 5%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Kelelehan (%)	1	> 3	3,2	3,4	3,8	3,9	4,3
	2	> 3	3,3	4,3	3,2	4,3	4,5
	3	> 3	3,8	4,1	4,3	3,4	5,3
rata-rata			3,433	3,933	3,767	3,867	4,7

Tabel 4.238 Nilai Kelelehan pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Kelelehan (%)	1	> 3	3,7	3,3	4,1	3,7	5,2
	2	> 3	4,1	4,1	3,8	4,1	4,6
	3	> 3	3,6	3,2	3,8	5,1	4,7
rata-rata			3,800	3,533	3,900	4,300	4,833

**Gambar 4.26** Grafik Nilai Kelelehan pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a); Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA7% (b)

Pada **Tabel 4.37**, **Tabel 4.38** dan **Gambar 4.26** dapat dilihat bahwa nilai kelelahan campuran aspal modifikasi polimer 2% dan BGA 5% ini mengalami penurunan hingga kondisi saat kadar aspal 5,5%, setelah itu kembali mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar aspal. Dalam hal ini penambahan butir BGA memiliki pengaruh yang cukup kuat. Pada kedua grafik kelelahan aspal polimer sebelumnya (**Gambar 4.14 (a)** dan **(b)**), nilai kelelahan berkurang seiring dengan peningkatan kadar aspal, berbeda dengan **Gambar 4.26**, adanya penambahan BGA mengakibatkan peningkatan jumlah agregat halus dan aspal yang terkandung dalam BGA pada campuran tersebut. Pada saat aspalnya terlalu sedikit, semakin banyak agregat halus yang tidak terselimuti dengan baik, sedangkan pada saat aspalnya terlalu banyak seluruh agregat halus tersebut terselimuti aspal, kondisi keduanya dapat meningkatkan resiko deformasi pada campuran saat dipanaskan dan diberi beban melalui uji *Marshall*. Secara keseluruhan semua nilai kelelahan campuran aspal modifikasi polimer 2% dan BGA 5% ini sudah memenuhi standar nilai kelelahan untuk campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu minimal 3 mm.

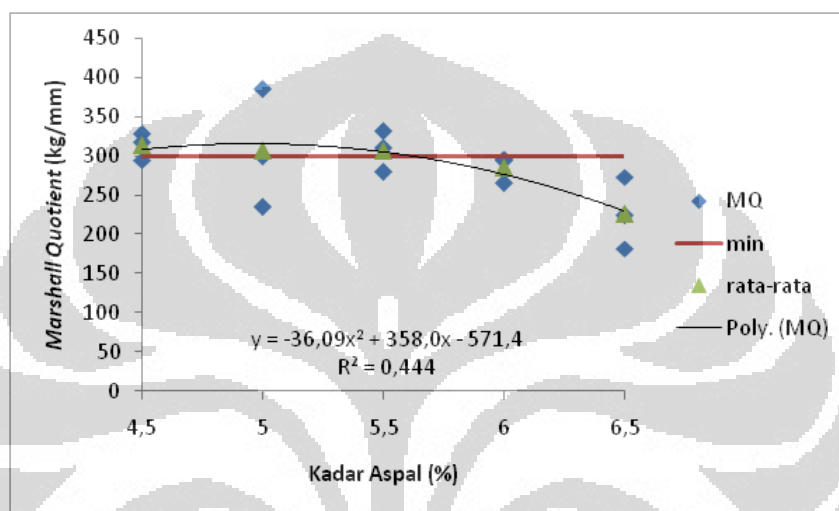
c. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai MQ (*Marshall Quotient*)

Tabel 4.39 Nilai MQ pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5%

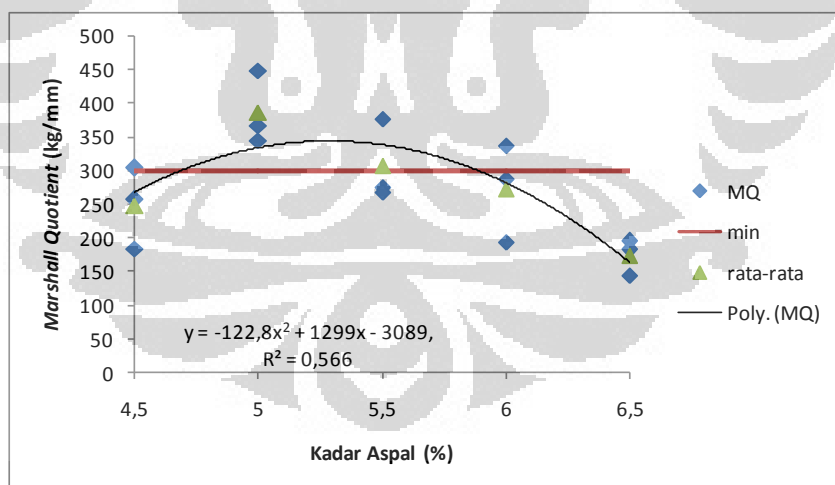
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
MQ (kg/mm)	1	> 300	327,936	384,934	279,605	296,538	273,560
	2	> 300	317,388	235,450	332,065	265,613	223,691
	3	> 300	295,107	299,343	309,632	294,178	182,135
		rata-rata		313,477	306,576	307,101	285,443

Tabel 4.40 Nilai MQ pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
MQ (kg/mm)	1	> 300	304,302	448,776	274,987	288,404	195,119
	2	> 300	183,239	344,691	268,606	337,838	144,485
	3	> 300	256,504	367,314	377,076	193,479	182,293
	rata-rata		248,015	386,927	306,889	273,240	173,965



(a)



(b)

Gambar 4.27 Grafik Nilai MQ (*Marshall Quotient*) pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a); Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA7% (b)

Pada **Tabel 4.39**, **Tabel 4.40** dan **Gambar 4.27** nilai MQ yang dihasilkan dari campuran aspal modifikasi polimer dan BGA mengalami kenaikan hingga saat kadar aspal campuran 5% kemudian kembali

mengalami penurunan seiring penambahan kadar aspal. Hal ini menandakan bahwa nilai MQ campuran ini sudah mencapai optimumnya pada saat kadar aspal 5%. Nilai MQ yang memenuhi standar nilai MQ untuk campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu minimal 300 kg/mm, hanya pada saat penggunaan kadar aspal campuran 4,5 – 5,5%, selebihnya sudah tidak memenuhi standar. Grafik ini berkebalikan dengan grafik nilai MQ pada campuran aspal polimer tanpa BGA sebelumnya (lihat **Gambar 4.14 (a)** dan **(b)**) dimana nilai MQ justru baru mengalami kenaikan pada saat kadar aspal campurannya melewati 5%. Hal ini menandakan bahwa penambahan BGA memberikan pengaruh pada kualitas agregat dan aspal pada campuran, sehingga dapat mencapai nilai MQ lebih cepat (dengan kadar aspal lebih sedikit).

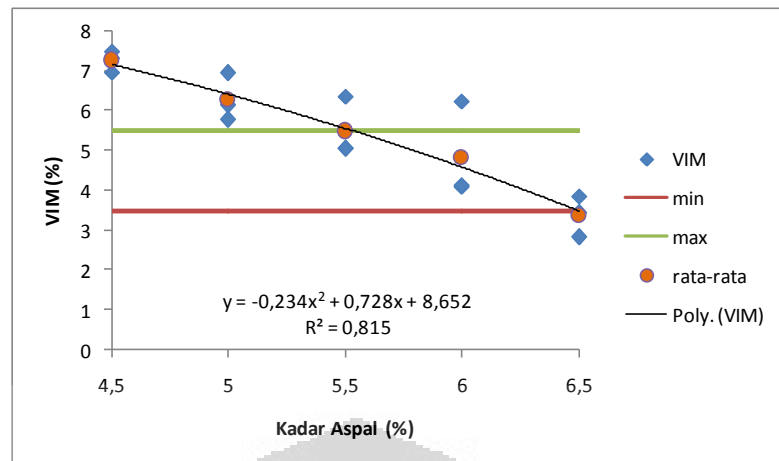
d. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai VIM (*Void in Mixture*)

Tabel 4.41 Nilai VIM pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5%

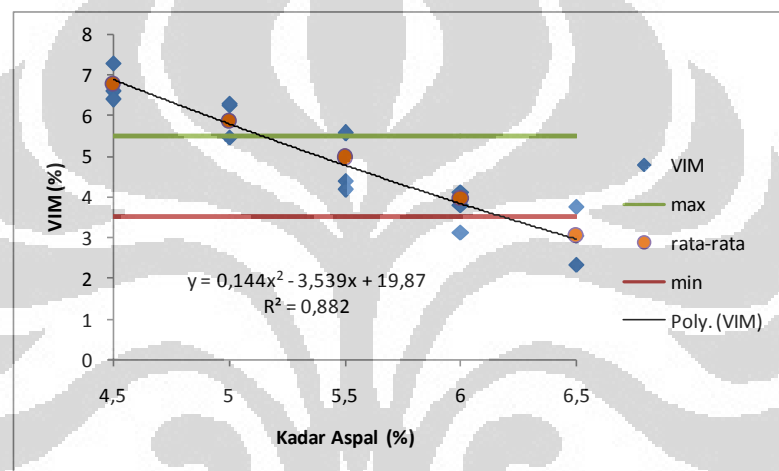
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VIM (%)	1	3,5 - 5,5	7,345	6,135	5,056	4,100	3,432
	2	3,5 - 5,5	7,488	6,955	6,372	4,147	3,872
	3	3,5 - 5,5	6,974	5,777	5,068	6,232	2,829
rata-rata			7,269	6,289	5,498	4,826	3,377

Tabel 4.42 Nilai VIM pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VIM (%)	1	3,5 - 5,5	7,299	6,263	4,386	3,809	2,337
	2	3,5 - 5,5	6,593	6,305	5,562	3,128	3,762
	3	3,5 - 5,5	6,398	5,473	4,181	4,117	3,043
rata-rata			6,763	6,013	4,709	3,684	3,047



(a)



(b)

Gambar 4.28 Nilai VIM pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a);
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA7% (b)

Tabel 4.41, **Tabel 4.42** dan **Gambar 4.28** menunjukkan bahwa nilai VIM mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar aspal. Campuran baru mencapai nilai VIM yang disyaratkan pada saat kadar aspal campuran memasuki 5,5% untuk campuran aspal modifikasi polimer 2% dan BGA 5% dan 5,2% untuk campuran aspal modifikasi polimer 4% dan BGA 7%. Standar nilai VIM untuk campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu 3,5 – 5,5% dari total rongga campuran. Semakin besar kadar aspal yang digunakan mengakibatkan semakin kecil jumlah rongga udara dalam campuran tersebut.

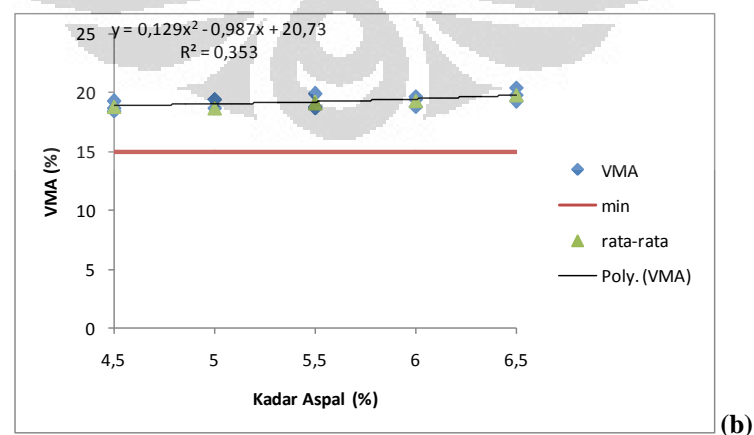
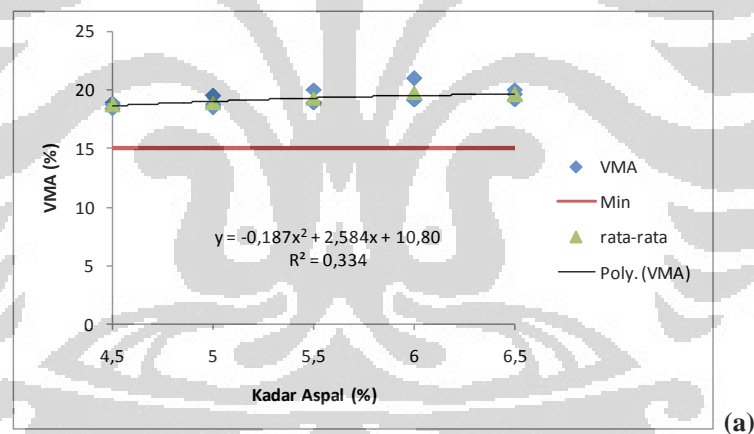
e. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*)

Tabel 4.43 Nilai VMA pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VMA (%)	1	> 14	18,770	18,775	18,902	19,140	19,623
	2	> 14	18,895	19,484	20,026	19,180	19,990
	3	> 14	18,445	18,465	18,912	20,938	19,121
	rata-rata		18,704	18,908	19,280	19,753	19,578

Tabel 4.44 Nilai VMA pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%

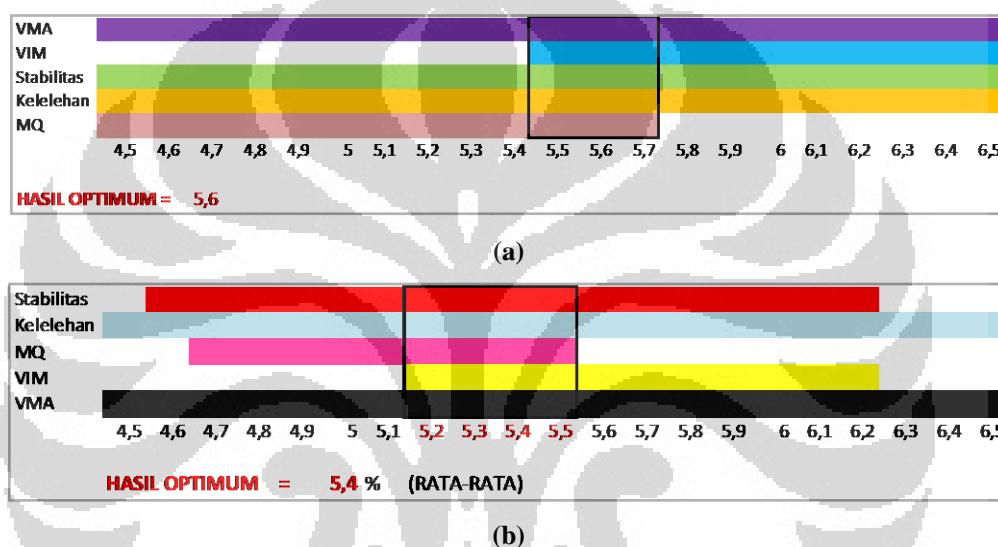
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VMA (%)	1	> 14	19,295	19,449	18,897	19,459	19,278
	2	> 14	18,680	19,485	19,895	18,889	20,456
	3	> 14	18,510	18,770	18,723	19,717	19,861
	rata-rata		18,828	19,235	19,172	19,355	19,865



Gambar 4.29 Grafik Nilai VMA pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a) ;
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (b)

Pada **Tabel 4.43**, **Tabel 4.43** dan **Gambar 4.29** secara umum terlihat bahwa nilai VMA meningkat seiring peningkatan kadar aspal. Secara keseluruhan, nilai VMA campuran ini telah memenuhi standar nilai VMA untuk campuran laston dimodifikasi (*AC Modified*) berdasarkan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 1, Departemen Pekerjaan Umum 2007 yaitu minimal 15%.

Setelah membandingkan seluruh hasil perhitungan dengan standar yang ada, maka dapat diperoleh kadar aspal optimum untuk campuran aspal modifikasi polimer dan BGA seperti pada **Gambar 4.26 (a)** dan **(b)**.



Gambar 4.19 Rekapitulasi Hasil Uji *Marshall* pada Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA5% (a) dan Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA7% (b)

4.3.5 Perubahan Kinerja Campuran Aspal Modifikasi Polimer+BGA terhadap Campuran Aspal Modifikasi Polimer

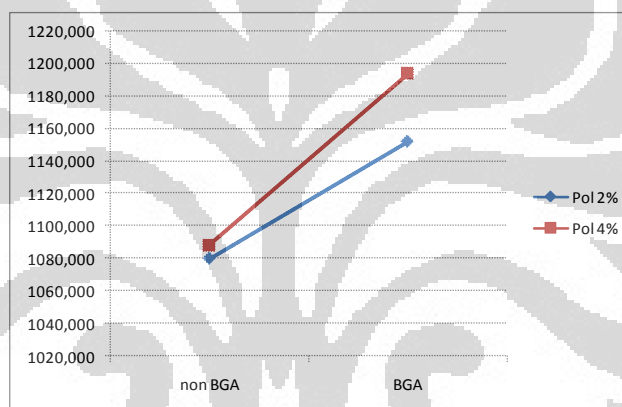
Setelah memperoleh nilai kadar aspal optimum kedua tipe campuran aspal modifikasi polimer+BGA, dapat pula diketahui kinerja optimum dari masing-masing campuran ditinjau dari 5 aspek pengukurannya. Secara keseluruhan, kinerja optimum yang dihasilkan oleh tipe campuran aspal modifikasi polimer+BGA ini lebih baik lagi daripada kinerja optimum campuran aspal modifikasi polimer tanpa BGA. Adapun spesifikasi penjelasannya dapat dilihat pada tabel dan gambar perbandingan seperti berikut. Kombinasi bahan aditif yang digunakan dalam campuran adalah polimer 2% - BGA 5% dan polimer 4% - BGA 7%.

1. Stabilitas (kg)

Secara keseluruhan, selain penggunaan polimer sebagai bahan modifikasi aspal AC, penambahan material BGA sebagai pemodifikasi agregat dan aspal memberi pengaruh lagi pada peningkatan nilai stabilitas aspal modifikasi polimer tanpa penambahan BGA. Penjelasan lebih spesifik dapat dilihat pada **Tabel 4.45** dan **Gambar 4.31**.

Tabel 4.45 Perbandingan Nilai Stabilitas Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

Stabilitas	non BGA	BGA	% perubahan
Pol 2%	1079,842	1152,174	6,70%
Pol 4%	1088,343	1193,678	9,68%



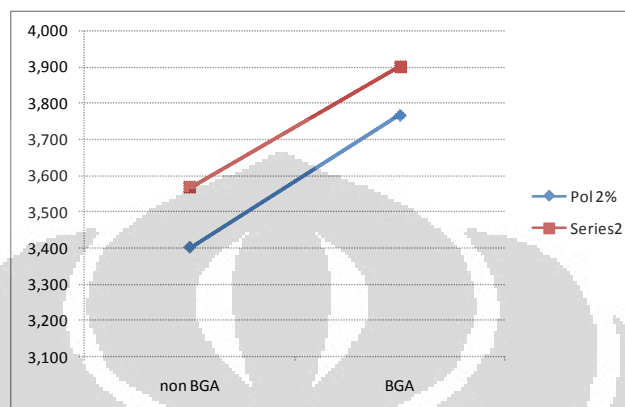
Gambar 4.31 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

2. Kelelehan (mm)

Secara keseluruhan, nilai kelelehan campuran aspal akan selalu bergerak naik seiring dengan peningkatan kadar aspal dalam campuran. Demikian halnya dengan campuran aspal modifikasi polimer dengan penambahan BGA, nilai kelelehan yang dihasilkan akan lebih tinggi daripada campuran aspal modifikasi polimer tanpa BGA. Karena BGA memiliki kontribusi dalam penambahan agregat halus dan peningkatan volume aspal dalam suatu campuran. Penjelasan lebih jelas dapat dilihat pada **Tabel 4.46** dan **Gambar 4.32**.

Tabel 4.46 Perbandingan Nilai Kelelahan pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

Kelelahan	non BGA	BGA	% perubahan
Pol 2%	3,400	3,767	10,79%
Pol 4%	3,567	3,9	9,35%



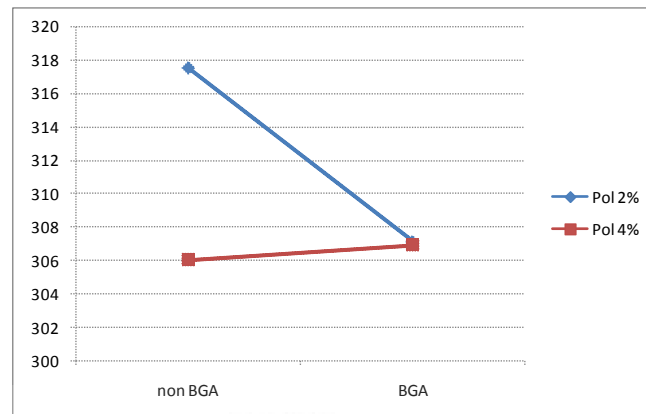
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Nilai Kelelahan pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

3. *Marshall Quotient* (kg/mm)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan. Sehingga fluktuasi nilai *Marshall Quotient* dapat bervariasi sesuai dengan besar nilai stabilitas serta kelelahan masing-masing tipe campuran. Secara keseluruhan, tidak ada perbedaan nilai stabilitas yang terlalu besar antara kedua campuran aspal modifikasi polimer dan BGA ini, karena nilai stabilitas dan kelelahan sama-sama meningkat seperti pada **Tabel 4.47** dan **Gambar 4.33**.

Tabel 4.47 24 Perbandingan Nilai *Marshall Quotient* pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

<i>Marshall Quotient</i>	non BGA	BGA	% perubahan
Pol 2%	317,490	307,101	-3,27%
Pol 4%	306,041	306,889	0,28%



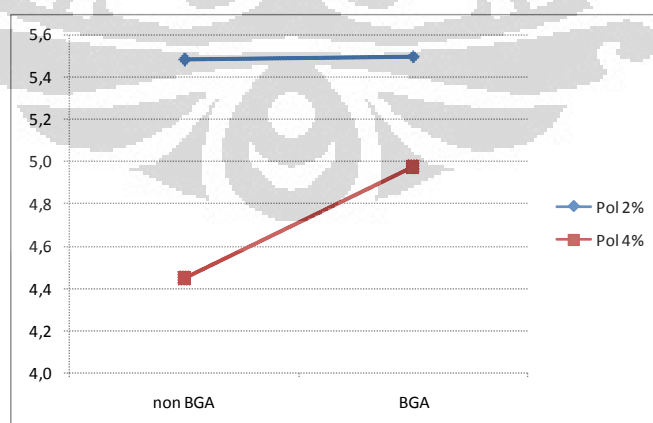
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai *Marshall Quotient* pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

4. VIM / *Void in Mixture* (%)

Secara keseluruhan, jumlah rongga udara dalam campuran aspal akan selalu bergerak naik seiring dengan peningkatan kadar aspal dalam campuran. Sehingga nilai VIM yang dihasilkan oleh campuran aspal modifikasi polimer dengan penambahan BGA ini akan lebih besar, seperti pada **Tabel 4.48** dan **Gambar 4.34**.

Tabel 4.25 Perbandingan Nilai VIM pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

VIM	non BGA	BGA	% perubahan
Pol 2%	5,480	5,498	0,34%
Pol 4%	4,447	4,974	11,85%



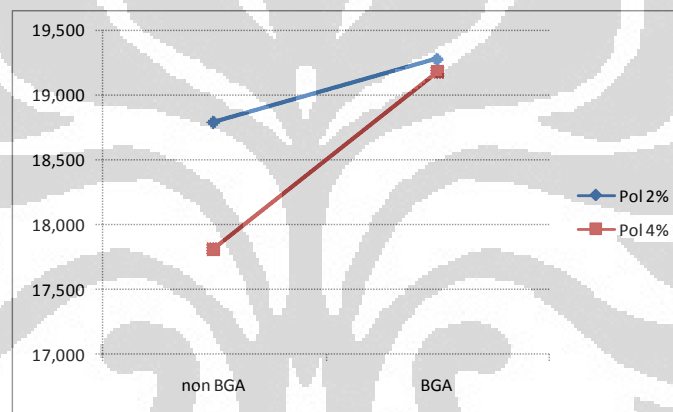
Gambar 4.48 Grafik Perbandingan Nilai VIM pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

5. VMA / *Void in Mineral Aggregate* (%)

Sama halnya dengan nilai VIM yang meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal dalam campuran. Nilai VMA pada campuran dengan kombinasi bahan aditif polimer dan BGA ini juga meningkat dibandingkan dengan campuran aspal tanpa modifikasi BGA seperti terlihat pada **Tabel 4.49** dan **Gambar 4.35**.

Tabel 4.49 Perbandingan Nilai VMA pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

VMA	non BGA	BGA	% perubahan
Pol 2%	18,792	19,280	2,59%
Pol 4%	17,815	19,172	7,62%



Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Nilai VMA pada Kondisi Kadar Aspal Optimum untuk Campuran Aspal Modifikasi Polimer dan BGA

4.4 Analisa Pengaruh Penambahan BGA terhadap Campuran Aspal Murni dan Aspal Modifikasi Polimer 2% dan 4%

Dari keseluruhan analisis yang sudah dilakukan pada hasil-hasil pengujian *Marshall* pada kelima tipe campuran yang berbeda-beda, dapat diperoleh kadar aspal dan kinerja optimum masing-masing campuran tersebut seperti yang tertera pada **Tabel 4.50** dan **Tabel 4.51**.

Tabel 4.26 Kadar Aspal dan Kinerja Optimum Berdasarkan Nilai Stabilitas

Tipe Campuran	KAO rata-rata	Persamaan Polinomial	R ²	Stabilitas ⁽¹⁾ (kg)	Pendekatan KAO	Stabilitas ⁽²⁾ (kg)
Campuran Aspal Murni	6,1 %	$Y = -94,49x^2 + 978,7x - 1553$	0,179	901,097	6 %	911,171
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%	6,3 %	$Y = 35,53x^2 - 129,3x + 603,2$	0,785	1198,796	6 %	1079,842
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%	6 %	$Y = -56,44x^2 + 712,7x - 1086$	0,203	1158,36	6 %	1088,343
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA 5%	5,6 %	$Y = -97,86x^2 + 1050x - 1657$	0,172	1154,11	5,5 %	1152,174
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%	5,4 %	$Y = -380,7x^2 + 4110x - 9805$	0,488	1287,788	5,5 %	1193,678

Keterangan : ⁽¹⁾ Nilai stabilitas berdasarkan KAO (Kadar Aspal Optimum) rata-rata dan persamaan polinomial

⁽²⁾ Nilai stabilitas berdasarkan hasil uji marshall yang diperoleh pada saat pendekatan KAO (Kadar Aspal Optimum)

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada **Tabel 4.50** dapat diketahui bahwa sebagian besar kadar aspal optimum yang diperoleh dari berbagai macam tipe campuran adalah 6 %. Semakin kecil kadar aspal optimumnya, berarti akan semakin sedikit jumlah aspal AC yang harus digunakan dalam suatu konstruksi jalan untuk menghasilkan kinerja yang optimum. Dalam hal ini yang menghasilkan kadar aspal optimum paling rendah adalah campuran aspal modifikasi polimer dan BGA dengan kadar aspal optimum sebesar 5,5 %, kemudian diikuti oleh tipe campuran aspal modifikasi polimer dan campuran murni.

Penentuan kekuatan hubungan antara variasi kadar aspal dengan kinerja campuran menggunakan analisis korelasi. Analisis korelasi dinyatakan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasi (r). Koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui persentase kekuatan hubungan antara variabel terikat (nilai stabilitas) dengan variabel bebas (kadar aspal) dan merupakan indikasi keakuratan persamaan garis perkiraan terhadap titik sebaran aslinya. Nilai koefisien determinasi (R^2) berkisar antara 0 (tidak ada relasi) dan 1 (relasi sempurna). Indeks atau bilangan yang digunakan untuk menentukan kategori keeratan hubungan berdasarkan nilai r adalah sebagai berikut:

- 1) $0 \leq r \leq 0,2$ → korelasi lemah sekali
- 2) $0,2 \leq r \leq 0,4$ → korelasi lemah
- 3) $0,4 \leq r \leq 0,7$ → korelasi cukup kuat
- 4) $0,7 \leq r \leq 0,9$ → korelasi kuat
- 5) $0,9 \leq r \leq 1$ → korelasi sangat kuat

Oleh karena nilai R^2 pada **Tabel 4.50** tidak ada yang tergolong “sangat kuat” berarti persamaan polinomialnya tidak dapat dijadikan tolak ukur untuk mendapatkan nilai stabilitas yang optimum. Sehingga nilai stabilitas optimum yang digunakan adalah nilai stabilitas hasil uji marshall dengan pendekatan KAO.

Pada penelitian ini campuran yang menghasilkan nilai stabilitas tertinggi adalah campuran aspal modifikasi polimer 4%-BGA 7%, dengan nilai stabilitas 1193,678 kg. Kemudian diikuti oleh campuran aspal modifikasi polimer 2%-BGA 5% dengan nilai stabilitas 1152,174 kg, dan seterusnya.

Polimer SBS merupakan bahan aditif yang berperan untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan aspal AC, dapat dilihat pada **Tabel 4.50** bahwa nilai stabilitas yang dihasilkan oleh campuran aspal modifikasi polimer mengalami peningkatan dibandingkan dengan campuran aspal murni tanpa mengubah kadar aspal optimumnya.

Pada campuran aspal modifikasi polimer dengan penambahan material BGA, selain dapat meningkatkan nilai stabilitas, campuran ini juga dapat mengurangi penggunaan kadar aspal optimum. Hal ini dikarenakan oleh BGA berkontribusi terhadap peningkatan volume aspal.

Dilihat dari segi kekuatannya, campuran aspal modifikasi polimer 4%-BGA 7% merupakan campuran yang terbaik. Disamping keunggulan polimer yang dapat meningkatkan umur rencana dan ketahanan perkerasan hingga 10 kali lebih kuat dari campuran aspal tanpa polimer, namun dari segi biaya semakin besar penggunaan polimer akan mengakibatkan semakin mahal biaya produksinya. Penggunaan PMB (*Polymer Modified Bitumen*) dapat meningkatkan harga produksi hingga 60 – 100% (Yvonne Becker, Maryro P. Méndez and Yajaira Rodríguez – Venezuela, 2001), hal ini tentu tergantung pada kadar polimer yang digunakan.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa campuran aspal modifikasi polimer 4% dan BGA 7% bukan merupakan campuran yang paling optimum jika dilihat dari segi biaya, meskipun nilai stabilitasnya paling besar. Dilihat dari kinerjanya, campuran aspal modifikasi polimer 2% dan BGA 5% memiliki nilai stabilitas yang tidak jauh berbeda dengan campuran aspal modifikasi polimer 4% dan BGA 7%, yaitu 1152,174 kg dan 1193,678 kg. Selain itu nilai kadar aspal optimum yang dihasilkan oleh kedua campuran tersebut adalah sama yaitu 5,5%. Untuk memperoleh manfaat dari penggunaan kedua bahan aditif tersebut dengan mempertimbangkan segi kinerja dan segi biaya, campuran yang paling optimum adalah **campuran aspal dengan modifikasi polimer 2% dan BGA 5%**.

Untuk lebih memastikan kedekatan kinerja optimum yang dihasilkan oleh kedua campuran aspal modifikasi polimer dan BGA dapat dilihat pada **Tabel 4.51**.

Tabel 4.51 Kinerja Optimum Campuran Berdasarkan Kadar Aspal Optimum

Tipe Campuran	Stabilitas ⁽²⁾ (kg)	Kelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)
Campuran Aspal Murni	911,171	3,367	271,536	4,883	18,19
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%	1079,842	3,4	317,49	4,608	18,792
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%	1088,343	3,567	306,041	4,447	17,815
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA 5%	1152,174	3,767	307,101	5,498	19,280
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%	1193,678	3,9	306,889	4,974	19,172

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut ini kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian mengenai penggunaan bahan aditif berupa polimer SBS dan BGA (*Buton Granular Asphalt*) dalam campuran aspal panas :

1. Pemeriksaan Material Aspal
 - a. Seluruh pemeriksaan aspal AC pen 60/70 telah memenuhi spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2007.
 - b. Pemeriksaan aspal modifikasi polimer meliputi penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakar serta daktilitas telah memenuhi syarat yang ditetapkan berdasarkan RSNI 03-6749-2002. Penggunaan polimer sebagai bahan modifikasi terbukti mampu meningkatkan sifat dasar aspal terhadap tingkat kekerasan (kekakuan), fleksibilitas dan kepekaan terhadap temperatur.
2. Dengan penggunaan metode yang berbeda dengan metode konvensional, terbukti bahwa tidak setiap tipe campuran memiliki kadar aspal optimum yang sama, seperti pada tabel berikut.

Tipe Campuran	KAO rata-rata	Pendekatan KAO
Campuran Aspal Murni	6,1 %	6 %
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%	6,3 %	6 %
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%	6 %	6 %
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA 5%	5,6 %	5,5 %
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%	5,4 %	5,5 %

3. Kinerja campuran aspal panas dapat ditinjau dari lima faktor, yaitu nilai VIM, VMA, stabilitas, kelelahan (*flow*) dan *Marshall Quotient* (MQ).

Tipe Campuran	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)
Campuran Aspal Murni	911,171	3,367	271,536	4,883	18,19
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2%	1079,842	3,4	317,49	4,608	18,792
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4%	1088,343	3,567	306,041	4,447	17,815
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA 5%	1152,174	3,767	307,101	5,498	19,280
Campuran Aspal Modifikasi Polimer 4% dan BGA 7%	1193,678	3,9	306,889	4,974	19,172

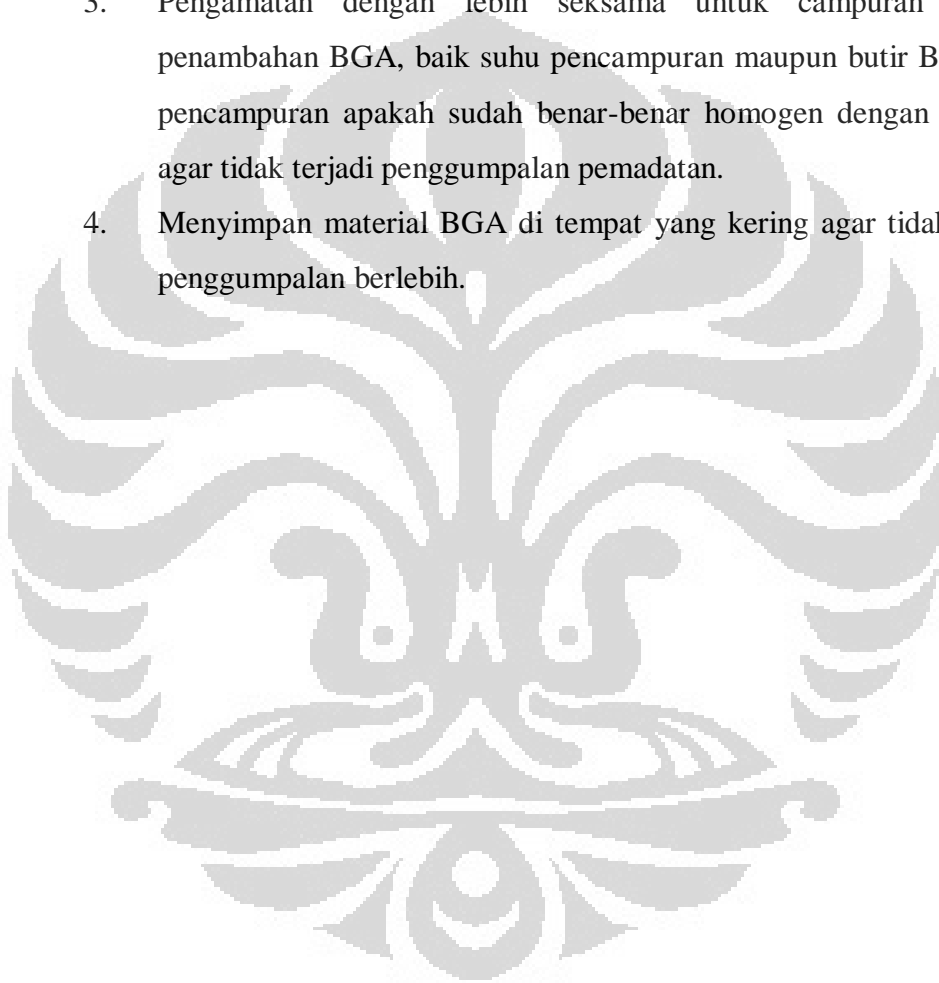
4. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada bab IV sebelumnya, campuran yang memiliki kinerja yang paling optimum dari segi kekuatan dan biaya yang paling baik adalah Campuran Aspal Modifikasi Polimer 2% dan BGA 5%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian, dapat diutarakan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya seperti berikut:

1. Agar diperoleh hasil yang lebih akurat, khusus untuk hasil persebaran data yang terlalu lebar pada kadar aspal tertentu dalam masing-masing tipe campuran, disarankan untuk menambah jumlah sampel sebanyak 2 buah lagi sesuai komposisi tersebut. Sehingga, dapat dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui persebaran data yang mewakili dan yang menyimpang. Karena besar kemungkinan diakibatkan oleh kekurangtelitian peneliti dalam penimbangan sampel, pengamatan suhu saat pelaksanaan maupun pembacaan angka saat pengujian.

2. Menjaga suhu pada saat pencampuran dan pengujian material agar tetap sesuai dengan standar dan memperhatikan suhu pemanasan terhadap aspal modifikasi polimer dengan lebih seksama hingga benar-benar tercapai suhu titik lembeknya sebelum proses pencampuran dengan agregat, serta memperhatikan suhu pematatannya agar jangan kurang dari 150 °C (suhu pematatan campuran polimer) untuk memperoleh hasil yang optimal.
3. Pengamatan dengan lebih seksama untuk campuran dengan penambahan BGA, baik suhu pencampuran maupun butir BGA saat pencampuran apakah sudah benar-benar homogen dengan agregat, agar tidak terjadi penggumpalan pematatan.
4. Menyimpan material BGA di tempat yang kering agar tidak terjadi penggumpalan berlebih.



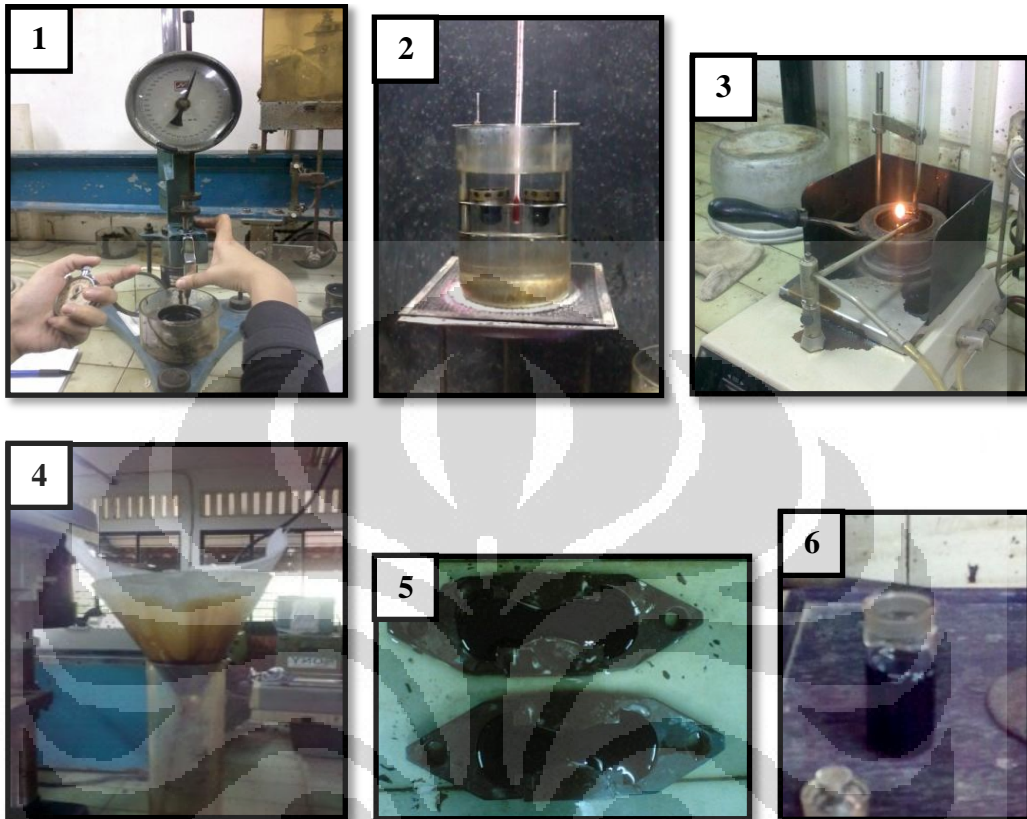
DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, Furqon. (2009). Sifat Campuran Beraspal Panas Dengan Asbuton Butir. *Jurnal Jalan dan Jembatan*, vol.26, No.2.
- Agah, HR, Djedjen Achmad. (2009). Penggunaan Polimer Binder pada Aspal Beton Daur Ulang dengan Metoda Campuran Dingin, *Jurnal Penerapan dan Pengembangan Teknologi*.
- Airey G.D. (2002). Rheological Evaluation of EVA Polymer Modified Bitumens, *J. Construction & Building Materials*, v16, n 8, p473-487.
- Balitbang Departemen Pekerjaan Umum. (2007). *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*.
- Balitbang Departemen Pekerjaan Umum. (2009). *ASBUTON*.
- British Standard Institution. (1992). *BS 594 – Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Area, Part 1; Specification for Constituent Materials and Asphalt Mixtures*. London. U.K.
- Brown, E. R., and Cooley, L. A. (1999). “*Designing stone matrix asphalt mixtures For rut-resistance pavement*” NCHRP Rep. No. 425, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Dairi, Gompul 1992, Konferensi Tahunan Teknik Jalan ke-4, Vol 2, Road Maintenance, Mikro Asbuton Sebagai Lapis Permukaan Jalan Bandung-Rancabali, Puslitbang Jalan, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*.
- Freddy L. Roberts, Prithvi S. Kandhal, E. Ray Brown, Dah-Yinn Lee and Thomas W. Kennedy (1996) *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*, NAPA Education Foundation, Second Edition.

- Giavarini C., Paolo De Filippis, M. Laura Santarelli and Marco Scarsella (1996), "Production Of Stable Polypropylene Modified Bitumens", *Journal of Fuel*, v75, n6, p681-686.
- Hermadi, Madi. (2009). Peluang dan Tantangan Dalam Penggunaan Asbuton Sebagai bahan Pengikat Pada Perkerasan jalan. *Jurnal Jalan dan Jembatan*.
- Howardy, Latif Budi Suparma, Iman Satyarno. Perancangan Laboratorium Campuran HRS-WC dengan Penggunaan *Buton Granular Asphalt* (BGA) sebagai Bahan Additif. *Forum Teknik Sipil* No. XVIII/3-September 2008.
- J.-S.Chen, M.-C.Liao, and H.-H.Tsai. (2002). "Evaluation and Optimization of the Engineering Properties of Polymer-Modified Asphalt". ASM International Volume 2(3). National Cheng Kung University, Departement of Civil Engineering, Tainan 70101, Taiwan, R.O.C.
- Kurniaji, dkk. (2002). Penggunaan Buton Lake Asphalt Dalam Campuran Aspal Panas. *Jurnal Puslitbang Prasarana Transportasi*.
- Martina, Nunung, Heddy R Agah. (2010). Penggunaan Asbuton Modifikasi Pada erkerasan Lentur Jalan Untuk Lapisan Permukaan. *Konferensi Regional Teknik Jalan Ke-11*, Nusa Dua, Bali.
- Nuryanto, Agus. (2009). Aspal Buton dan Propelan Padat. *Jurnal Jalan dan Jembatan*.
- O' Flaherty, C.A. (1973). *Volume 2 Highway Engineering*. London : Edward Arnold.
- Purwanto, Ragil, dkk. Evaluasi Kinerja Filler Asbuton Dalam Campuran Mortar HRA. *Simposium III FSTPT*, ISBN no. 979-96241-0-X
- Ramakrishnan, V. (1992), "Latex Modified Concretes and Mortars", *Transportation Research Board*, Washington DC.
- RSNI (Rancangan Standar Nasional Indonesia), *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, 2002, hal.4
- RSNI 03-1737-1989, Tata cara pelaksanaan lapis aspal beton (LASTON) untuk jalan raya.

- Sengoz B and Isikyakar G (2008) "Analysis of styrene-butadiene-styrene polymer modified bitumen using fluorescent microscopy and conventional test methods", *J. Hazardous Materials*, v 150, pp 424-432
- Shell Bitumen. (1990), *Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen, U.K.
- Somayaji, Shan. (2001). *Civil Engineering Materials*. New Jersey : Prentice-Hall.
- Stephens MP, terjemahan Iis Sopyan, "Kimia Polimer", Pradnya Paramita, Jakarta, 2001.
- Sukirman, Silvia. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- The Asphalt Institute. (1997). *Mix Design Method for Asphalt Concrete and other Plant Mix Types, Manual Series No.2 (MS-2), 6th Edition*.
- Tjitjik Wasiah Suroso, (1995), Hasil Penelitian Pendahuluan pengaruh penambahan Syntetic Rubber (polimer) terhadap ketahanan Aspal Pen 60 dan 80 terhadap suhu (Pi) dan Pelapaukan (Aging Index). *Jurnal Pusat Litbang Jalan* 3.
- Wan Mohd Nazmi, Dr. Ir. H.Achmad Fauzi. (2010). Performance of Recycled High Density Polyethylene (HDPE) and Low Density Polyethylene (LDPE) Pellet on the Conventional Properties of Bitumen. The Faculty of Civil Engineering and Earth Resoirces, University Malaysia Pahang.
- Yildirim.Y (2007), "Polymer modified asphalt binders", *J. Construction and Building Materials*, v21, n1, p66-72.
- Young, J.Francis., Mindess, Sidney, Gray, Robert J., & Bentur, Arnon. (1998). *The Science and Technology of Civil Engineering Materials*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.
- Yvonne Becker, Maryro P. Méndez and Yajaira Rodríguez. *Polymer Modified Asphalt* – Artikel Venezuela. 2001.

LAMPIRAN A
UJI MUTU ASPAL PEN 60/70



Keterangan:

- [1] Penetrasi Aspal 25°C, 100 gram, 5 detik
- [2] Titik Lembek Aspal 5°C
- [3] Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal
- [4] Kelarutan dalam larutan CCl₄
- [5] Daktilitas 25°C
- [6] Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

LAMPIRAN B

PROSES PEMBUATAN ASPAL MODIFIKASI POLIMER

Keterangan:

[1] Aspal pen 60/70 dipanaskan hingga mencapai suhu 180°C

[2] Mesin pengaduk dinyalakan dengan kecepatan rendah dan suhu tetap

[3] Butiran polimer SBS dimasukkan secara perlahan dengan kecepatan rendah dan temperatur konstan 180°C

Selanjutnya pencampuran dilakukan dengan kecepatan konstan 3000 rpm dan temperatur konstan 180°C selama ± 2 jam

LAMPIRAN C

PROSES PEMBUATAN HINGGA PENGUJIAN BENDA UJI





Keterangan:

- [1] Persiapan Benda Uji
- [2] Pemanasan Agregat dan Aspal
- [3] Pencampuran Agregat dengan Aspal
- [4] Memasukkan Campuran ke dalam cetakan
- [5] dan [6] Proses pemadatan campuran
- [7] Cetakan benda uji
- [8] Proses pemisahan benda uji dari cetakan dengan extruder
- [9] Perendaman benda uji dalam *waterbath* 60°C
- [10] Pengujian *Marshall*