



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KINERJA CAMPURAN ASPAL PANAS DENGAN
MENGUNAKAN VARIASI KOMPOSISI BGA (*BUTON
GRANULAR ASPHALT*) DAN PENAMBAHAN ADITIF JENIS
POLIMER**

SKRIPSI

**A. MARTHA K.
0706265945**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA
DEPOK
JANUARI 2012**

1072/FT.01/SKRIP/02/2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KINERJA CAMPURAN ASPAL PANAS DENGAN
MENGUNAKAN VARIASI KOMPOSISI BGA (*BUTON
GRANULAR ASPHALT*) DAN PENAMBAHAN ADITIF JENIS
POLIMER**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**A. MARTHA K.
0706265945**

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

1072/FT.01/SKRIP/02/2012



UNIVERSITY OF INDONESIA

**ANALYSIS OF HOT MIX ASPHALT PERFORMANCE USING
COMBINATION OF BGA (*BUTON GRANULAR ASPHALT*)
AND POLYMER**

FINAL PROJECT

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

**A. MARTHA K.
0706265945**

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JANUARY 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISNALITAS

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

Nama : A. Martha K.

NPM : 0706265945

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 : A. Martha K.

NPM : 0706265945

Signature : 

Date : January, 12th 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : A. Martha K.

NPM : 0706265945

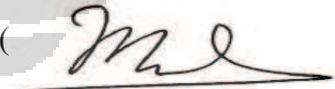
Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Kinerja Campuran Aspal Panas dengan Menggunakan Variasi Komposisi BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan Penambahan Aditif Jenis Polimer

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 : Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc ()

Penguji : Dr. Ir. Nahry C., MT ()

Ditetapkan di : Depok, Jawa Barat

Tanggal : 12 Januari 2012

STATEMENT OF LEGITIMATION

The final report is submitted by :

Name : A. Martha K.

NPM : 0706265945

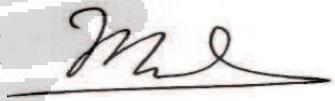
Study Program : Civil Engineering

Title of Final Project : Analysis of Hot Mix Asphalt Performance Using
Combination of BGA (*Buton Granular Asphalt*) and
Polymer

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 : Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc ()

Examiner : Dr. Ir. Nahry C., MT ()

Approved at : Depok, West Java

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 Kinerja Campuran Aspal Panas dengan Menggunakan Variasi Komposisi BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan Penambahan Aditif Jenis Polimer**” 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. Ir. Heddy Rohandi Agah M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk pengarahan dalam penyusunan skripsi ini
2. 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
3. PT. Hutama Karya yang telah memberikan bantuan material berupa aspal, agregat kasar, agregat medium, agregat halus dan BGA
4. PT. WASCO yang telah memberikan bantuan material berupa polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*) dan Bapak Roni beserta karyawan lainnya yang telah bersedia melakukan pencampuran aspal dengan polimer
5. Dwita Sutjiningsih Dipl. HE sebagai dosen pembimbing akademis atas bimbingan, nasehat dan kesabarannya mendampingi selama ini
6. Bapak Zaelani “Babe”, Bang Nandar, Pak Agus, Pak Apri, Pak Idris, Pak Obed selaku karyawan Laboratorium Struktur dan Material yang telah membantu kelancaran penelitian ini dalam hal teknis dan yang selalu memberikan semangat selama penelitian dilakukan
7. Mba Dian, Mba Mini, Mba Wati, Bang Jali, Bang Hamid dan seluruh karyawan Departemen Teknik Sipil yang telah membantu kelancaran

- administrasi dan juga memberikan hiburan selama masa perkuliahan sampai dengan penyelesaian tugas akhir
8. Orang tua dan keluarga besar yang selalu memberikan doa dan dukungan materiil dan moral yang tidak ternilai
 9. Mita Amalia “Midun” dan Gloria Patricia “Patty” yang telah berjuang bersama dalam pembuatan penelitian sebagai tugas akhir ini
 10. Fia “Dudun”, Disa, Widya, Andrew, Inca, Transporter 2007 dan seluruh teman-teman Teknik Sipil Universitas Indonesia angkatan 2007 yang selama ini telah memberikan semangat, keceriaan dan dukungan yang tidak ternilai
 11. Seluruh teman-teman K-Pop *fansclub* atas segala dukungan, doa serta penghiburannya
 12. 슈퍼주니어 오빠들 yang secara tidak langsung telah memberikan dukungan yang sangat berarti dan menjadi penyemangat kedua setelah keluarga, saat menghadapi tantangan-tantangan selama masa perkuliahan sampai dengan tahap akhir penyusunan skripsi ini, 정말 감사드립니다;
 13. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu dan telah banyak membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini

Semoga Tuhan Yang Maha Esa 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 kesalahan karena keterbatasan pengetahuan penulis. Oleh karena itu diperlukan saran yang membangun untuk memperbaiki skripsi ini.

Depok, 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 : A. Martha K.
NPM : 0706265945
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 Kinerja Campuran Aspal Panas dengan Menggunakan Variasi
Komposisi BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan Penambahan Aditif Jenis
Polimer**

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



A. Martha K.

ABSTRAK

Nama : A. Martha K.
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Analisis Kinerja Campuran Aspal Panas dengan Menggunakan Variasi Komposisi BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan Penambahan Aditif Jenis Polimer

Jalan yang merupakan infrastruktur penghubung antara kawasan satu dengan yang lain dan digunakan oleh masyarakat umum sudah seharusnya memiliki struktur perkerasan dan kinerja yang baik sehingga dapat memberikan kenyamanan bagi penggunaannya. Skripsi ini membahas tentang usaha peningkatan kinerja campuran aspal dengan menggunakan material BGA dan polimer SBS. Pengujian dilakukan secara eksperimental di dalam laboratorium dengan kadar BGA yang digunakan adalah 5% dan 7% dari total campuran, serta kadar polimer 2% dan 4% dari total aspal yang digunakan.

Hasil pengujian menyatakan bahwa campuran aspal modifikasi polimer P4-B5 memiliki nilai stabilitas paling tinggi diantara seluruh campuran yaitu sebesar 1333,181 kg. Namun tinjauan ekonomis terhadap material yang digunakan pada campuran aspal menyebabkan campuran aspal P2-B7 menjadi pilihan campuran yang paling memungkinkan untuk direalisasikan mengingat nilai stabilitasnya pun tidak jauh berbeda dengan nilai stabilitas campuran P4-B5, yaitu 1280,471 kg.

Kata kunci : Campuran aspal panas, BGA, Aditif SBS

ABSTRACT

Name : A. Martha K.
Study Program : Civil Engineering
Title : Analysis of Hot Mix Asphalt Performance Using Combination of BGA (*Buton Granular Asphalt*) and Polymer

Road as infrastructure that connecting one place to another and used by society should has a good quality pavement that can give comfort to anyone who use it. This thesis is about research of hot mix asphalt workability using BGA and SBS Polymer. Variation of BGA's composition in this research are 5% and 7% from total mixture and SBS Polymer are 2% and 4% from content of asphalt used.

Result of the research shows that P4-B5 mixture has the highest stability from all of mixtures, specifically 1333.181 kg. However, from economic consideration, P2-B7 mixture is the possible one to be realized considering its stability, 1280.471 kg, is not much different from P4-B5's.

Keywords : Hot Mix Asphalt, BGA, SBS Aditive.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PAGE OF TITLE	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
STATEMENT OF LEGITIMATION	vi
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ix
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
1.6 Laboratorium Uji	5

2. STUDI LITERATUR	6
2.1 Campuran Aspal Panas (<i>Hotmix Asphalt</i>).....	6
2.2 Material Perkerasan Jalan.....	7
2.2.1 Aspal	7
2.2.2 Agregat	11
2.2.2.1 Agregat Kasar	15
2.2.2.2 Agregat Halus.....	16
2.2.3 <i>Filler</i>	16
2.2.3.1 Asbuton Butir (<i>Buton Granular Asphalt</i>)	17
2.2.4 Polimer SBS (<i>Styrene Butadiene Styrene</i>)	22
2.2.5 Aspal Modifikasi Polimer (AMP).....	24
2.3 Laston	26
2.4 <i>Marshall Test</i>	26
2.5 Penelitian-Penelitian Sebelumnya	31
3. METODE PENELITIAN	36
3.1 Rencana Penelitian	36
3.2 Pelaksanaan	43
3.2.1 Bahan Baku Penelitian.....	43
3.2.2 Standar Pengujian.....	43
3.2.3 Perancangan Dan Pembuatan Benda Uji	45
3.2.4 Tahap Pengujian Benda Uji	47
3.3 Tahap Analisa Dan Pembahasan	49

3.4 Tahap Kesimpulan Dan Saran	49
4. HASIL DAN ANALISA	50
4.1 Pengujian Material Dasar Campuran Aspal Panas	50
4.1.1 Pengujian Material Aspal	50
4.1.2 Pengujian Material Agregat	55
4.1.3 Pengujian Material BGA	59
4.2 Campuran Aspal Panas	61
4.2.1 Perancangan Benda Uji	61
4.2.2 Pembuatan Benda Uji	64
4.3 Pengujian Benda Uji Campuran Aspal Panas	69
4.3.1 Campuran Aspal Murni	71
4.3.2 Campuran Aspal Modifikasi BGA	78
4.3.3 Campuran Aspal Modifikasi BGA dengan Polimer SBS ..	89
5. KESIMPULAN DAN SARAN	103
5.1 Kesimpulan	103
5.2 Saran	104
DAFTAR REFERENSI	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Ikatan Kimia Polimer SBS (<i>Styrene Butadiene Styrene</i>).....	24
Gambar 2.2	Skema Volume Campuran Aspal.....	30
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian Konvensional	39
Gambar 3.2	Kekuatan dan Ketahanan Campuran Aspal dan SBS.....	40
Gambar 3.3	Bagan Alir Penelitian.....	42
Gambar 4.1	Pemeriksaan Penetrasi Aspal	50
Gambar 4.2	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	51
Gambar 4.3	(a) Titik Nyala; (b) Titik Bakar	52
Gambar 4.4	Grafik Sebaran Gradasi Agregat	59
Gambar 4.5	Grafik Sebaran Gradasi Gabungan	63
Gambar 4.6	Grafik Sebaran Gradasi Gabungan Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	65
Gambar 4.7	Grafik Sebaran Gradasi Gabungan Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	66
Gambar 4.8	Mesin <i>Compaction</i>	70
Gambar 4.9	Grafik VIM Campuran Aspal Murni	72
Gambar 4.10	Grafik VMA Campuran Aspal Murni	73
Gambar 4.11	Grafik Stabilitas Campuran Aspal Murni	74
Gambar 4.12	Grafik Kelelahan Campuran Aspal Murni	75

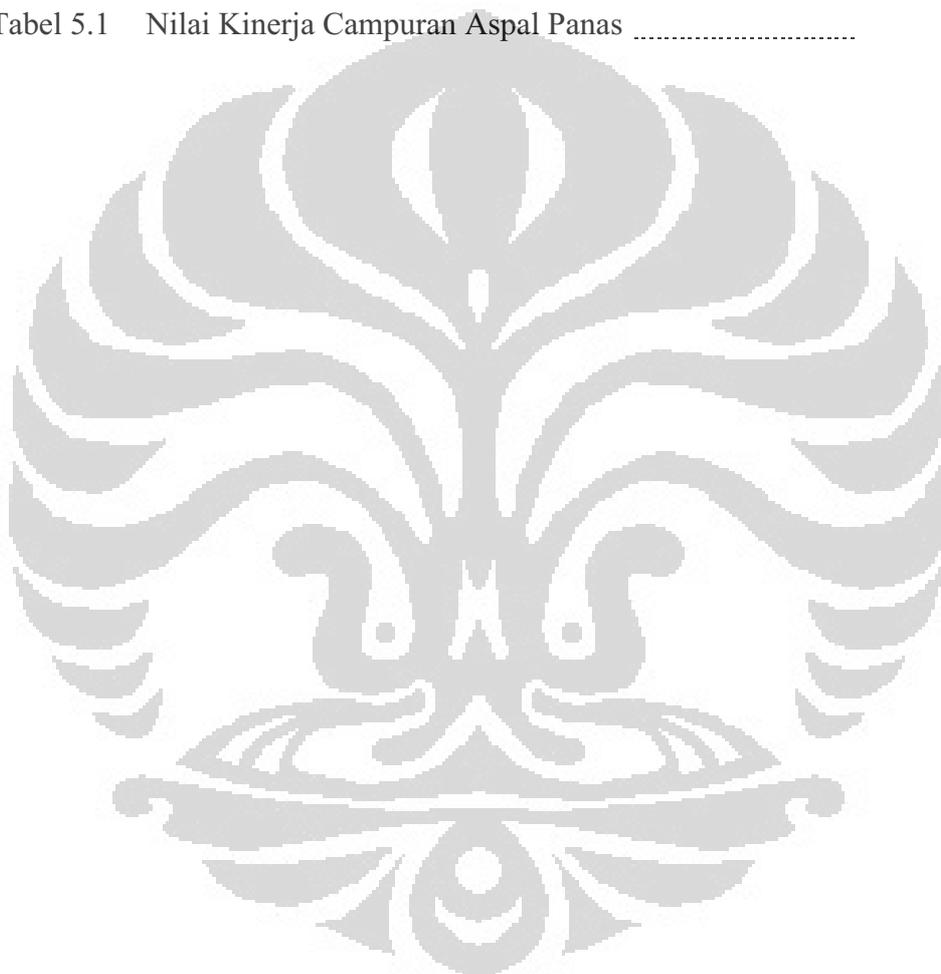
Gambar 4.13	Grafik <i>Marshall Quotient</i> Campuran Aspal Murni ...	77
Gambar 4.14	Rekap Faktor Penentu Kinerja Campuran Aspal Murni	77
Gambar 4.15	Grafik VIM Campuran Aspal Modifikasi BGA 5% ..	79
Gambar 4.16	Grafik VIM Campuran Aspal Modifikasi BGA 7% ..	80
Gambar 4.17	Grafik VMA Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	81
Gambar 4.18	Grafik VMA Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%..	82
Gambar 4.19	Grafik Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	84
Gambar 4.20	Grafik Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	84
Gambar 4.21	Grafik Kelelehan Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	86
Gambar 4.22	Grafik Kelelehan Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	86
Gambar 4.23	Grafik <i>Marshall Quotient</i> Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	88
Gambar 4.24	Grafik <i>Marshall Quotient</i> Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	88
Gambar 4.25	Rekap Faktor Penentu Kinerja Campuran	89
Gambar 4.26	Grafik VIM Campuran Aspal P0-B5 dan P4-B5	92
Gambar 4.27	Grafik VIM Campuran Aspal P0-B7 dan P2-B7	92
Gambar 4.28	Grafik VMA Campuran Aspal P0-B5 dan P4-B5	94
Gambar 4.29	Grafik VMA Campuran Aspal P0-B7 dan P2-B7	94
Gambar 4.30	Grafik Stabilitas Campuran Aspal P0-B5 dan P4-B5	96
Gambar 4.31	Grafik Stabilitas Campuran Aspal P0-B7 dan P2-B7	96
Gambar 4.32	Grafik Kelelehan Campuran Aspal P0-B5 dan P4-B5	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kandungan Mineral Asbuton Lawele dan Kabungka.....	8
Tabel 2.2	Syarat Pemeriksaan Aspal Keras	10
Tabel 2.3	Syarat Gradasi Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	17
Tabel 2.4	Persyaratan Tipe Asbuton	18
Tabel 2.5	Sifat-sifat Teknis Buton Granular Asphalt (BGA).....	20
Tabel 2.6	Jenis Asbuton Butir yang Telah Diproduksi.....	20
Tabel 2.7	Persyaratan Pengujian Aspal Modifikasi Polimer Elastomer	25
Tabel 2.8	Syarat Gradasi Untuk Berbagai Tipe Laston.....	27
Tabel 3.1	Jumlah Sampel Penelitian.....	41
Tabel 4.1	Syarat Pemeriksaan Aspal Keras	54
Tabel 4.2	Persyaratan Aspal Polimer	55
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Material Agregat	56
Tabel 4.4	Hasil Analisis Saringan Agregat	58
Tabel 4.5	Analisis Butiran BGA Sebelum Ekstraksi	60
Tabel 4.6	Analisis Butiran BGA Setelah Ekstraksi	60
Tabel 4.7	Pemeriksaan Bitumen Hasil Ekstraksi BGA	61
Tabel 4.8	Gradasi Gabungan	62
Tabel 4.9	Gradasi Gabungan Campuran Aspal Modifikasi BGA ..	67
Tabel 4.10	Gradasi Gabungan Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	68
Tabel 4.11	Nilai VIM Campuran Aspal Beton Murni	71

Tabel 4.12	Nilai VMA Campuran Aspal Murni	73
Tabel 4.13	Nilai Stabilitas Campuran Aspal Murni	74
Tabel 4.14	Nilai Stabilitas Campuran Aspal Murni	75
Tabel 4.15	Nilai <i>Marshall Quotient</i> Campuran Aspal Murni	76
Tabel 4.16	Nilai VIM Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	78
Tabel 4.17	Nilai VIM Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	79
Tabel 4.18	Nilai VMA Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	81
Tabel 4.19	Nilai VMA Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	81
Tabel 4.20	Nilai Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi 5%	83
Tabel 4.21	Nilai Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi 7%	83
Tabel 4.22	Nilai Kelelahan Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	85
Tabel 4.23	Nilai Kelelahan Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	85
Tabel 4.24	Nilai <i>Marshall Quotient</i> Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	87
Tabel 4.25	Nilai <i>Marshall Quotient</i> Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	87
Tabel 4.26	Nilai VIM Campuran Aspal P4-B5	91
Tabel 4.27	Nilai VIM Campuran Aspal P2-B7	91
Tabel 4.28	Nilai VMA Campuran Aspal P4-B5	93
Tabel 4.29	Nilai VMA Campuran Aspal P2-B7	93
Tabel 4.30	Nilai Stabilitas Campuran Aspal P4-B5	95
Tabel 4.31	Nilai Stabilitas Campuran Aspal P2-B7	95

Tabel 4.32 Nilai Kelelehan Campuran Aspal P4-B5	97
Tabel 4.33 Nilai Kelelehan Campuran Aspal P2-B7	97
Tabel 4.34 Nilai <i>Marshall Quotient</i> Campuran Aspal P4-B5	99
Tabel 4.35 Nilai <i>Marshall Quotient</i> Campuran Aspal P2-B7	99
Tabel 4.36 Perbandingan Nilai Stabilitas Campuran	102
Tabel 5.1 Nilai Kinerja Campuran Aspal Panas	103



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan infrastruktur yang berfungsi sebagai penghubung antara kawasan satu ke kawasan lainnya yang digunakan oleh masyarakat umum, serta dilewati oleh berbagai macam kendaraan bermotor. Sebagai infrastruktur yang digunakan oleh masyarakat umum, kualitas jalan diharapkan dapat memberikan kenyamanan bagi penggunanya. Oleh sebab itu diperlukan suatu struktur perkerasan jalan yang konstruksinya baik serta jauh dari kerusakan sehingga tidak menimbulkan guncangan yang dapat mengganggu kenyamanan penggunanya saat dilalui.

Di Indonesia, sebagian besar konstruksi jalan raya menggunakan tipe perkerasan lentur dengan aspal minyak sebagai bahan pengikat dan agregat serta *filler* atau pengisi campuran aspal. Kinerja optimum dari suatu lapisan perkerasan dapat dicapai melalui variasi campuran aspal dengan mengkombinasikan beberapa material yang masing-masing sifatnya saling menguatkan apabila telah disatukan di dalam suatu campuran.

Sebagai produk aspal alam, jenis aspal batu Buton (Asbuton) memiliki deposit lebih dari 300.000.000 ton atau terbesar dibanding deposit aspal alam lainnya di dunia. Kandungan aspal di dalam asbuton yang berbentuk BGA (*Buton Granular Asphalt*) diharapkan mampu mengurangi penggunaan aspal minyak dengan tidak mengurangi kualitas campuran perkerasan tersebut. Pertimbangannya adalah keberadaan serta harga aspal minyak selalu cenderung meningkat seiring dengan fluktuasi harga minyak bumi dunia yang meningkat (Madi Hermadi, 2009).

BGA telah digunakan di beberapa lokasi meski belum optimal pemanfaatannya. Penggunaan BGA sebagai *filler* dianggap dapat mengoptimasi kinerja campuran aspal karena merupakan salah satu produk olahan asbuton yang mengandung bahan aromatik dan resin tinggi sehingga dapat meningkatkan daya lekat (*anti stripping*) serta

meningkatkan kelenturan campuran yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan dengan batas fleksibilitas yang cukup untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan di luar rencana (Balitbang PU, 2009). Namun penelitian sebelumnya menyatakan bahwa sebagian besar sifat fisik dan keawetan bitumen asbuton kurang memenuhi sifat fisik dan keawetan aspal minyak sehingga diperlukan bahan pelunak yang berfungsi melunakkan bitumen asbuton sehingga akan mengubah sifat fisik dan keawetan bitumen asbuton mendekati aspal minyak Pen 60/70 (Erwan, Komala, Suyono, RS dkk, 2010).

Selain *filler*, keberadaan aditif dalam variasi campuran juga mampu mengoptimalkan kinerja campuran aspal. Salah satu aditif yang sering digunakan adalah *Styrene Butadiene Styrene* atau SBS yang berfungsi meningkatkan kinerja campuran aspal, meningkatkan nilai viskositas dan titik leleh campuran, mencegah retakan (*crack*), serta membuat campuran aspal tahan terhadap deformasi (J.-S. Chen, M.-C. Liao, H.-H. Tsai, 2002).

Dengan pertimbangan tersebut, penelitian ini disusun dengan tujuan untuk membuktikan bahwa penggunaan BGA dapat menambah kinerja campuran aspal dan untuk menguji apakah campuran aspal yang dimodifikasi dengan penggunaan BGA dan polimer memiliki kinerja yang lebih baik dari jenis campuran aspal panas konvensional.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penggunaan BGA terhadap kinerja campuran aspal panas untuk Lapis Aspal Beton dan pengaruh SBS terhadap kinerja campuran aspal dengan BGA.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian dibatasi untuk mencari pengaruh komponen pembentuk yang terkandung dalam BGA, baik sebagai *filler* maupun kontribusi kandungan aspalnya terhadap optimasi kinerja

campuran aspal panas. Spesifikasi campuran yang digunakan adalah Lapis Aspal Beton Tipe IV, Spesifikasi Bina Marga. Berikut lingkup dari penelitian ini :

1. Benda uji yang digunakan dalam penelitian

- Aspal yang digunakan adalah aspal minyak dengan penetrasi 60/70
- Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah maksimum 20 mm
- *Filler* yang digunakan adalah BGA maksimum 1.18 mm tipe 20/25
- Aditif yang digunakan adalah polimer SBS
- Agregat halus yang digunakan adalah jenis abu batu

2. Jenis pengujian yang dilakukan

a. Uji bahan dasar aspal

- 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

b. Uji bahan agregat

- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar
- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus
- Analisa Butiran (*Shieve Analysis*)

c. Uji kinerja campuran

- Analisa Campuran Agregat (*Blending*)
- *Marshall Test*

1.4 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Jenis campuran tipe Lapis Aspal Beton Tipe IV, Spesifikasi Bina Marga.
- Variasi BGA yang digunakan adalah 5% dan 7% dari total campuran beraspal.
- Aditif polimer yang digunakan adalah SBS dengan variasi kadar 2% dan 4% dari total campuran beraspal.
- Kinerja yang diukur adalah stabilitas, ketahanan friksi, kelelahan, dan Marshall Quotient.
- Pengujian Marshall setelah perendaman sampel menggunakan *waterbath*.
- Penelitian dititikberatkan pada hasil pengujian Marshall, tidak pada reaksi kimia yang terjadi pada saat penyampuran bahan.
- Penelitian hanya dilakukan di laboratorium, tidak dilakukan penelitian lapangan.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Pejelasan tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan batasan penelitian.

BAB 2 STUDI LITERATUR

Membahas tentang teori literatur tentang aspal terutama aspal pada Lapis Aspal Beton Tipe IV, Spesifikasi Bina Marga, teori tentang aspal yang terkandung dalam BGA, teori tentang aditif polimer SBS dan teori tentang pengujian-pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Menguraikan metode dan sistematika percobaan yang dilakukan dalam penelitian untuk mencari pengaruh kandungan aspal pada BGA yang digunakan sebagai *filler* dan pengaruh penggunaan aditif polimer SBS terhadap optimasi kinerja campuran aspal panas untuk Lapis Aspal Beton Tipe IV, Spesifikasi Bina Marga.

BAB 4 HASIL DAN ANALISIS

Berisi data awal spesifikasi material yang digunakan serta hasil pengujian di laboratorium terkait dengan pembuatan benda uji campuran aspal yang dimodifikasi dengan penggunaan BGA dan polimer SBS, sekaligus menganalisis hasil pengujian berupa nilai-nilai dari faktor penentu kinerja campuran aspal.

BAB 5 PENUTUP

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat digunakan dalam perbaikan-perbaikan selanjutnya.

1.6 Laboratorium Uji

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

BAB 2 STUDI LITERATUR

2.1 Campuran Aspal Panas (*Hotmix Asphalt*)

Perkerasan jalan adalah suatu struktur berlapis yang terdiri dari campuran beberapa material yang fungsi utamanya adalah untuk mendistribusikan sekaligus mereduksi beban kendaraan ke lapisan tanah dasar agar tidak melebihi kapasitasnya (O'Flaherty, C.A., 1973). Salah satu jenis konstruksi perkerasan jalan adalah perkerasan lentur (*flexible pavement*) yang pada umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapisan permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan bawahnya (Departemen Pekerjaan Umum, 1987). Umumnya perkerasan lentur jalan di Indonesia menggunakan campuran aspal panas (*hot mix*) dengan jenis lapis aspal beton atau biasa disebut laston.

Lapis Aspal Beton (*Laston*) adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu (SNI 03-1737-1989). Pembuatan Laston dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya. Selain itu, lapisan permukaan atau sering disebut lapisan aus harus tahan lama dari dampak lalu lintas maupun cuaca dan harus cukup halus agar ban mobil atau kendaraan yang lewat tidak cepat rusak atau tergelincir sehingga dapat memberikan kenyamanan dan keamanan yang tinggi kepada penggunanya. Lapisan aus merupakan agregat yang lebih halus dengan kadar aspal lebih tinggi dari lapisan lainnya.

Adapun beban-beban yang secara langsung ditanggung oleh perkerasan lentur adalah gaya vertikal yang merupakan berat dari

beban kendaraan, gaya horizontal dari gaya geser rem dan gaya getaran akibat pukulan roda.

2.2 Material Perkerasan Jalan

Material dasar pembentuk lapisan perkerasan lentur jalan adalah aspal dan agregat. Aspal berfungsi sebagai material pengikat agregat sedangkan agregat merupakan material dengan komposisi terbesar dalam suatu lapisan perkerasan jalan yang sifat butir-butir agregat dan gradasi agregatnya menentukan besarnya daya dukung dari suatu lapisan perkerasan. Selain aspal dan agregat, *filler* atau pengisi campuran aspal dan aditif juga merupakan material yang digunakan sebagai tambahan dalam campuran aspal yang berfungsi meningkatkan kinerja perkerasan jalan lentur.

2.2.1 Aspal

Aspal adalah material kental berwarna coklat gelap atau hitam dengan kelekatan tinggi yang komponen penyusun terbesarnya adalah bitumen yang terbentuk secara alami maupun dari hasil olahan minyak bumi (Young, J.Francis, 1998).

Aspal merupakan material yang pada suhu ruangan berbentuk padat sampai agak padat dan bersifat termoplastik. Aspal pada umumnya berbentuk koloid dan digunakan sebagai pelapis permukaan jalan raya. Aspal terdiri dari hidrokarbon dengan sedikit kandungan sulfur, oksigen, nitrogen dan unsur kimia lainnya. Kandungan unsur kimia tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis aspal dan proses pembuatannya. Namun, pada umumnya variasi komposisi unsur tersebut dalam aspal adalah sebagai berikut (Young, J.Francis, 1998) :

- Karbon : 80-87%
- Hidrogen : 9-11%
- Sulfur : 0.5-7%
- Nitrogen : 0-1%
- Oksigen : 2-8%
- Unsur lainnya : 0-0.5%

Jenis-jenis aspal berdasarkan asalnya, adalah sebagai berikut:

1. **Aspal alam**, yaitu material aspal tambang yang berasal dari alam. Jenis aspal alam antara lain :
 - i. Rock asphalt (aspal batu)
 - ii. Lake asphalt (aspal danau)

Salah satu jenis aspal alam yang terdapat di Indonesia adalah Aspal Batu Buton atau yang lebih sering disebut Asbuton. Asbuton adalah aspal alam yang terkandung dalam deposit batuan yang terdapat di Pulau Buton dan sekitarnya dengan jumlah deposit diperkirakan sebesar 350 juta ton dan dengan kadar aspal bervariasi antara 10% sampai dengan 40% (Gandhi, 2002). Asbuton memiliki sifat yang berbeda tergantung dari daerah penambangannya, yaitu di daerah Kabungka dan Lawele.

Tabel 2.1 Kandungan Mineral Asbuton Lawele dan Kabungka

Komposisi Mineral	Kandungan (%)	
	Lawele	Kabungka
CaCO ₃	72.9	86.66
MgCO ₃	1.28	1.43
CaSO ₄	1.94	1.11
CaS	0.52	0.36
H ₂ O	2.94	0.99
SiO ₂	17.06	5.64
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	2.31	1.52
Residu	1.05	0.96

Sumber : *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, pp. 857 - 867, 2005

Kandungan bitumen di daerah Lawele adalah sekitar 25-35% dan mengandung banyak silikat. Sedangkan asbuton di daerah Kabungka memiliki kadar bitumen sebesar 12-20% dan mengandung karbonat (Nuryanto Agus, 2009). Selain perbedaan kandungan bitumen, kandungan mineral dalam setiap asbuton ini pun berbeda, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Sedangkan salah satu contoh aspal danau yang paling terkenal adalah aspal danau Trinidad atau yang sering disebut *Trinidad Lake Asphalt*. Deposit aspal danau Trinidad ini merupakan yang terbesar di dunia.

2. **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 :

i. Bitumen/ aspal minyak

Merupakan aspal sisa hasil pengolahan minyak bumi (seperti nafta, bensin dan solar). Bitumen atau aspal minyak ini dihasilkan dengan memisahkan hasil olahan minyak bumi dipisahkan dari material lain dengan proses penyulingan fraksional yang biasanya dilakukan dalam kondisi vakum sehingga didapat material koloid berupa minyak yang biasa disebut bitumen.

ii. Tar/ aspal batu bara

Aspal jenis ini didapat dari hasil pembakaran batu bara yang disebut tar atau aspal batu bara.

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

1. Aspal Keras (Asphalt Cement/AC)

Aspal keras (Asphalt Cement/AC) adalah jenis aspal minyak yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan hampa udara, yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat. Beberapa persyaratan aspal keras antara lain adalah berasal dari hasil minyak bumi, kadar paraffin tidak melebihi 7%, tidak mengandung air dan tidak berbusa jika dipanaskan sampai 175 °C. Nilai persyaratan aspal tertera pada Tabel 2.2 :

Tabel 2.2 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>)	200	-	200	-	225	-	°C
Kehilangan Berat (<i>Thick Film Oven Test</i>)	-	0.8	-	0.8	-	0.1	% Berat
Kelarutan dalam CCl ₄	99	-	99	-	99	-	% Berat
Daktilitas	100	-	100	-	100	-	cm
Penetrasi setelah kehilangan berat	58	-	54	-	50	-	% Semula
Daktilitas setelah kehilangan berat	100	0	50	-	75	-	
Berat jenis 25 °C	1	-	1	-	1	-	Gr/Cc

Sumber : Pd T-2005-B, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, 2005

2. Aspal Cair

Aspal cair adalah aspal minyak yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair, terdiri dari aspal keras yang diencerkan dengan bahan pelarut. Beberapa persyaratan aspal cair adalah kadar paraffin tidak lebih dari 2%, tidak mengandung air dan jika dipakai tidak menunjukkan pemisahan atau penggumpalan.

Aspal cair dikelompokkan berdasarkan pengencernya, yaitu:

- i. Bila ditambahkan benzene dinamakan *Rapid Curing* (RC)
- ii. Bila ditambahkan kerosene dinamakan *Medium Curing* (MC)

iii. Bila ditambahkan minyak berat dinamakan *Slow Curing* (SC)

3. Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah suatu jenis aspal yang terdiri dari aspal keras, air, dan bahan pengemulsi, dimana pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair.

Aspal Emulsi dikelompokkan sebagai berikut:

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

2.2.2 Agregat

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

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan. Agregat adalah material dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi yang dipergunakan dalam pembuatan beton semen dan beton aspal (Somayaji, Shan, 2001).

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

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

Gradasi agregat dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk.

1. Agregat bergradasi baik

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

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

2. Agregat bergradasi buruk

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

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

Agregat dapat dibedakan berdasarkan proses terjadinya, pengolahan, ukuran butiran, dan bentuknya. Berdasarkan proses terjadinya, agregat dapat dibedakan atas :

1. Agregat beku (*igneous rock*)

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

2. Agregat sedimen (*sedimentary rock*)

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

3. Agregat metamorfik (*metamorphic rock*)

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

Berdasarkan pengolahannya, agregat dapat dibedakan atas:

1. Agregat siap pakai

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

2. Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai

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

Berdasarkan bentuknya, agregat dapat dibedakan menjadi:

1. Agregat bulat (*rounded*)

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

2. Agregat kubus (*cubical*)

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

3. Agregat lonjong (*elongated*)

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

4. Agregat pipih (*flaky*)

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

5. Agregat tak beraturan (*irregular*)

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

2.2.2.1 Agregat Kasar

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

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

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

2.2.2.2 Agregat Halus

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

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

2.2.3 *Filler*

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

Tabel 2.3 Syarat Gradasi Bahan Pengisi (*Filler*)

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

Sumber : SNI 03-1737-1989

Filler atau yang sering disebut bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu dan apabila dilakukan pemeriksaan analisa saringan secara basah, harus memenuhi gradasi yang tertera pada Tabel 2.3.

2.2.3.1 Asbuton Butir (*Buton Granular Asphalt*)

Aspal batu buton atau biasa disebut Asbuton ditemukan tahun 1924 di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara (Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum, 2009). Asbuton memiliki stabilitas perkerasan yang lebih tinggi dan juga lebih tahan retak akibat cuaca maupun lingkungan. Asbuton juga memiliki produk samping dengan manfaat besar seperti high oil, bentonit, mineral (fosfat dan kapur).

Terdapat dua jenis unsur utama dalam Asbuton, yaitu aspal (bitumen) dan mineral (Tabel 2.1). Setiap tipe asbuton memiliki persyaratan kelayakannya masing-masing. Persyaratan tersebut tertera pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Persyaratan Tipe Asbuton

Jenis Pengujian	Metode	Tipe 5/20	Tipe 15/20	Tipe 15/25	Tipe 20/25	Tipe 30/25
Kadar Bitumen Asbuton	SNI 03-3640-94	18-22	18-11	23-27	23-27	23-27
Ukuran Butir Asbuton (% lolos) :	SNI 03-1968-90	-	-	-	100	100
- No.4 (4.75 mm)		100	100	100	Min 95	Min 95
- No.8 (2.36mm)		Min 95	Min 95	Min 95	Min 75	Min 75
- No.16 (1.18mm)						
Kadar Air Asbuton (%)	SNI 06-2490-91	Mak 2	Mak 2	Mak 2	Mak 2	Mak 2
Penetrasi Bitumen Asbuton pada 25°C, 100 g, 5 detik (0.1 mm)	SNI 06-2456-91	= 10	10-18	10-18	19-22	28-32

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

Berikut ini merupakan beberapa penggunaan asbuton, yaitu:

- Sebagai bahan perkerasan/lapisan permukaan sebagai pengganti/mengurangi penggunaan aspal minyak.
- Asbuton Tile (Tegel Asbuton).
- Block Asbuton untuk trotoar.
- Pengekstraksi bitumen dari Asbuton.
- Pelapis bendung/embung agar kedap air.
- Cocok untuk konstruksi berat karena aspal hasil ekstraksi dari asbuton tidak mengandung parafin dan sedikit kadar sulfur sehingga kualitasnya lebih tinggi.

Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum, jenis-jenis asbuton yang telah diproduksi secara fabrikasi dan manual dalam tahun-tahun belakangan ini adalah:

a. Asbuton Butir

Asbuton butir atau yang dikenal dengan BGA (*Buton Granular Asphalt*) adalah salah satu produk aspal buton yang berbentuk butiran halus dengan ukuran maksimum 1.2 mm (lolos saringan 16) dengan kandungan bitumen sebesar $\pm 18-22\%$. Asbuton butir ini terdiri dari 2 jenis, yaitu:

1. Asbuton butir Kabungka (Asbuton yang ditambang dari area tambang Kabungka)
2. Asbuton butir Lawele (Asbuton yang ditambang dari area tambang Lawele)

Kedua jenis asbuton ini memiliki bentuk yang sama (seperti pasir) namun memiliki perbedaan sifat. Kabungka keras hampir mirip seperti pasir sedangkan Lawele lembek dan lengket mirip seperti tanah.

Menurut PT. Sarana Karya (Badan Usaha Milik Negara yang khusus mengolah aspal buton), BGA memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan aspal minyak biasa, yaitu penetrasi yang rendah, titik lembek yang tinggi dan karakteristik campuran hotmix yang baik. Berikut ini merupakan sifat-sifat teknis BGA, PT. Sarana Karya (Tabel 2.5).

Untuk Job Mix kedua material hampir sama. Keduanya harus dilakukan *combine grading* dengan agregat karena kedua material mengandung mineral. Jenis Asbuton berdasarkan besar butir dan kadar aspal yang dikandungnya dapat dibedakan seperti tertera pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Sifat-sifat Teknis Buton Granular Asphalt (BGA)

Uraian	Test/Metoda	Persyaratan
Penetrasi bitumen pada 25 °C, 1000 g, 5dt (dmm)	SNI 06-2456-1191	20-30
Kadar bitumen (%)	SNI 06-2438-1191	23-37
Kehilangan berat pada 100 °C, 10 jam	AASHTOO TP 1-90	Maks. 2
Titik lembek °C	SNI 06-2432-1191	Min. 60
Ukuran butiran maksimum (mm)	AASHTOO TP 30-78	1.18
Kadar air maksimum (%)	SNI 06-2490-1191	2

Sumber : Modifikasi Asbuton Dalam Konstruksi Jalan di Jabodetabek, PT. Sarana Karya, 2001

Tabel 2.6 Jenis Asbuton Butir yang Telah Diproduksi

Uraian	Jenis Asbuton/Merk Produksi						Satuan
	Konv.	Halus	Mikro	BRA	BGA	LGA	
Kadar Aspal	13-20	20	25	20	20-25	25-40	%
Kadar Air	> 6	6	2	< 2	< 2	< 2	%
Ukuran Butir maks.	12.5	4.75	2.36	1.18	1.18	9	mm
Kemasan	Curah	Ktg.	Ktg.	Krg.	Krg.	Krg.	-

Sumber : ASBUTON, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum, 2009

Hal-hal yang membedakan dan perlu diperhatikan pada saat *job mix* asbuton dengan *job mix* aspal minyak biasa adalah pada:

- 1) *Aggregate grading*
- 2) *Specific Gravity* Bitumen
- 3) Total Bitumen

- 4) *Surface area* yang lebih besar karena ukuran mineral asbuton yang kecil juga harus terselimuti aspal
- 5) *Bitumen film thickness*

Secara ekonomi, penggunaan BGA dalam campuran hotmix sebagai bahan substitusi bitumen dan juga sebagai filler dinilai sangat kompetitif karena dapat menghemat biaya bahan atau material campuran. Penggunaan BGA juga memberikan kekuatan daya tahan dan keawetan yang lebih baik sehingga akan memberikan multi efek yang sangat ekonomis dengan menambah *lifetime* dan mengurangi biaya pemeliharaan perkerasan jalan tersebut (PT. Sarana Karya, 2001).

b. Asbuton Murni Full Ekstraksi

Asbuton jenis ini merupakan bitumen murni hasil ekstraksi asbuton menggunakan beberapa cara, antara lain dengan bahan pelarut atau cara lain seperti menggunakan teknologi air panas. Asbuton murni hasil ekstraksi dapat digunakan langsung sebagai pengganti aspal keras atau sebagai bahan aditif yang akan memperbaiki karakteristik aspal keras. Mineral asbuton merupakan limbah dari proses ekstraksi. Selain dapat dimanfaatkan sebagai filler dapat juga digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah.

c. Asbuton Pra Campur (*pre-blended*)

Asbuton pra campur (*pre-blended*) merupakan gabungan antara Asbuton butir hasil *refine*/pemurnian Asbuton dengan kadar bitumen 60% sampai 90% dengan aspal minyak pen 60 dalam komposisi tertentu. Asbuton jenis ini dapat dikatakan sebagai aspal minyak yang dimodifikasi, sehingga dalam campuran dapat langsung digunakan untuk dicampur dengan agregat.

Beberapa aplikasi penggunaan BGA dalam proyekproyek peningkatan dan pemeliharaan di Jabodetabek sejak tahun 2000 adalah sebagai berikut :

- Proyek Pelapisan Ulang Jalan Tol Tangerang Merak, 2000
- Uji Gelar Tol, jagorawi dan Tol Jakarta-Cikampek, 2001
- Proyek Peningkatan Jalan Metro Duta, Pondok Indah, Jakarta, 2002
- Proyek Peningkatan Jalan Nangging-Curug, Bitung Tangerang, 2002
- Proyek Peningkatan Jalan Tebet Raya, Jakarta, 2003
- Proyek Peningkatan Jalan, Pondok Bahar, JL. By Pass, Jl. Tatakan, Banten, 2003
- Proyek Perkerasan Jalan GOR, Kab. Bogor, 2003
- Proyek Peningkatan Jalan Cikande-Balaraja-Banten, 2003

2.2.4 Polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*)

Polimer berasal dari kata “poli” yang berarti “banyak” dan “mer” yang berarti “unit”. Sedangkan polimer sendiri merupakan susunan rantai kimia yang berasal dari monomer-monomer yang terikat menjadi satu. Jumlah monomer yang menyusun polimer ini dapat berbeda-beda, sehingga panjang rantai yang terjadi pun dapat berbeda-beda. Hanya rantai dengan jumlah tertentu yang dapat digunakan dalam bitumen. Contohnya *polystyrene* yang terbentuk dari beberapa molekul *styrene* yang saling berhubungan (BP Bitumen, 2010).

Beberapa alasan penggunaan polimer dalam campuran aspal antara lain adalah sebagai berikut, (Yulianto, 2008) :

- a. Agar aspal / binder lebih lunak pada temperatur rendah sehingga mengurangi potensi *cracking*;

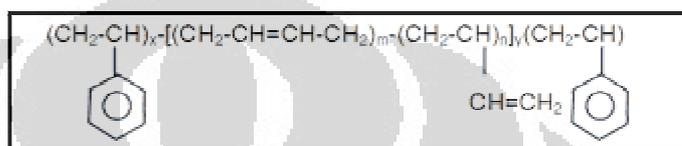
- b. Agar aspal / binder lebih kuat dan kaku pada temperatur tinggi sehingga mengurangi potensi deformasi;
- c. Mengurangi viskositas pada temperatur penghampanan;
- d. Meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran aspal;
- e. Meningkatkan ketahanan terhadap abrasi;
- f. Meningkatkan ketahanan lelah (*fatigue*) campuran beraspal;
- g. Meningkatkan daya tahan oksidasi dan penuaan campuran;

Aspal adalah bahan termoplastis, viscoelastic dan karenanya sangat terpengaruh oleh temperatur, frekuensi dan besarnya beban. Dengan melakukan aspal modifikasi diharapkan mampu memperbaiki kelemahan dan kekurangan aspal normal, menambah kemampuan aspal terhadap pengaruh temperatur dengan meningkatkan titik leleh atau mendorong Indek Penetrasi kearah positif atau menambah kelengketan. Analisa sementara menunjukkan dua faktor ini yang harus paling diperhatikan untuk spesifikasi aspal modifikasi untuk pemakaian di Indonesia. Beberapa penelitian telah dilakukan menyatakan manfaat polimer (Lewandowski, LH, 1994; Wardlaw K.R., 1992) antara lain meningkatkan titik leleh, menurunkan penetrasi, meningkatkan viskositas. Dengan kemampuan tersebut peningkatan kualitas aspal dimodifikasi dengan bahan polimer akan meningkatkan kinerjanya. Dari berbagai jenis modifikasi, polimer merupakan bahan menjanjikan hanya saja jenis yang tepat untuk aspal semen masih sedikit (Lu, 1999 ;S.S. Awanti; M.S.Amarnath;A. Veeraragavan, 2008).

Terdapat dua jenis polimer yang digunakan dalam modifikasi campuran aspal, yaitu *Elastomer* dan *Plastomer*. Elastomer adalah suatu polimer yang mempunyai kelenturan (karet) dan ikatan samping yang besar dalam strukturnya, sedangkan plastomer adalah suatu

polimer yang dapat berubah bentuk menjadi plastis pada suhu leleh dan berubah menjadi keras dan kaku pada suhu rendah.

Elastomer merupakan jenis polimer yang kerap digunakan dalam modifikasi campuran aspal. Salah satu contoh elastomer adalah polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*). Polimer SBS merupakan salah satu contoh elastomer yang terdiri dari 2 blok stirena dan 1 blok butadiene (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Struktur Ikatan Kimia Polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*)

Sumber : *Introduction to Polymer Science*, Case Western University 2004

Pada struktur ikatan kimia ini, blok stirena pada bagian terluar ikatan menghasilkan sifat termoplastik sedangkan blok butadiena di bagian tengah ikatan menghasilkan sifat elastomerik. Hal inilah yang menyebabkan polimer SBS bersifat seperti karet elastomer pada suhu ruang tetapi ketika dipanaskan dapat bersifat seperti plastik.

2.2.5 Aspal Modifikasi Polimer (AMP)

Aspal yang sudah ditambahkan dengan polimer biasa disebut dengan sebutan aspal modifikasi. 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).

Sifat-sifat yang diinginkan pada aspal yang sudah dimodifikasi dengan polimer adalah (Ws, Tjitjik 2001) :

- 1) Titik lembek; 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.

Aspal yang sudah dimodifikasi dengan polimer harus memenuhi persyaratan seperti pada Tabel 2.7 :

Tabel 2.7 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	Min. 1
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 Ethylen, % berat	RSNI M-04-2004	Min. 99
8	Penurunan Berat (dengan RTFOT), berat Perbedaan Penetrasi setelah RTFOT, % asli	SNI 06-2440-1991	Max. 1
9	1. Kenaikan Penetrasi 2. Penurunan Penetrasi	SNI 06-2456-1991	Max. 10 Max. 40
10	Perbedaan Titik lembek setelah RTFOT, % asli 1. Kenaikan Titik Lembek 2. Penurunan Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	Max. 6.5 Max. 2
11	Elastic Recovery residu RTFOT, %	AASHTO T301-95	Min. 45

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum 2005 Spesifikasi Umum Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.3 Laston

Laston (lapisan aspal beton) adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal pula dengan nama AC (*Asphalt Concrete*). Menurut Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen, Departemen Pekerjaan Umum Tahun 1987, laston merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal keras, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Adapun syarat gradasi untuk berbagai tipe laston dapat dilihat pada Tabel 2.8.

2.4 *Marshall Test*

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

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

Tabel 2.8 Syarat Gradasi Untuk Berbagai Tipe Laston

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

Sumber : Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya-Departemen Pekerjaan Umum, 1989.

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

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

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

Pada dasarnya, untuk mengetahui kinerja dari campuran aspal yang digunakan pada struktur perkerasan jalan, faktor-faktor yang harus diperhatikan sangat banyak, di antaranya:

- *Stability*
- *Durability*
- *Flexibility*
- *Fatigue Resistance: Thick Layers; Thin Layers*
- *Fracture Strength: Overload Conditions; Thermal Conditions*

- *Skid Resistance*
- *Impermeability*
- *Workability*

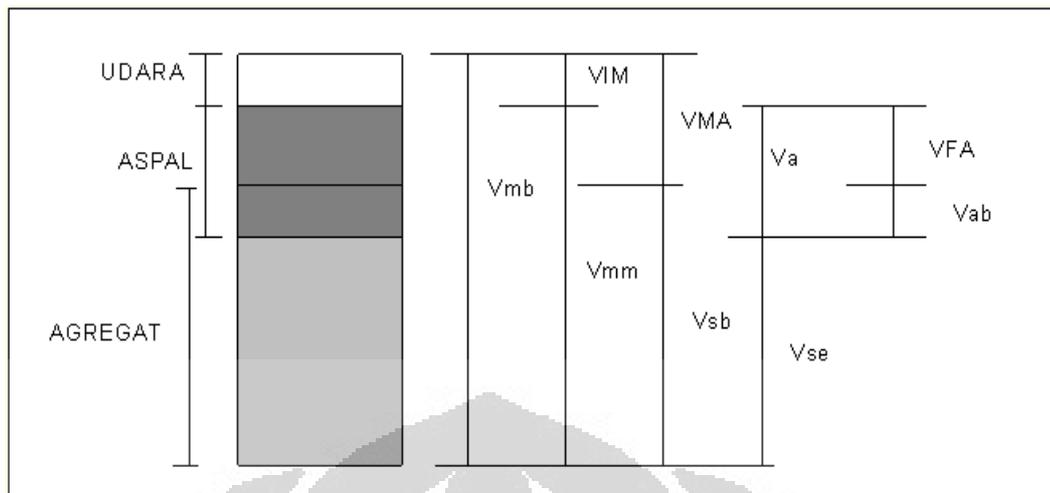
Akan sangat sulit mencari metode pengujian yang dapat meneliti semua faktor tersebut hanya dalam satu cara. Tetapi sebagian besar dari faktor-faktor tersebut dapat diuji dengan menggunakan alat Marshall. Hasil yang diperoleh dari pengujian dengan alat Marshall, antara lain:

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

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.

Rongga udara dalam campuran (VIM) adalah rongga udara dalam campuran beraspal yang terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal.

Perbedaan antara VMA dan VIM dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema Volume Campuran Aspal

Sumber : Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman, 2003

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)

V_{ma} = volume pori di antara butir agregat di dalam beton aspal padat

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

V_{IM} = volume pori dalam beton aspal padat

V_a = volume aspal dalam beton aspal padat

V_{FA} = volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal

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

Marshall Quotient (MQ) adalah hasil bagi dari nilai stabilitas (ketahanan) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal.

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).

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas (O)}}{\text{Kelelahan (R)}} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.5 Penelitian-penelitian Sebelumnya

1. Penggunaan Buton Lake Asphalt di dalam Campuran Beraspal Panas (Kurniadji dkk, Puslitbang Prasarana Transportasi, 2002)

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*, resin, dan minyak.

Keberadaan *asphaltene* ditandai dengan kandungan *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.

2. Sifat Campuran Beraspal Panas Dengan Asbuton Butir (Furqon Affandi, Puslitbang Jalan dan Jembatan, 2009)
 - Daya lekat (*cohesiveness*) dari campuran beraspal dengan asbuton butir, lebih rendah dari pada campuran dengan aspal minyak pen 60.
 - Campuran beraspal dengan asbuton butir, lebih rapuh (*brittle*) dibandingkan dengan campuran beraspal panas dengan aspal minyak pen 60.
 - Daya tahan akibat pengaruh air terhadap kohesi atau kekuatan campuran beraspal dengan asbuton butir, lebih rendah dari campuran dengan aspal minyak pen 60.
 - Campuran beraspal dengan asbuton butir, lebih tahan terhadap deformasi permanen dibandingkan campuran beraspal panas dengan aspal minyak.

- *Stiffness modulus* campuran dengan asbuton butir, lebih tinggi dibandingkan stabilitas campuran dengan aspal minyak, dan tidak begitu sensitif akibat perubahan temperatur.
- Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) campuran beraspal dengan asbuton butir, lebih rendah dari campuran beraspal dengan aspal minyak.
- Campuran dengan asbuton butir, mempunyai banyak kelemahan dibanding campuran dengan aspal minyak.

3. Pengaruh Penambahan Asbuton Butir Terhadap Karakteristik Beton Aspal Campuran Panas (Madi Hermadi, 2007)

Pengaruh penambahan asbuton butir terhadap karakteristik campuran beraspal panas adalah sebagai berikut:

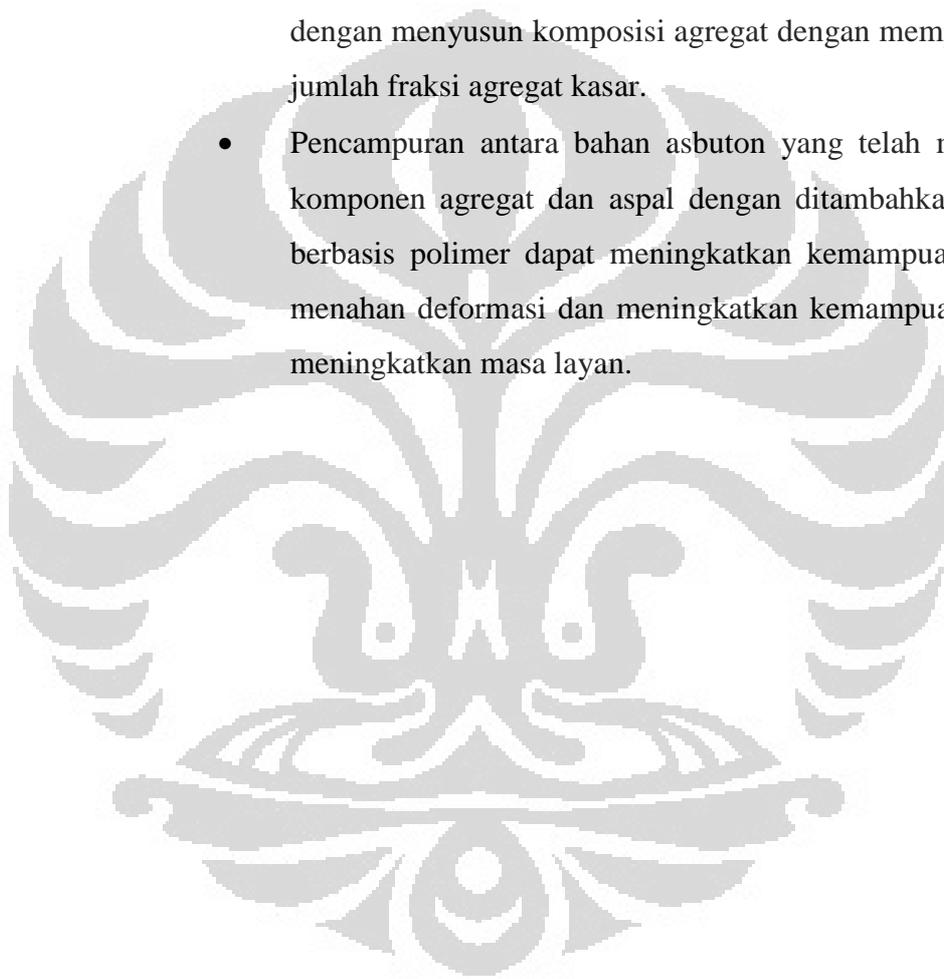
- Makin tinggi kadar asbuton butir akan menyebabkan makin tinggi kadar aspal optimum campuran.
- Makin tinggi kadar Asbuton Butir akan menyebabkan makin tinggi nilai Stabilitas Marshall campuran beraspal (optimum pada 7% asbuton butir) yang berarti makin tahan terhadap beban lalu lintas.
- Kadar Asbuton Butir 7% menghasilkan nilai Hasil Bagi Marshall campuran beraspal tertinggi dibanding dengan kadar Asbuton Butir lainnya.
- Makin tinggi kadar Asbuton Butir akan menyebabkan makin tinggi nilai Stabilitas Dinamis campuran beraspal (optimum pada 7% Asbuton Butir) yang berarti campuran beraspal makin tahan terhadap kerusakan deformasi.
- Hasil analisis Korelasi Parsial menunjukkan bahwa antar kadar Asbuton Butir, nilai penetrasi, nilai Titik Lembek, nilai *density* dan nilai stabilitas, satu sama lain saling mempengaruhi secara signifikan.

4. Peningkatan Kinerja Campuran Beraspal dengan Karet Alam dan Karet Sintetis (Tjitjik Wasiah Suroso, 2007)

- Penambahan aspal plus karet sintetis menaikkan titik lembek lebih tinggi (61°C) dari aspal plus karet alam. ($52,2^{\circ}\text{C}$), sehingga aspal plus karet sintetis akan lebih tahan terhadap terjadinya alur dan gelombang. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian stabilitas dinamis dan kecepatan deformasi di laboratorium, aspal karet sintetis lebih baik dari aspal plus karet alam.
- Aspal plus karet alam mampu memperbaiki retak yang terjadi dan sampai dengan umur pengamatan 20 bulan masih berfungsi dengan baik.
- Indeks pengerasan aspal yang dinyatakan dengan perbandingan antara penetrasi aspal sebelum pemanasan dan penetrasi aspal setelah pemanasan, aspal plus karet sintetis lebih kecil dari aspal plus karet alam, hal ini menunjukkan ketahanan aspal plus karet sintetis terhadap panas lebih baik dari aspal plus karet alam.
- Ketahanan terhadap terjadinya alur (31%) aspal plus karet sintetis lebih tahan dibandingkan dengan aspal plus karet alam (69 %).
- Kedalaman tekstur Aspal plus karet alam pada umur 18 bulan lebih besar dari aspal konvensional, demikian juga penurunan besarnya lendutan campuran beraspal lebih besar dari aspal konvensional. Dengan demikian lalu lintas padat dan berat penggunaan karet alam sebagai bahan tambah tidaklah begitu menaikkan kinerja perkerasan jalan. Namun yang menonjol penggunaan karet alam adalah dalam menanggulangi terjadinya retak.

5. Penggunaan Asbuton Modifikasi Pada Perkerasaan Lentur Jalan untuk Lapisan Permukaan (Martina, Nunung, Heddy RA, 2010)

- Penggunaan bahan alam asbuton dapat ditingkatkan dan dimanfaatkan dengan lebih optimal dengan menambah kandungan aspal yang memiliki ikatan lebih baik melalui penambahan unsur polimer.
- Perbaikan campuran aspal beton HRS dapat dilakukan dengan menyusun komposisi agregat dengan memperbesar jumlah fraksi agregat kasar.
- Pencampuran antara bahan asbuton yang telah memiliki komponen agregat dan aspal dengan ditambahkan bahan berbasis polimer dapat meningkatkan kemampuan untuk menahan deformasi dan meningkatkan kemampuan untuk meningkatkan masa layan.



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Rencana Penelitian

Penelitian dilakukan pada campuran aspal panas dengan menggunakan pengikat aspal penetrasi 60/70. Penelitian dilakukan dalam dua tahap, yaitu:

- Pekerjaan persiapan dan pemeriksaan kelayakan bahan yang akan digunakan
- Pembuatan benda uji dan pemeriksaan kinerja campuran aspal

Pada tahap pertama, dilakukan persiapan material yang akan digunakan. Material yang dipersiapkan antara lain aspal dan agregat untuk membuat benda uji serta BGA yang digunakan sebagai *filler*. Setelah semua material terkumpul, maka akan dilakukan pengujian standar untuk material tersebut. Untuk material aspal 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
- 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
- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus
- Abrasi dengan mesin Los Angeles
- Analisa Butiran (*Sieve Analysis*)

Setelah pemeriksaan terhadap material selesai dilakukan, data yang diperoleh akan dibandingkan dengan spesifikasi. Jika material tersebut tidak memenuhi standar, maka akan dilakukan pemeriksaan ulang. Pengujian ini akan dilakukan terus sampai diperoleh material yang memenuhi spesifikasi. Jika material telah memenuhi spesifikasi, maka dapat dilanjutkan dengan pembuatan benda uji.

Sebelum benda uji dibuat, terlebih dahulu dilakukan penghitungan terhadap nilai Formula Campuran Rancangan (FCR), dengan rumus :

$$P_b = 0,035 (\% \text{ CA}) + 0,045 (\% \text{ FA}) + 0,18 (\% \text{ Filler}) + \text{Konstanta} \dots (3.1)$$

dengan :

P_b = kadar aspal perkiraan/tengah/ideal

CA = agregat kasar tertahan saringan No. 8

FA = agregat halus lolos saringan No. 8 tertahan No. 200

Filler = agregat halus tertahan saringan No. 200

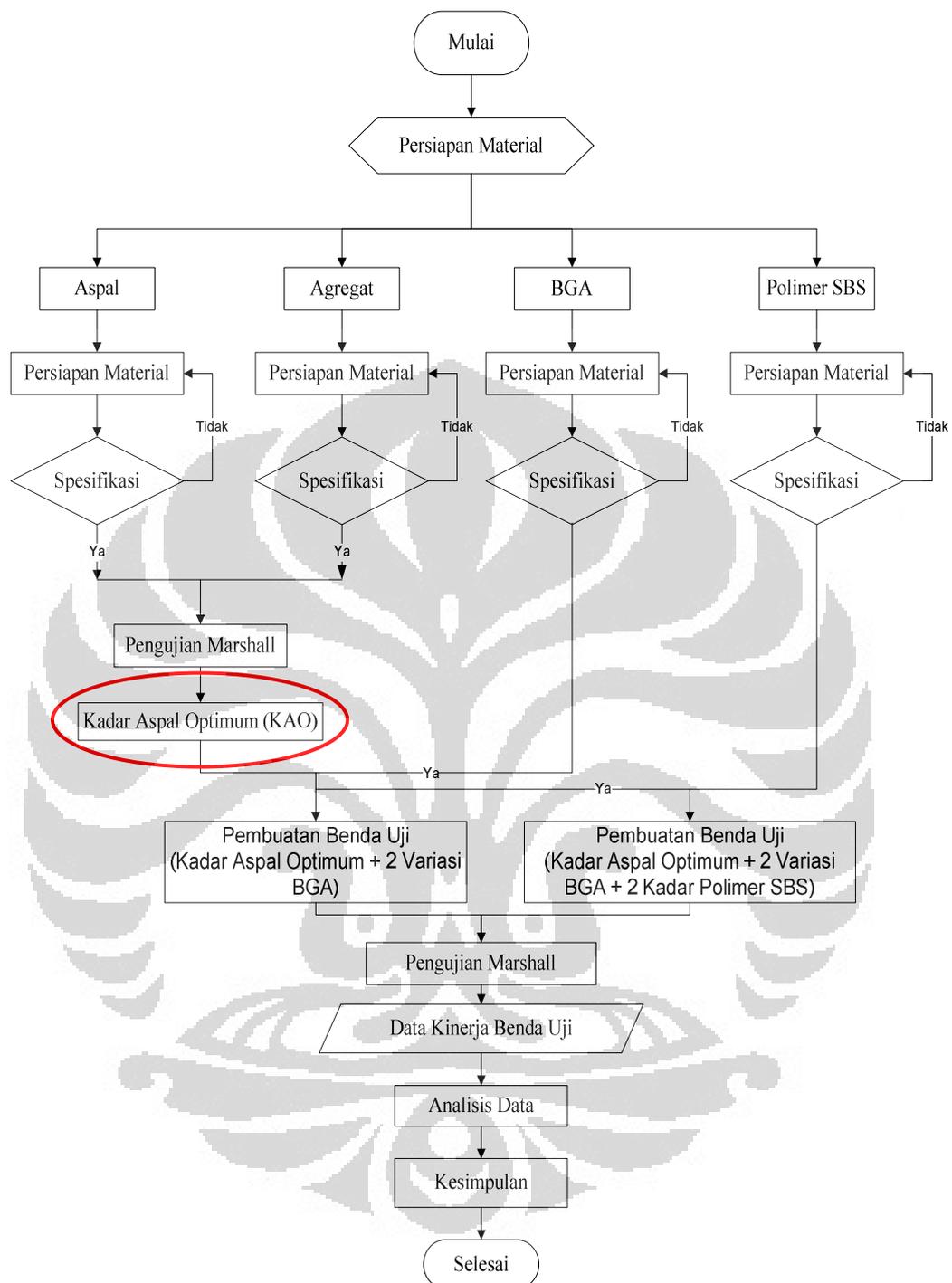
Nilai Konstanta sekitar 0,5 - 1,0 untuk laston

FCR ini merupakan persamaan yang diperoleh dari Pd-T-04-2005-B (Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 2005) yang digunakan untuk mencari kadar aspal tengah atau ideal. Kadar aspal yang diperoleh dari rumus di atas dibulatkan mendekati 0.5% terdekat. Sedangkan 5 variasi kadar aspal yang akan digunakan dalam penelitian adalah dua kadar aspal kurang dari nilai kadar aspal tengah, dan dua kadar aspal yang lebih besar dari nilai kadar aspal tengah. Sehingga apabila kadar aspal tengah adalah a%, maka benda uji dibuat untuk kadar aspal (a-1)%, (a-0,5)%, a%, (a+0,5)%, dan (a+1)%.

Setelah perhitungan dilakukan, dimulai pembuatan benda uji sesuai dengan kadar-kadar aspal yang diperoleh. Pada penelitian ini pembuatan benda uji dengan variasi kadar BGA dan polimer SBS tidak dibuat secara konvensional yaitu dengan menggunakan kadar aspal optimum (Gambar 3.1) tetapi semua kadar yang diperoleh dari formula campuran rancangan (Pb). Hal ini dilakukan karena peneliti ingin mengetahui nilai kinerja campuran aspal dari seluruh sampel dan mengetahui kombinasi campuran mana yang paling baik serta membuktikan apakah benda uji dengan kadar aspal optimum lebih baik daripada sampel dengan kadar aspal yang lain.

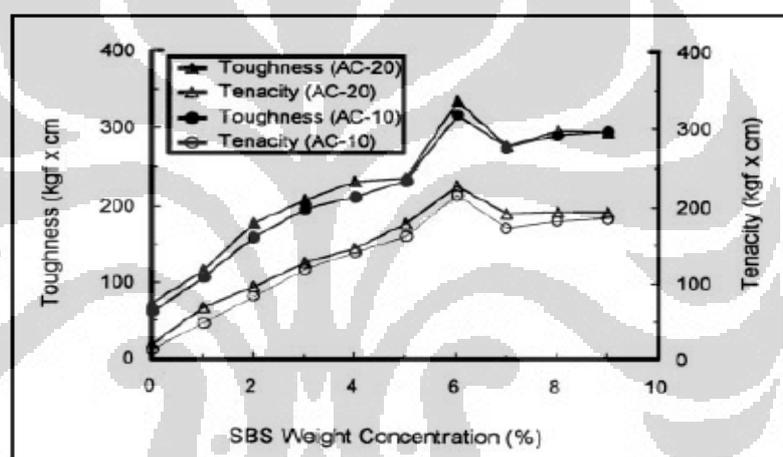
Sehingga apabila ditinjau dari jenis campurannya, benda uji yang dibuat pada penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Benda uji dengan 5 variasi kadar aspal dengan kadar BGA 0% dan polimer 0%
2. Benda uji dengan 5 variasi kadar aspal, 2 variasi kadar BGA (5%, 7%) dan kadar polimer 0%
3. Benda uji dengan 5 variasi kadar aspal, 2 variasi kadar BGA (5%, 7%) dan 2 variasi kadar polimer (2%, 4%)



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian Konvensional

Kadar BGA 5% yang digunakan pada penelitian ini dipilih setelah melakukan proses *trial and error* terhadap seluruh komposisi agregat (agregat kasar, agregat medium dan agregat halus) beserta BGA dari kadar 1-10%. Proses ini dilakukan sampai akhirnya komposisi seluruh fraksi agregat beserta BGA menghasilkan nilai gradasi gabungan yang masuk ke dalam spek campuran tipe Laston Tipe IV dan/atau mendekati nilai tengah spek tersebut. Sedangkan kadar BGA 7% dipilih karena merupakan kadar BGA yang paling sering digunakan untuk campuran aspal panas pada proyek pembangunan serta perbaikan jalan di Jabodetabek.



Gambar 3.2 Kekuatan dan Ketahanan Campuran Aspal dan SBS

Sumber : *Evaluation And Optimization Of The Engineering Properties Of Polymer-Modified Asphalt*, J.-S. Chen, M.-C. Liao, and H.-H. Tsai, 2002

Penggunaan variasi kadar polimer 2% dan 4% pada penelitian ini mengacu pada penelitian oleh J.-S. Chen, M.-C. Liao, and H.-H. Tsai dengan judul *Evaluation And Optimization Of The Engineering Properties Of Polymer-Modified Asphalt* (2002) yang menggunakan variasi SBS 0-9% dan memperoleh hasil bahwa kinerja campuran aspal meliputi kekuatan dan ketahanannya meningkat seiring dengan meningkatnya penggunaan polimer SBS (Gambar 3.2). Pada umumnya, kadar polimer maksimal yang digunakan pada campuran aspal adalah 2%. Mengingat faktor ekonomi dan juga faktor teknis yaitu apabila polimer yang

digunakan dalam campuran lebih dari 2% maka aspal yang digunakan akan menjadi kaku sehingga sulit untuk digunakan sebagai bahan pengikat, maka penelitian ini hanya menggunakan dua kadar polimer, yaitu 2% dan 4%.

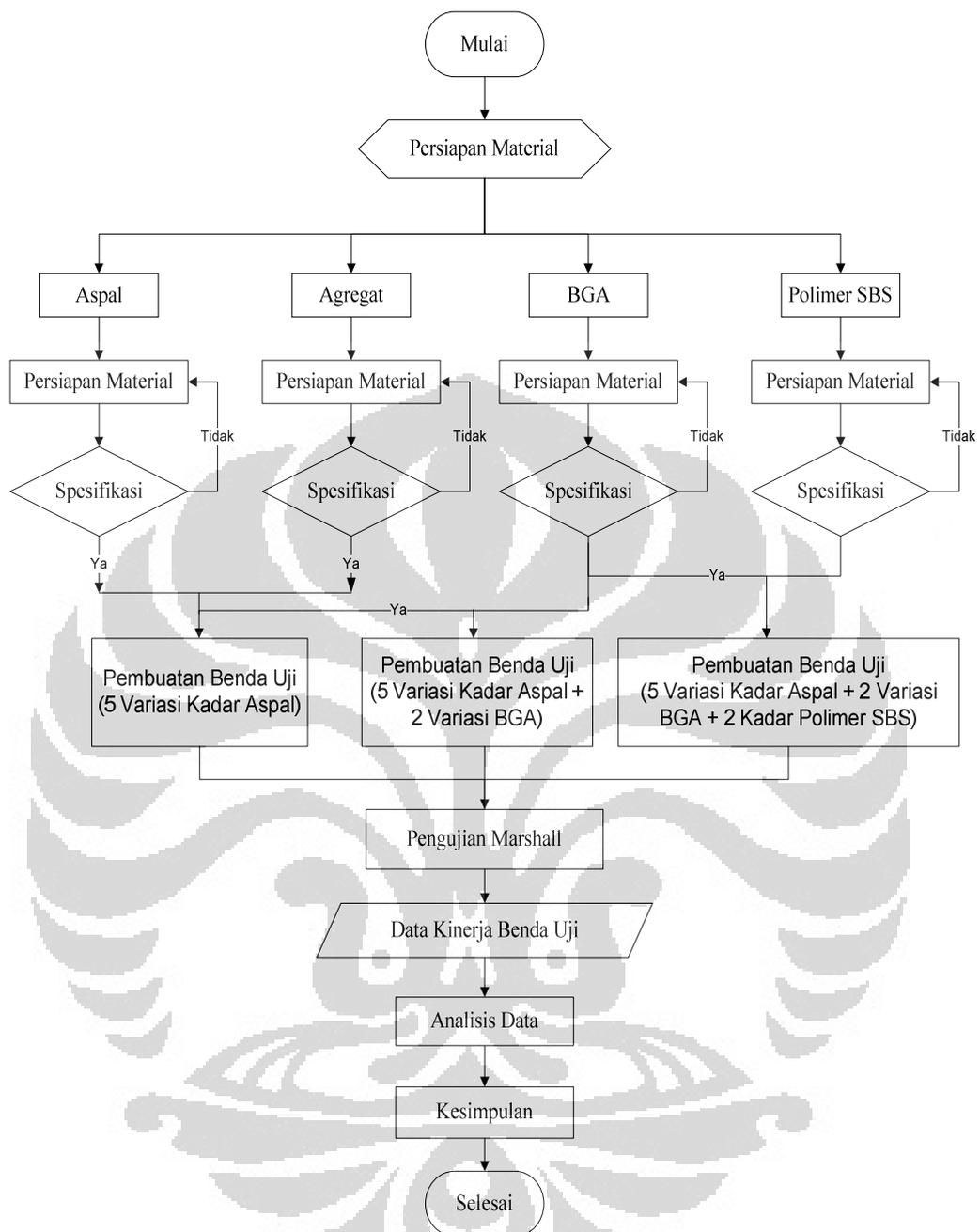
Untuk setiap proses dan variasi dalam pengujian campuran aspal digunakan masing-masing 3 benda uji yang kemudian hasil pengujiannya akan dirata-ratakan. Jumlah seluruh benda uji yang dibutuhkan tertera pada Tabel 3.1:

Tabel 3.1 Jumlah Sampel Penelitian

No.	Kadar Polimer (%)	Kadar Aspal (%)	Kadar BGA (%)		
			0	5	7
1.	0	- 1.0	3	3	3
2.		- 0.5	3	3	3
3.		Pb	3	3	3
4.		+ 0.5	3	3	3
5.		+ 1.0	3	3	3
6.	2	- 1.0	3	3	3
7.		- 0.5	3	3	3
8.		Pb	3	3	3
9.		+ 0.5	3	3	3
10.		+ 1.0	3	3	3
11.	4	- 1.0	3	3	3
12.		- 0.5	3	3	3
13.		Pb	3	3	3
14.		+ 0.5	3	3	3
15.		+ 1.0	3	3	3

∴ Total benda uji = 135 benda uji

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian

Semua benda uji hanya akan diuji dengan 1 macam pengujian, yaitu *Marshall Test* yang akan menghasilkan data-data mengenai kinerja campuran aspal untuk tiap kadar aspal dengan kadar BGA yang berbeda, yaitu 5%, dan 7% dan variasi kadar polimer 2% dan 4% dari total campuran beraspal. Data kinerja campuran aspal ini kemudian akan dibandingkan satu sama lain untuk mengetahui pengaruh BGA (sebagai *filler*) dan juga aditif polimer yang ada di dalam campuran aspal tersebut.

3.2 Pelaksanaan

3.2.1 Bahan Baku Penelitian

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

- Aspal
 - Merk : Aspal Minyak Penetrasi 60/70
- Agregat Halus
 - Tipe : Abu batu
 - Ukuran : 0,075 mm – 4,75 mm
 - Berat Jenis : minimum 2600 kg/m³
- Agregat Kasar
 - Tipe : Batu Pecah (*Split*)
 - Ukuran : maksimum 20 mm
 - Berat Jenis : minimum 2600 kg/m³
- Buton Granular Asphalt
 - Tipe : 20/25
 - Ukuran : 1.18 mm – 4.75 mm
- Polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*)

3.2.2 Standar Pengujian

Dalam penelitian di laboratorium dilakukan pemeriksaan bahan-bahan pembentuk Laston. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar, pengujian terhadap material

aspal, serta pengujian terhadap aspal keras/laston. Beberapa metode standar yang digunakan, antara lain:

a) Metode Standar untuk Pengujian Material Aspal

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal (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 ada dalam rencana

penelitian. Pembuatan benda uji bagian pertama adalah campuran aspal panas dengan kombinasi 5 variasi kadar aspal, 0% BGA dan 0% aditif polimer SBS. Pembuatan benda uji bagian kedua adalah campuran aspal panas dengan kombinasi 5 variasi kadar aspal, 2 variasi kadar BGA dan 0% aditif polimer SBS. Sedangkan pembuatan benda uji bagian ketiga adalah campuran aspal panas dengan kombinasi 5 variasi kadar aspal, 2 variasi kadar BGA dan 2 variasi kadar aditif polimer SBS.

Proses pencampuran bahan untuk tiap benda uji adalah sebagai berikut :

Untuk tiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $6,25 \text{ cm} \pm 0,125$ ($2,5'' \pm 0,05''$). Panci pencampur beserta agregat dipanaskan kira-kira $\pm 28^\circ\text{C}$ diatas suhu pencampur untuk aspal panas dan aduk sampai merata. Sementara itu, aspal dipanaskan sampai suhu antara $140^\circ\text{C} - 160^\circ\text{C}$ dan kemudian dituangkan sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan tersebut. Kemudian campuran tersebut diaduk dengan cepat sampai agregat terlapis rata dan kemudian BGA dituang ke dalam campuran tersebut dan diaduk selama ± 45 detik.

Untuk campuran yang menggunakan aditif polimer SBS memiliki prosedur pencampuran yang berbeda pada bagian pemanasan aspal. Saat pemanasan aspal berlangsung dan suhu aspal mencapai sekitar $150-180^\circ\text{C}$, aditif polimer SBS ditambahkan sedikit demi sedikit sambil diaduk menggunakan bantuan alat dengan kecepatan ± 3000 rpm selama 2 - 2.5 jam. Selama pengadukan berlangsung, suhu aspal harus dijaga agar tetap pada rentang tersebut.

Sedangkan prosedur pemadatan benda uji adalah sebagai berikut :

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

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

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

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

Sesudah pemadatan, lepaskan keping alas dan pasanglah alat pengeluar benda uji pada permukaan ujung ini. Dengan hati-hati keluarkan dan letakkan benda uji diatas permukaan rata yang halus, biarkan selama kira-kira 24 jam pada suhu ruang.

3.2.4 Tahap Pengujian Benda Uji

Pada tahap ini, dilakukan pengujian terhadap benda uji dengan menggunakan alat Marshall. Pengujian ini dilakukan pada semua benda uji dengan tujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (flow) dari campuran aspal.

Prosedur :

- a. Bersihkan benda uji dari kotoran-kotoran yang menempel
- b. Berilah tanda pengenal pada masing-masing benda uji

- c. Ukur benda uji dengan ketelitian 0,1 mm
- d. Timbang benda uji
- e. Rendam kira-kira 24 jam pada suhu ruang
- f. Timbang dalam air untuk mendapatkan isi
- g. Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh
- h. Rendamlah benda uji dalam kondisi aspal panas atau ter dalam bak perendam selama 30 sampai 40 menit atau dipanaskan didalam oven selama 2 jam dengan suhu tetap $(60 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ untuk benda uji aspal panas dan $(38 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ untuk benda uji tar.
- i. Untuk benda uji aspal dingin masukkan benda uji kedalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap $(25 \pm 1)^{\circ}\text{C}$.
- j. Sebelum melakukan pengujian bersihkan batang penuntun (*guide rod*) dan permukaan dalam dari kepala penekan (*test heads*). Lumasi batang penuntun sehingga kepala penekan yang atas dapat meluncur bebas, bila dikehendaki kepala penekan direndam bersama-sama benda uji pada suhu antara 21 sampai 38°C . Keluarkan benda uji dari bak perendam atau dari oven pemanas udara dan letakkan kedalam segmen bawah kepala penekan. Pasang segmen atas diatas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji. Pasang arloji kelelahan (*flow meter*) pada kedudukannya diatas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan (*breaking head*). Tekan selubung tangkai arloji kelelahan tersebut pada segmen atas dari kepala penekan selama pembebanan berlangsung.

- k. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji. Atur kedudukan jarum arloji tekan pada angka nol.
- l. Berikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan tetap sebesar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurut seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum yang dicapai.
- m. Lepaskan selubung tangkai arloji kelelahan (*sleeve*) pada saat pembebanan mencapai maksimum dan catat nilai kelelahan yang ditunjukkan oleh jarum arloji. Waktu yang diperlukan dan saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.

3.3 Tahap Analisa dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian dengan alat Marshall, maka akan diperoleh data mengenai kinerja dari campuran aspal berupa persentase rongga dalam campuran, persentase rongga dalam agregat, stabilitas Marshall, kelelahan, dan Marshall Quotient. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan perbandingan kualitas kinerja antar sampel dengan variasi BGA dan juga dengan variasi polimer SBS.

3.4 Tahap Kesimpulan dan Saran

Setelah data mengenai kinerja campuran aspal dari seluruh sampel diperoleh dan dibandingkan, maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan yang kemudian dilanjutkan dengan pemberian usulan.

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

4.1 Pengujian Material Dasar Campuran Aspal Panas

4.1.1 Pengujian Material Aspal

Pengujian standar material aspal pada penelitian ini terdiri dari 7 (tujuh) jenis uji. Ketujuh jenis uji dilakukan pada setiap bahan aspal yang digunakan sebagai pengikat, yaitu aspal miyak penetrasi 60/70 dan aspal modifikasi polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*) dengan kandungan SBS 2% dan 4%. Uji bahan tersebut adalah :

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Metode yang digunakan dalam pemeriksaan nilai penetrasi aspal adalah metode yang berdasarkan pada SNI 06-2456-1991 tentang Metode Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Pemeriksaan nilai penetrasi ini bertujuan untuk mendapatkan angka penetrasi pada aspal keras atau lembek. Angka penetrasi menunjukkan konsistensi aspal yang selanjutnya dapat digunakan dalam pekerjaan pengendalian mutu aspal dan untuk pembangunan atau pemeliharaan jalan (SNI 06-2456-1991).

Pemeriksaan dilakukan pada kondisi sebelum dan setelah kehilangan berat minyak. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa rata-rata nilai penetrasi dari setiap tipe aspal sebelum kehilangan minyak adalah sebagai berikut :

- Aspal Minyak Penetrasi 60/70 : 62,8
- Aspal Modifikasi SBS 2% : 53.3
- Aspal Modifikasi SBS 4% : 51.7

Sedangkan rata-rata nilai penetrasi penetrasi dari setiap tipe aspal setelah kehilangan minyak adalah sebagai berikut :

- Aspal Minyak Penetrasi 60/70 : 56
- Aspal Modifikasi SBS 2% : 43.6
- Aspal Modifikasi SBS 4% : 46.8

2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

Pemeriksaan yang mengacu pada SNI-06-2434-1991 ini bertujuan untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30°C sampai 200°C (Gambar 4.2).



Gambar 4.2 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa nilai titik lembek dari setiap tipe aspal adalah :

- Aspal Minyak Penetrasi 60/70 : 49°C
- Aspal Modifikasi SBS 2% : 55°C
- Aspal Modifikasi SBS 4% : 90°C

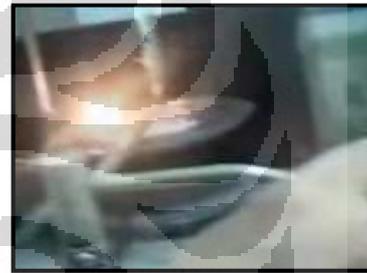
3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Tujuan dari pemeriksaan yang mengacu pada SNI-06-2433-1991 ini 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 (Gambar 4.3 a dan 4.3 b) Setelah melakukan pemeriksaan, nilai titik nyala dari setiap tipe aspal adalah :

- Aspal Minyak Penetrasi 60/70 : 320 °C
- Aspal Modifikasi SBS 2% : 324 °C
- Aspal Modifikasi SBS 4% : 310 °C



(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Titik Nyala; (b) Titik Bakar

Sedangkan nilai titik bakar yang diperoleh adalah :

- Aspal Minyak Penetrasi 60/70 : 326 °C
- Aspal Modifikasi SBS 2% : 328 °C
- Aspal Modifikasi SBS 4% : 320 °C

4. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal

Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal dilakukan untuk menetapkan kehilangan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu, yang dinyatakan dalam persen berat semula. Pemeriksaan kehilangan berat ini menggunakan sampel yang sama dengan sampel yang digunakan pada pemeriksaan penetrasi, yaitu sampel penetrasi setelah kehilangan berat minyak. Hasil

pemeriksaan yang dilakukan dengan mengacu pada SNI 06-2440-1991 ini menunjukkan bahwa, penurunan berat minyak pada setiap aspal yang digunakan dalam penelitian adalah :

- Aspal Minyak Penetrasi 60/70 : 0.19%
- Aspal Modifikasi SBS 2% : 0%
- Aspal Modifikasi SBS 4% : 0%

5. Pemeriksaan Kelarutan Bitumen Aspal

Pemeriksaan yang dilakukan menurut metode yang tercantum pada SNI 06-2438-1991 bertujuan untuk menentukan kadar bitumen yang larut dalam Karbon Tetra Klorida (CCl_4). Nilai kelarutan ini menunjukkan kemurnian aspal dan normalnya bebas air. Hasil yang diperoleh pada pemeriksaan kali ini adalah bahwa nilai kelarutan aspal minyak penetrasi 60/70 sebesar 99.5%.

6. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen

Pemeriksaan daktilitas bahan-bahan bitumen yang mengacu pada SNI 03-2441-1991 bertujuan untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu 25°C dan kecepatan tarikan 5cm/menit. Hasil pemeriksaan menunjukkan nilai daktilitas sebagai berikut:

- Aspal Minyak Penetrasi 60/70 : >100 cm
- Aspal Modifikasi SBS 2% : >100 cm
- Aspal Modifikasi SBS 4% : >100 cm

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

Pemeriksaan berat jenis bitumen yang dilakukan mengacu pada SNI-03-2441-1991 dan bertujuan untuk menentukan berat jenis bitumen keras dan ter dengan piknometer. Hasil yang diperoleh adalah :

- Aspal Minyak Penetrasi 60/70 : 1.031 gr/cc
- Aspal Modifikasi SBS 2% : 1.023 gr/cc
- Aspal Modifikasi SBS 4% : 1.041 gr/cc

Hasil pemeriksaan kelayakan material Aspal Minyak Penetrasi 60/70 dan Aspal Modifikasi Polimer berdasarkan tujuh uji yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Hasil pemeriksaan terhadap aspal keras mengacu pada Pd T-04-2005 B, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, 2005 dan untuk aspal polimer mengacu pada Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 6, Departemen Pekerjaan Umum, 2007.

Tabel 4.1 Syarat Pemeriksaan Aspal Keras

Jenis Pemeriksaan	Pen 60/70		Hasil Uji	Satuan	Status
	Min.	Maks.			
Penetrasi Aspal 25°C, 100 gram, 5 detik	60	79	62.8	0.1 mm	Layak
Titik Lembek Aspal 5°C	48	58	49	°C	Layak
Titik Nyala Aspal	200	-	320	°C	Layak
Kehilangan Berat Aspal	-	0.8	0.19	% berat	Layak
Kelarutan dalam CCl ₄	99	-	99.5	% berat	Layak
Daktilitas	100	-	>100	cm	Layak
Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	54	-	89.17	% asli	Layak
Berat Jenis	1	-	1.031	gr/cc	Layak

Berdasarkan Tabel 4.1 dilihat bahwa hasil pemeriksaan aspal minyak menunjukkan kelayakannya untuk digunakan karena nilai dari setiap pemeriksaannya masuk di dalam persyaratan aspal keras yang dikeluarkan oleh Balitbang Departemen Pekerjaan Umum. Sedangkan untuk hasil pemeriksaan terhadap aspal minyak yang telah dimodifikasi dengan penambahan kadar polimer SBS sebesar 2% dan 4% dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Persyaratan Aspal Polimer

Jenis Pemeriksaan	Pen 60/70		Hasil Uji		Satuan	Status
	Min.	Maks.	Pol. 2%	Pol. 4%		
Penetrasi Aspal 25°C, 100 gram, 5 detik	50	75	53.3	51.7	0.1 mm	Layak
Titik Lembek Aspal 5°C	54	-	55	90	°C	Layak
Titik Nyala Aspal	232	-	324	310	°C	Layak
Kehilangan Berat Aspal	-	1	0	0	% berat	Layak
Daktilitas	50	-	>100	>100	cm	Layak
Penurunan Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	-	40	18.20	9.48	% asli	Layak
Berat Jenis	1	-	1.031		gr/cc	Layak

Tabel 4.2 juga menunjukkan kelayakan aspal modifikasi untuk digunakan dalam penelitian. Hal ini dapat dilihat dari nilai-nilai hasil pemeriksaan yang memenuhi persyaratan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 6 tahun 2007, Departemen Pekerjaan Umum.

Seluruh hasil pemeriksaan terhadap material aspal yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa aspal minyak penetrasi 60/70 dan juga aspal modifikasi polimer SBS yang digunakan sebagai material penyusun campuran aspal panas layak digunakan.

4.1.2 Pengujian Material Agregat

Tujuan pengujian material agregat ini adalah untuk mengetahui karakteristik dari agregat kasar, agregat medium serta agregat halus yang digunakan dalam campuran aspal panas. Selain itu pengujian ini juga bertujuan untuk memastikan agar setiap tipe agregat yang digunakan memenuhi persyaratan. Metode standar yang digunakan untuk pengujian agregat mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia) yang meliputi :

- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (SNI-03-1969-1990), yang bertujuan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis

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

- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (SNI-03-1979-1990), yang bertujuan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*) dari agregat halus.

Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar, agregat medium dan agregat halus ini tertera pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Material Agregat

No	Jenis pemeriksaan	Syarat	Hasil	Unit	Status
A Agregat Kasar (SNI 03 – 1969 – 1990)					
1	Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)	> 2,5	2,57	gr/cm ³	Layak
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>saturated surface dry</i>)	> 2,5	2,61	gr/cm ³	Layak
3	Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)	> 2,5	2,68	gr/cm ³	Layak
4	Penyerapan (<i>absorption</i>)	< 3	1,65	gr/cm ³	Layak
B Agregat Medium (SNI 03 – 1969 – 1990)					
1	Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)	> 2,5	2,5	gr/cm ³	Layak
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>saturated surface dry</i>)	> 2,5	2,58	gr/cm ³	Layak
3	Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)	> 2,5	2,7	gr/cm ³	Layak
4	Penyerapan (<i>absorption</i>)	< 3	2,85	gr/cm ³	Layak
C Agregat Halus (SNI 03 – 1969 – 1990)					
1	Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)	> 2,5	2,61	gr/cm ³	Layak
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>saturated surface dry</i>)	> 2,5	2,63	gr/cm ³	Layak
3	Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)	> 2,5	2,67	gr/cm ³	Layak
4	Penyerapan (<i>absorption</i>)	< 3	1,01	gr/cm ³	Layak

- Uji abrasi dengan mesin Los Angeles (SNI-03-2417-1991) dilaksanakan dengan tujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No.12 terhadap berat semula, dalam persen.

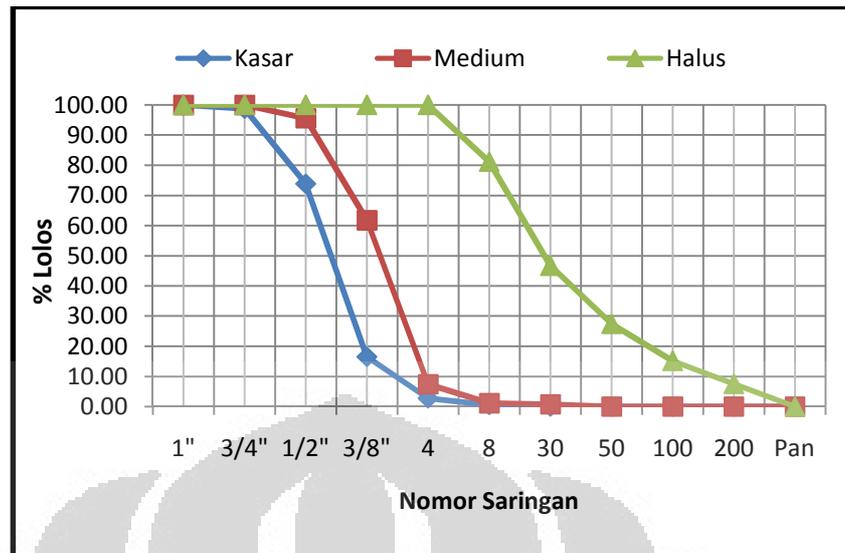
Gradasi yang digunakan pada pengujian ini adalah gradasi B dimana material agregat kasar memiliki ukuran butir maksimum 19.00 mm (3/4 inci) sampai dengan agregat yang memiliki ukuran butir 9.5 mm (3/8 inci). Menurut ASTM C 131-89 persentase abrasi ideal berada antara nilai 15-50%, sedangkan hasil yang diperoleh dari percobaan menunjukkan keausan agregat sebesar 19.24%. Artinya, nilai tersebut telah memenuhi rentang yang disyaratkan.

- Analisa Butiran (*Sieve Analysis*) bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Dari proses pengayakan akan didapatkan berat tertahan dari masing-masing saringan. Kemudian dari data tersebut dapat diketahui persen tertahan kumulatif dan persen lolos kumulatif. Hasil analisis saringan agregat kasar, agregat medium dan agregat halus ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisis Saringan Agregat

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	100,00
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	

Sehingga apabila nilai analisis agregat ini diterjemahkan dalam bentuk grafik pembagian butir maka akan terlihat seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Sebaran Gradasi Agregat

4.1.3 Pengujian Material BGA

Pemeriksaan terhadap material BGA (*Buton Granular Asphalt*) dilakukan untuk mengetahui kelayakannya sebagai material yang akan digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*). Adapun BGA yang digunakan pada penelitian ini merupakan BGA Tipe 20/25. Pemeriksaan karakteristik dan standar mutu BGA ini meliputi analisis saringan sebelum dan setelah ekstraksi serta pemeriksaan penetrasi, titik lembek, dan pemeriksaan daktilitas terhadap bitumen hasil ekstraksi BGA dengan menggunakan cairan TCE (*trichloroethylene*) dan alat ekstraktor reflux. Tabel 4.5 menunjukkan hasil analisis butiran BGA sebelum ekstraksi.

Analisis butiran BGA sebelum ekstraksi ini menunjukkan bahwa material ini tidak memenuhi syarat gradasi bahan pengisi (*filler*) yang dapat dilihat pada Tabel 2.3. Sama halnya dengan analisis sebelum ekstraksi, data setelah ekstraksi menunjukkan bahwa BGA yang digunakan dalam penelitian bukan merupakan material yang dapat digunakan sebagai *filler*. Analisis butiran BGA setelah ekstraksi dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Analisis Butiran BGA Sebelum Ekstraksi

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Kumulatif
4	4.76	118	11.8	88.19
8	2.38	194	19.42	68.77
30	0.59	258	25.83	42.94
50	0.279	275	27.53	15.42
100	0.149	123	12.31	3.10
200	0.074	29	2.90	0.20
Pan	-	2	0.20	0.00
Total		999		

Tabel 4.6 Analisis Butiran BGA Setelah Ekstraksi

Saringan No.	Diameter	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Kumulatif
4	4.76	0	0.00	100.00
8	2.38	1	0.10	99.90
30	0.59	5	0.50	99.40
50	0.279	51	5.06	94.34
100	0.149	97	9.71	84.63
200	0.074	82	8.16	76.48
Pan	-	159	15.87	60.61
Total		394		

Setelah ekstraksi, uji penetrasi terhadap bitumen dari BGA dilakukan untuk memeriksa kelayakannya yang mengacu pada Persyaratan Tipe Asbuton menurut Balitbang Departemen Pekerjaan Umum seperti yang terlihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Pemeriksaan Bitumen Hasil Ekstraksi BGA

Jenis Pengujian	Metode	Tipe 20/25	Bitumen Hasil Ekstraksi	Status
Kadar Bitumen Asbuton	SNI 03-3640-94	23-27	26.66	Layak
Penetrasi Bitumen				
Asbuton pada 25°C, 100 gram, 5 detik (0.1 mm)	SNI 06-2456-91	19-22	19.60	Layak

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

Hasil pemeriksaan ini menyatakan bahwa bitumen hasil ekstraksi BGA memenuhi standar kelayakan seperti yang sudah ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan dapat digunakan dalam penelitian.

4.2 Campuran Aspal Panas

4.2.1 Perancangan Benda Uji

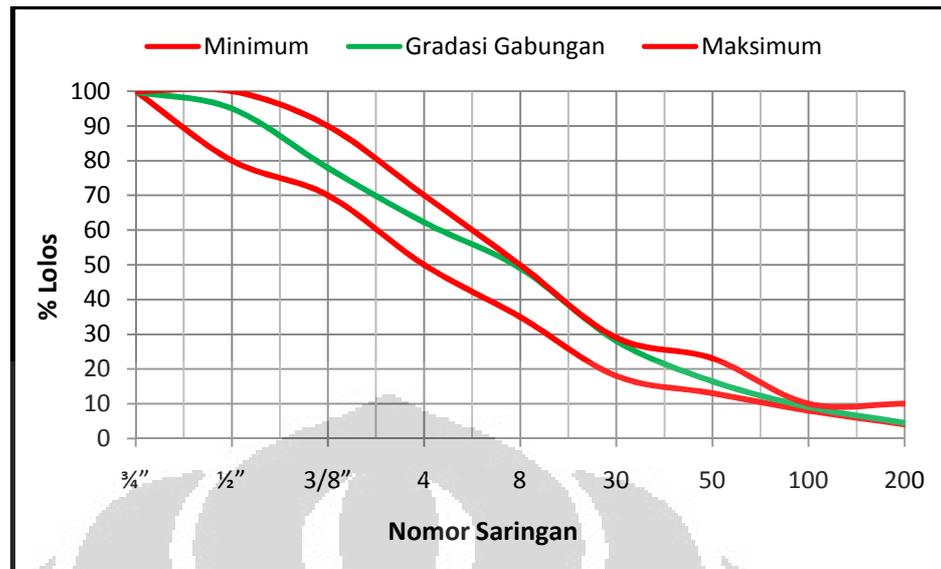
Jenis campuran aspal panas yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis campuran tipe Lapis Aspal Beton Tipe IV, Spesifikasi Bina Marga yang syarat gradasi agregatnya disajikan pada Tabel 2.8. Dari grafik sebaran agregat (Gambar 4.3) diperoleh komposisi awal masing-masing agregat (dalam persen) yaitu agregat kasar 10%, agregat medium 30% dan agregat halus 60%.

Persentase komposisi agregat tersebut dikalikan dengan persentase lolos kumulatif dari masing-masing agregat berdasarkan urutan saringan dari yang terbesar hingga yang terkecil, yang kemudian nilai perkalian tersebut dijumlahkan menurut ukuran saringannya, dan disebut dengan nilai gradasi gabungan. Nilai gradasi gabungan inilah yang dibandingkan dengan syarat gradasi campuran tipe Laston Tipe IV. Apabila nilai gradasi gabungan tersebut tidak memenuhi syarat maka perlu dilakukan proses *trial and error* pada komposisi agregat. Proses tersebut dilakukan untuk memperoleh persentase komposisi agregat dari setiap fraksi sehingga persentase gradasi gabungan yang dihasilkan dapat masuk ke dalam kisaran yang disyaratkan.

Berdasarkan analisis *trial and error*, komposisi agregat yang menghasilkan nilai gradasi agregat sesuai dengan syarat gradasi campuran tipe Laston Tipe IV tertera pada Tabel 4.8. Komposisi agregat yang terdiri dari agregat kasar 15%, agregat medium 25% dan agregat halus 60% ini merupakan komposisi agregat untuk campuran murni. Apabila nilai gradasi tersebut divisualisasikan dalam bentuk grafik, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan pada grafik tersebut terlihat bahwa semua nilai gradasi berdasarkan komposisi agregat tersebut masuk ke dalam kisaran yang telah disyaratkan untuk campuran tipe Laston Tipe IV.

Tabel 4.8 Gradasi Gabungan

Saringan No	Agregat Kasar		Agregat Medium		Agregat Halus		Spec IV*	Nilai tengah Spec	Gradasi Gabungan
	(% lolos kumulatif)		(% lolos kumulatif)		(% lolos kumulatif)				
	Total	15%	Total	25%	Total	60%			
¾"	98,74	14,81	100,00	25	100,00	60	100	100	99,81
½"	73,90	11,08	95,59	23,90	100,00	60	80-100	90	94,98
3/8"	16,52	2,48	61,77	15,44	100,00	60	70-90	80	77,92
No 4	2,71	0,41	7,36	1,84	100,00	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 4.5 Grafik Sebaran Gradasi Gabungan

Benda uji dalam penelitian memiliki berat total campuran sebesar 1150 gram. Sehingga untuk mengetahui berat masing-masing agregat, berat total campuran yang sudah direncanakan harus dikurangi terlebih dahulu dengan berat aspal untuk setiap variasi kadar aspal rancangan dan kemudian dikalikan dengan persentase komposisi masing-masing agregat yang telah diperoleh sebelumnya.

Variasi kadar aspal rancangan dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1. Berdasarkan persamaan tersebut dapat diperoleh nilai P_b yang merupakan kadar aspal perkiraan. Kadar aspal perkiraan ini kemudian dibulatkan mendekati 0.5% dan nilai inilah yang akan digunakan untuk menentukan variasi kadar aspal dalam pembuatan benda uji. Variasi tersebut merupakan dua kadar aspal di atas dan dua kadar aspal di bawah kadar aspal perkiraan awal yang telah dibulatkan mendekati 0.5% tersebut.

4.2.2 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian dibuat dengan menggunakan 5 variasi kadar aspal. Oleh karena kadar aspal perkiraan yang telah dibulatkan mendekati 0.5 % adalah 5.5%, maka variasi kadar aspal yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah 4.5%, 5%, 5.5%, 6% dan 6.5%.

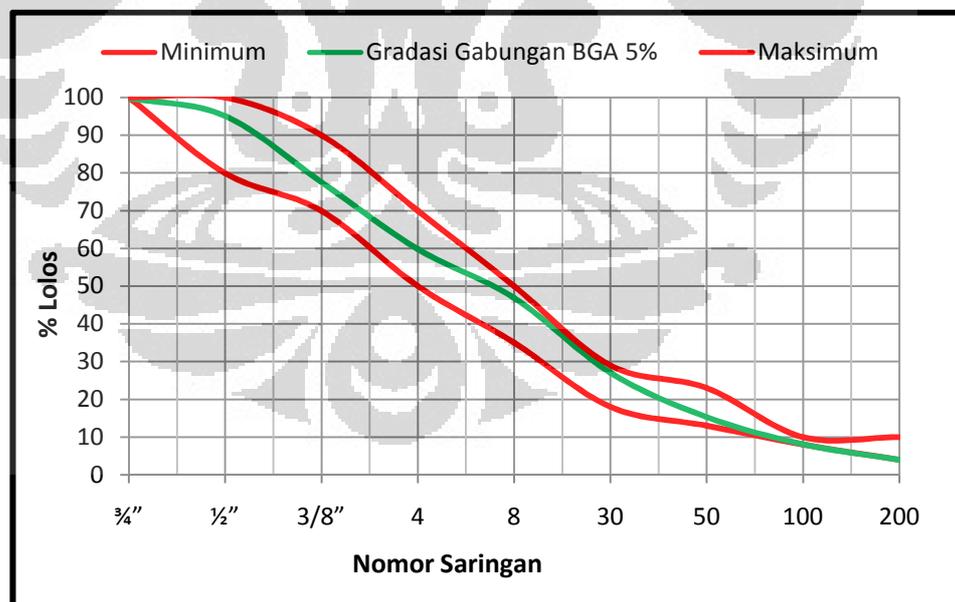
Benda uji campuran aspal panas pada penelitian ini dibuat dengan 3 jenis campuran, yaitu campuran aspal murni, campuran aspal modifikasi BGA dan campuran aspal modifikasi BGA dan Polimer dengan tidak menggunakan kadar aspal optimum. Alasan tidak digunakannya kadar aspal optimum dalam pembuatan benda uji adalah untuk mengetahui nilai kinerja campuran aspal dari seluruh jenis campuran, mengetahui jenis campuran yang paling baik dan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh BGA dan polimer yang digunakan terhadap suatu campuran aspal panas.

Berikut ini penjelasan mengenai komposisi material yang digunakan untuk ketiga jenis campuran aspal panas yang dibuat. Campuran aspal murni merupakan jenis campuran yang menggunakan aspal minyak penetrasi 60/70 dengan 5 variasi kadar aspal (4.5%, 5%, 5.5%, 6% dan 6.5%) sebagai pengikat dan dengan komposisi agregat kasar 15%, agregat medium 25% dan agregat halus 60%.

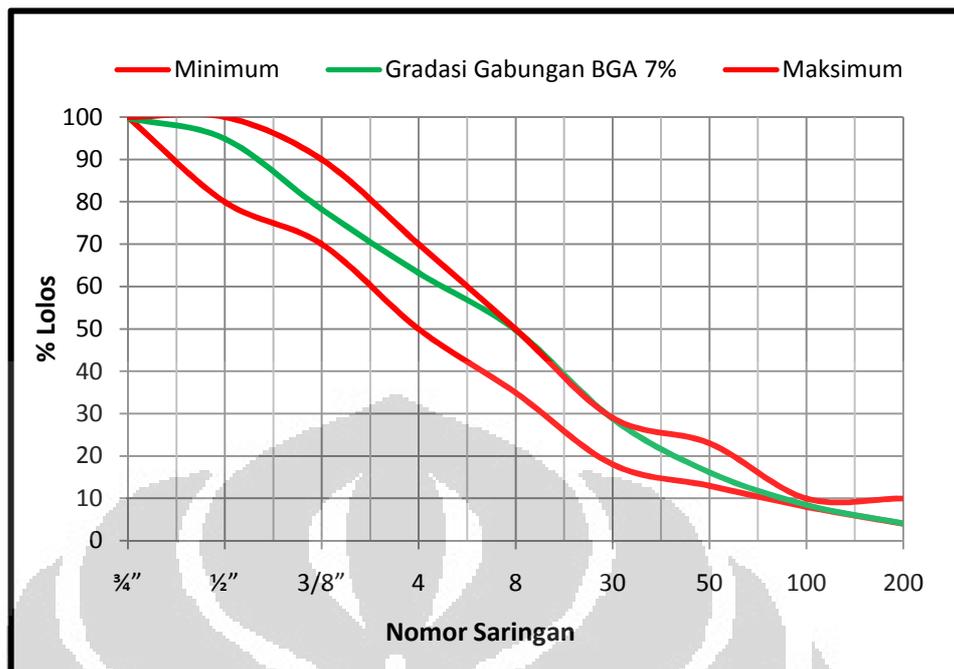
Campuran aspal modifikasi BGA merupakan jenis campuran yang juga menggunakan aspal minyak penetrasi 60/70 dengan 5 variasi kadar aspal (4.5%, 5%, 5.5%, 6% dan 6.5%) sebagai pengikat, agregat kasar, agregat medium dan agregat halus. Perbedaannya dengan campuran aspal murni terletak pada penggunaan bahan BGA dalam campurannya. Penggunaan BGA yang memiliki karakteristik bitumen dengan nilai penetrasi rendah serta titik leleh tinggi pada suatu campuran aspal diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dan keawetan dari campuran tersebut. Oleh karena hasil uji saringan BGA (Tabel 4.5) menunjukkan bahwa gradasi BGA memiliki karakteristik ukuran yang serupa dengan agregat halus, maka komposisi setiap fraksi agregat dalam jenis campuran

ini harus diatur sedemikian rupa agar gradasi gabungan yang dihasilkan setelah dicampur dengan BGA masuk ke dalam syarat gradasi campuran tipe Laston Tipe IV.

Jenis campuran aspal modifikasi yang pertama menggunakan bahan BGA dengan kadar 5%. Kadar 5% ini diperoleh dari proses *trial and error* terhadap seluruh komposisi agregat (agregat kasar, agregat medium dan agregat halus) beserta BGA dari kadar 1%. Proses ini dilakukan sampai akhirnya komposisi seluruh fraksi agregat beserta BGA menghasilkan nilai gradasi gabungan yang masuk ke dalam spek campuran tipe Laston Tipe IV dan/atau mendekati nilai tengah spek tersebut. Pada kadar 5% BGA dengan komposisi agregat kasar 14%, agregat medium 28% dan agregat halus 53% inilah tercapai nilai gradasi gabungan yang paling mendekati nilai tengah dari syarat gradasi untuk campuran tipe Laston Tipe IV (Tabel 4.9).



Gambar 4.6 Grafik Sebaran Gradasi Gabungan Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%



Gambar 4.7 Grafik Sebaran Gradasi Gabungan Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Jenis campuran aspal berikutnya adalah campuran aspal yang menggunakan bahan BGA dengan kadar 7%. Kadar BGA 7% digunakan dalam penelitian ini karena merupakan kadar BGA yang paling sering digunakan untuk campuran aspal panas pada proyek pembangunan serta perbaikan jalan di Jabodetabek. Sama halnya dengan jenis campuran aspal modifikasi BGA 5%, komposisi dari seluruh fraksi agregat diatur sedemikian rupa sehingga gradasi gabungannya dengan bahan BGA 7% dapat menghasilkan nilai gradasi gabungan yang masuk ke dalam spek campuran tipe Laston Tipe IV dan/atau mendekati nilai tengah spek tersebut. Pada jenis campuran ini, nilai gradasi gabungan yang mendekati nilai tengah dari syarat gradasi campuran tipe Laston Tipe IV tercapai ketika komposisi agregat kasar 16%, agregat medium 22% dan agregat halus 55% (Tabel 4.10).

Tabel 4.9 Gradasi Gabungan Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%

Saringan	Aggregat Kasar		Aggregat Medium		Aggregat Halus		BGA		Spec IV*	Nilai tengah Spec	Gradasi Gabungan
	(% lolos kumulatif)		(% lolos kumulatif)		(% lolos kumulatif)		(% lolos)				
No	Total	14%	Total	28%	Total	53%	Total	5%			
¾"	98.74	13.82	100.00	28	100.00	53	100.00	5	100	100	100
½"	73.90	10.35	95.59	26.77	100.00	53	100.00	5	80-100	90	95
3/8"	16.52	2.31	61.77	17.30	100.00	53	100.00	5	70-90	80	78
No 4	2.71	0.38	7.36	2.06	100.00	53	88.19	4.41	50-70	60	60
No 8	0.50	0.07	1.10	0.31	81.19	43.03	68.77	3.44	35-50	42.5	47
No 30			0.70	0.20	46.61	24.70	42.94	2.15	18-29	23.5	27
No 50					27.40	14.52	15.42	0.77	13-23	18	15
No 100					15.07	7.98	3.10	0.16	8 s/d 10	9	8
No 200					7.48	3.97	0.20	0.01	4 s/d 10	7	4

Tabel 4.10 Gradasi Gabungan Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Saringan No	Aggregat Kasar (% lolos kumulatif)		Aggregat Medium (% lolos kumulatif)		Aggregat Halus (% lolos kumulatif)		Filler BGA (% lolos)		Spec*	Nilai tengah Spec	Gradasi Gabungan
	Total	16%	Total	22%	Total	55%	Total	7%			
¾"	98.74	15.80	100.00	22	100.00	55	100.00	7	100	100	99.80
½"	73.90	11.82	95.59	21.03	100.00	55	100.00	7	80-100	90	94.85
3/8"	16.52	2.64	61.77	13.59	100.00	55	100.00	7	70-90	80	78.23
No 4	2.71	0.43	7.36	1.62	100.00	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

Campuran aspal modifikasi BGA dan Polimer SBS merupakan campuran yang tidak hanya menggunakan BGA dalam campuran aspalnya tetapi juga menggunakan aspal yang telah dimodifikasi dengan aditif polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*). Kadar polimer SBS yang digunakan dalam campuran ini adalah 2% dan 4%, dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 4.5%, 5%, 5.5%, 6% dan 6.5%. Penambahan polimer ke dalam campuran aspal modifikasi BGA diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran tersebut agar lebih tahan terhadap potensi *cracking* pada temperatur rendah dan mengurangi potensi deformasi pada temperatur tinggi, semakin meningkatkan stabilitas, kekuatan serta ketahanan lelah (*fatigue*) campuran aspal.

Proses pencampuran material dalam pembuatan benda uji telah dijelaskan sebelumnya pada sub-bab Perancangan dan Pembuatan Benda Uji pada Bab 3 mengenai Metode Penelitian.

4.3 Pengujian Benda Uji Campuran Aspal Panas

Terdapat beberapa faktor yang perlu ditinjau untuk mengetahui kinerja dari suatu campuran aspal. Faktor-faktor tersebut adalah nilai VIM (*Void in Mixture*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), stabilitas, kelelahan (*flow*), dan MQ (*Marshall Quotient*). VIM (*Void in Mixture*) dan VMA (*Void in Mineral Aggregate*) diperoleh dari perhitungan persen aspal dengan berat isi benda uji dan berat jenis agregat. Sedangkan nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), dan MQ (*Marshall Quotient*) diperoleh dari pengujian *Marshall*.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan benda uji hasil pencampuran dari seluruh material dan yang telah dipadatkan dengan mesin *Compaction* yang bentuknya dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Mesin *Compaction*

Benda uji yang telah dipadatkan dikeluarkan dari *mold* dengan menggunakan *extruder* dan didiamkan selama ± 24 jam. Pengukuran fisik kemudian dilakukan pada benda uji tersebut meliputi pengukuran tinggi sebanyak tiga kali dan pengukuran berat benda uji dalam kondisi kering udara. Sebelum ditest dengan menggunakan alat *marshall*, sampel direndam terlebih dahulu selama 24 jam di bak perendam kemudian dilakukan pengukuran berat sampel di dalam air dan berat sampel pada keadaan kering permukaan (SSD). Setelah itu sampel dimasukkan dalam *waterbath* pada suhu 60°C selama kurang lebih 30 menit sebelum akhirnya diletakan pada mesin *marshall*. Dari pengujian ini akan diperoleh data berupa nilai stabilitas dan kelelahan melalui pembacaan jarum Stabilitas (O) dan Kelelahan (R).

Permasalahan yang dihadapi pada saat penelitian dilakukan, terutama pada saat persiapan material benda uji, pengujian serta pengolahan data adalah :

1. Saat memasukkan material (agregat halus) yang sudah ditimbang ke dalam wadah, sebagian kecil material beterbangan akibat begitu ringan dan kecilnya material tersebut, sehingga berat material pada campuran berkurang.

2. Mesin *Compaction* yang digunakan tidak otomatis berhenti pada penumbukan ke-75.
3. Pembacaan jarum Stabilitas (O) dan Kelelahan (R) pada saat dilakukan pengujian *marshall* kurang akurat.

Berikut ini merupakan pemaparan hasil penelitian meliputi nilai VIM (*Void in Mixture*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), stabilitas, kelelahan (*flow*), dan MQ (*Marshall Quotient*) pada setiap jenis campuran aspal panas.

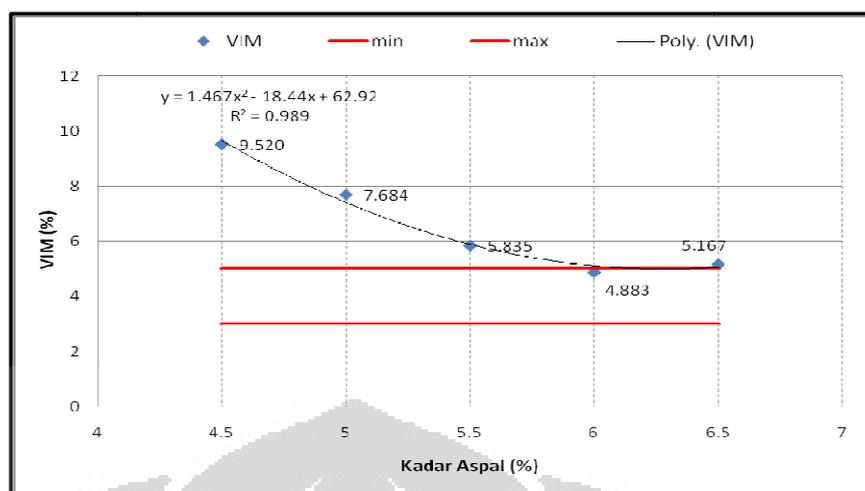
4.3.1 Campuran Aspal Murni

Campuran aspal murni merupakan campuran yang terdiri dari aspal minyak (AC) murni, agregat kasar, agregat medium dan agregat halus.

Analisis kinerja campuran didasarkan pada parameter *marshall* yaitu VIM, VMA, stabilitas, kelelahan dan nilai *marshall quotient*. Nilai VIM (*Void in Mixture*) pada sebagian besar campuran aspal murni tidak memenuhi spek. Satu-satunya campuran dengan nilai VIM yang masuk ke dalam spek adalah campuran dengan kadar aspal 6% (Gambar 4.11).

Tabel 4.11 Nilai VIM Campuran Aspal Beton Murni

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (%)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VIM (%)	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
	Keterangan		TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	OK	TIDAK OK



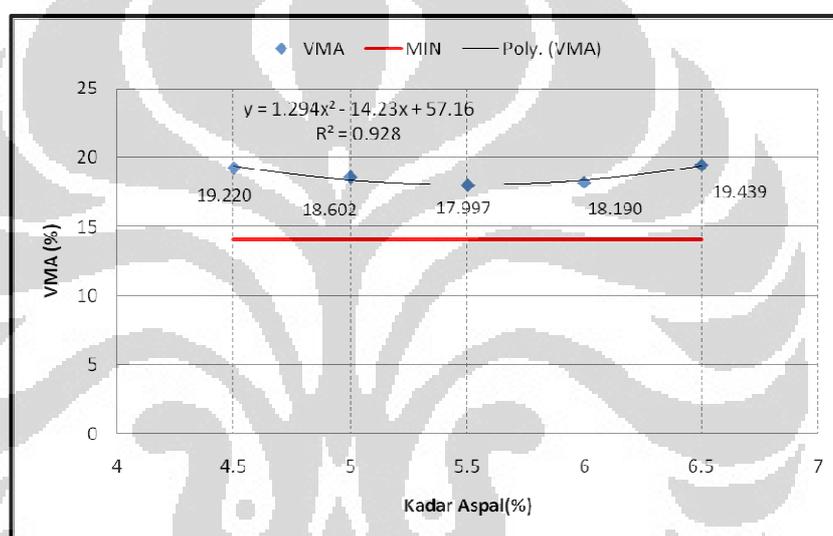
Gambar 4.9 Grafik VIM Campuran Aspal Murni

Grafik menunjukkan terjadinya penurunan nilai VIM dari campuran dengan kadar aspal 4.5% sampai dengan campuran dengan kadar 6%, kemudian sedikit mengalami peningkatan pada campuran dengan kadar aspal 6.5%. Dengan kata lain, nilai VIM untuk campuran dengan kadar aspal 4.5% merupakan nilai VIM tertinggi yang berarti bahwa pada campuran tersebut terdapat volume pori berisi udara yang cukup besar namun berangsur berkurang seiring dengan penambahan kadar aspal, sampai pada akhirnya nilai VIM campuran dengan kadar aspal 6% masuk ke dalam spek dengan persentase 4.883%.

Nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*) merupakan nilai yang menunjukkan seberapa besar volume pori di antara butir agregat di dalam suatu campuran aspal. Pada Tabel 4.12 dijelaskan nilai VMA dari setiap jenis campuran pada campuran aspal dengan aspal murni.

Tabel 4.12 Nilai VMA Campuran Aspal Murni

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (%)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VMA (%)	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
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK



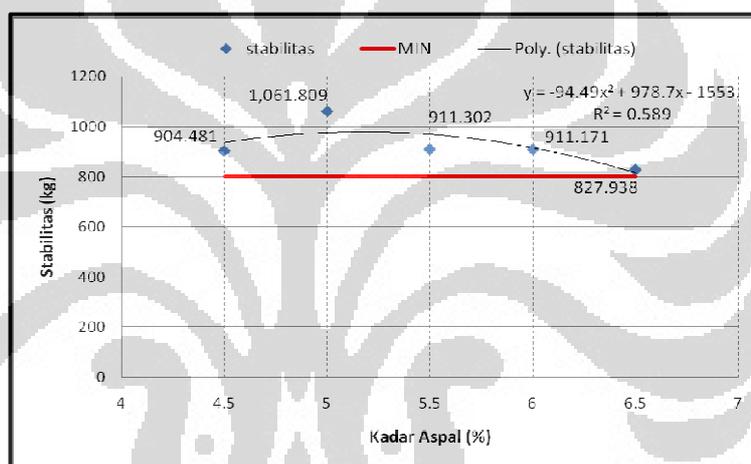
Gambar 4.10 Grafik VMA Campuran Aspal Murni

Dari hasil analisis diketahui bahwa nilai VMA pada seluruh kadar aspal campuran memenuhi spek (Tabel 4.12) dan hal tersebut juga ditunjukkan pada Gambar 4.10. Pada grafik tersebut terlihat bahwa grafik nilai VMA campuran berada di atas grafik minimum VMA yang sudah ditentukan.

Stabilitas merupakan faktor penting dalam menjelaskan kinerja suatu campuran dalam menahan beban. Nilai stabilitas yang diperoleh dari hasil tes dengan menggunakan alat *Marshall* dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.13 Nilai Stabilitas Campuran Aspal Murni

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Stabilitas (kg)	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
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK



Gambar 4.11 Grafik Stabilitas Campuran Aspal Murni

Pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.11 nilai yang disajikan menunjukkan bahwa nilai stabilitas pada campuran aspal untuk setiap kadar aspal memenuhi ke dalam spek. Nilai stabilitas awal yaitu pada campuran dengan kadar aspal 4.5% adalah sebesar 904.481 kg kemudian meningkat menjadi 1061.809 kg ketika kadar aspal ditambahkan menjadi 5.5% dan berangsur menurun seiring dengan penambahan kadar aspal sampai mencapai nilai stabilitas paling rendah sebesar 827.938 kg pada kadar aspal 6.5%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas cenderung meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal sampai pada kadar

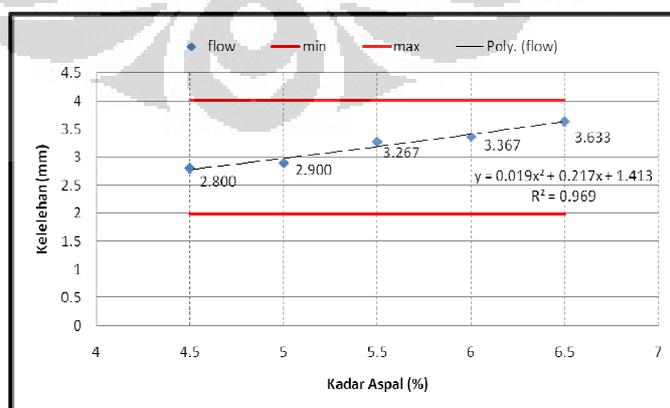
aspal tertentu dan kemudian akan menurun jika aspal terus-menerus ditambahkan karena kelelehannya meningkat sehingga kemampuannya menahan beban berkurang.

Nilai kelelehan diperoleh dari hasil tes dengan menggunakan alat *marshall*. Nilai kelelehan dari hasil tes *Marshall* dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Nilai Kelelehan Campuran Aspal Murni

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (mm)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Kelelehan (mm)	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
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK

Nilai kelelehan campuran aspal murni disajikan pada Gambar 4.12. Kedua hasil yang ditampilkan pada tabel dan grafik menunjukkan bahwa nilai kelelehan yang dihasilkan masuk ke dalam spek yang sudah ditentukan. Artinya adalah bahwa perubahan bentuk seluruh campuran ini akan berada dalam batas normal apabila diberi beban sampai akhirnya mencapai batas runtuhnya.



Gambar 4.12 Grafik Kelelehan Campuran Aspal Murni

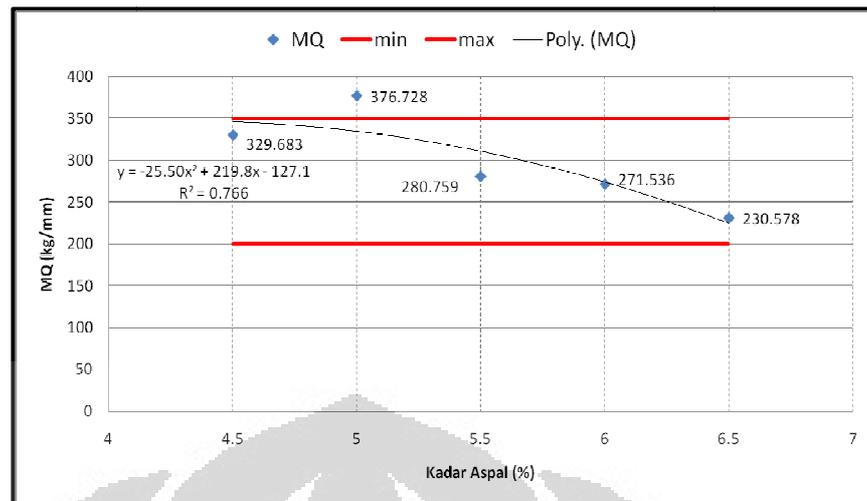
Grafik pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa nilai kelelehan pada campuran ini meningkat sesuai dengan penambahan kadar aspal. Apabila nilai kelelehan ini dihubungkan dengan nilai stabilitas, maka teori yang menyatakan bahwa nilai stabilitas berbanding terbalik dengan nilai kelelehan terbukti. Semakin tinggi nilai stabilitas maka nilai kelelehannya semakin rendah, sebaliknya semakin rendah nilai stabilitas maka nilai kelelehannya semakin tinggi.

Marshall Quotient perlu ditinjau untuk mengetahui kinerja campuran aspal adalah nilai *Marshall Quotient* (MQ). Nilai MQ ini merupakan hasil bagi dari nilai stabilitas terhadap kelelehan. Hasil bagi antara stabilitas dan kelelehan ini dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan hasil visualisasinya pada Gambar 4.13.

Tabel 4.15 Nilai *Marshall Quotient* Campuran Aspal Murni

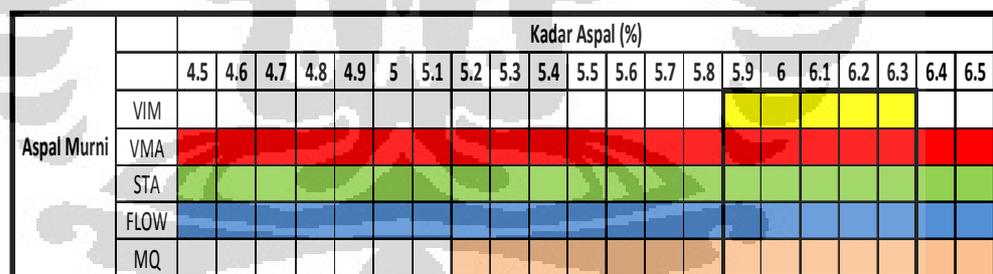
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg/mm)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
MQ (kg/mm)	1	200 - 350	415,325	494,949	356,058	313,855	197,980
	2	200 - 350	303,540	283,162	268,120	234,625	285,403
	3	200 - 350	270,184	352,074	218,100	266,129	208,352
	rata-rata		329,683	376,728	280,759	271,536	230,578
Keterangan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

Pada Tabel 4.15 terlihat bahwa nilai MQ pada campuran dengan kadar aspal 5% tidak memenuhi spek karena nilainya lebih tinggi dari batas maksimum spek. Penyebab dari tingginya nilai MQ pada kadar aspal tersebut adalah tingginya nilai stabilitas dan begitu rendahnya nilai kelelehannya dari hasil pembacaan alat *Marshall*.



Gambar 4.13 Grafik *Marshall Quotient* Campuran Aspal Murni

Alur grafik MQ pada Gambar 4.13 ini pun menyerupai bentuk grafik stabilitas, yang meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal dan berangsur menurun pada suatu kadar aspal tertentu jika aspal terus ditambahkan.



Gambar 4.14 Rekap Faktor Penentu Kinerja Campuran Aspal Murni

Gambar 4.14 merupakan rekap dari faktor-faktor penentu kinerja campuran aspal murni berdasarkan kadar aspal dan parameter *Marshall*. Dari Gambar 4.14 diperoleh kisaran kadar aspal yang memenuhi seluruh faktor penentu kinerja campuran aspal terletak antara kadar aspal 5.9% sampai dengan 6.3% sehingga kadar aspal 6.1% inilah yang merupakan kadar aspal optimum dari campuran aspal murni pada penelitian ini.

4.3.2 Campuran Aspal Modifikasi BGA

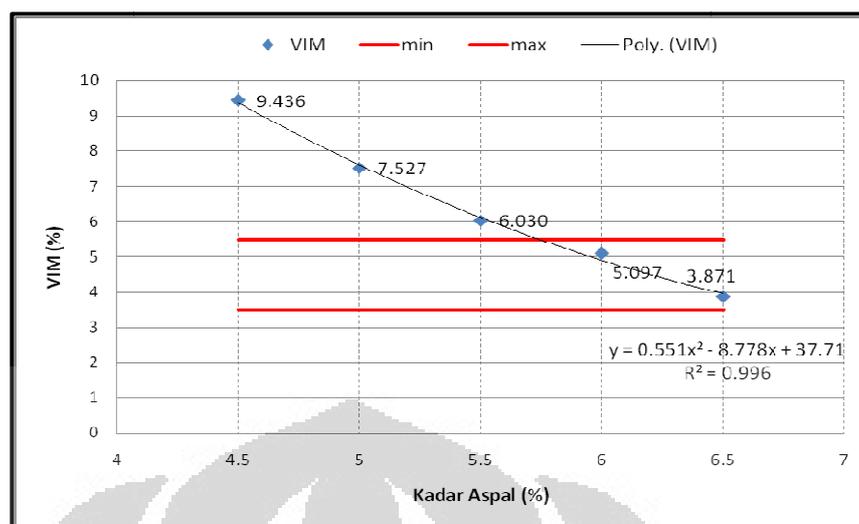
Campuran aspal modifikasi BGA adalah campuran aspal yang terdiri dari aspal minyak, agregat kasar, agregat medium, agregat halus dan BGA. Penggunaan BGA diharapkan dapat mengurangi penggunaan kadar aspal minyak pada suatu campuran aspal. Pada penelitian ini digunakan 2 kadar BGA, yaitu 5% dan 7%, yang dasar penggunaan persentasenya telah dijelaskan sebelumnya pada Bab 3.

Hasil analisis VIM untuk kedua jenis campuran aspal modifikasi BGA, yaitu campuran dengan menggunakan kadar BGA 5% dan kadar BGA 7% dinyatakan pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17. Tabel 4.16 menyatakan bahwa nilai VIM pada campuran yang menggunakan BGA 5% baru masuk ke dalam spek ketika menggunakan kadar aspal 6%.

Apabila dilihat secara lebih jelas pada Gambar 4.15, nilai VIM campuran ini sudah masuk ke dalam spek saat kadar aspal yang digunakan mencapai 5.8%.

Tabel 4.16 Nilai VIM Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (%)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VIM (%)	1	3.5 – 5.5	9,871	7,861	6,442	5,590	4,823
	2	3.5 – 5.5	9,744	7,360	5,343	4,313	2,938
	3	3.5 – 5.5	8,692	7,360	6,304	5,387	3,852
	rata-rata		9,436	7,527	6,030	5,097	3,871
	Keterangan		TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	OK	OK

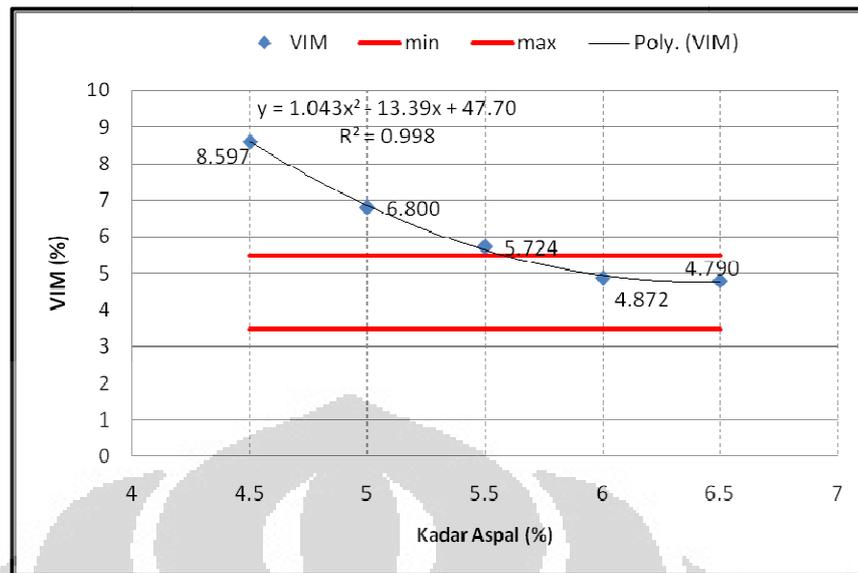


Gambar 4.15 Grafik VIM Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%

Nilai VIM dari jenis campuran aspal modifikasi BGA dengan kadar BGA 7% dapat dilihat pada Tabel 4.17. Campuran ini juga menunjukkan hal yang serupa dengan campuran sebelumnya, bahwa nilai VIM campuran ini masuk ke dalam spek ketika kadar aspal yang digunakan adalah 6%. Hanya saja, dari Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa nilai VIM campuran ini sudah masuk ke dalam spek pada saat kadar aspal mencapai angka 5.6%.

Tabel 4.17 Nilai VIM Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (%)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VIM (%)	1	3.5 – 5.5	8,689	6,711	5,843	5,270	5,223
	2	3.5 – 5.5	8,992	6,409	3,790	5,443	4,753
	3	3.5 – 5.5	8,178	7,280	5,604	4,474	4,394
		rata-rata		8,597	6,800	5,724	4,872
	Keterangan		TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	OK	OK



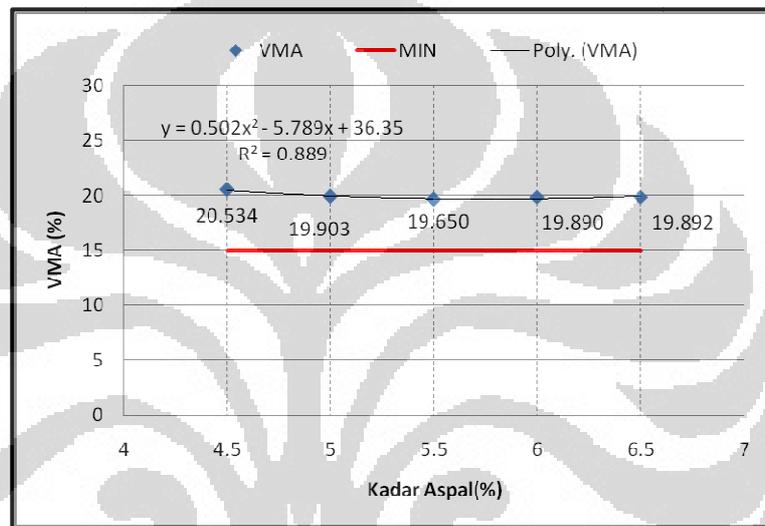
Gambar 4.16 Grafik VIM Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Apabila nilai VIM antara campuran aspal murni, campuran aspal modifikasi BGA 5% dan BGA 7% dibandingkan, kesimpulan yang diperoleh adalah penambahan kadar BGA berpengaruh dalam penambahan jangkauan nilai VIM yang masuk ke dalam spek. Artinya rongga dalam campuran aspal akan semakin berkurang sesuai dengan penambahan BGA oleh karena kontribusinya dalam penambahan fraksi agregat halus dan aspal dalam campuran.

Pembahasan nilai VMA untuk campuran aspal modifikasi BGA dengan kadar BGA 5% dan 7%. Tabel 4.18 dan 4.19 menunjukkan bahwa nilai VMA dari kedua campuran aspal modifikasi masuk ke dalam spek. Hal ini juga terlihat secara jelas pada grafik nilai VMA pada Gambar 4.17 dan 4.18.

Tabel 4.18 Nilai VMA Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (%)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VMA (%)	1	> 15	20,916	20,192	20,002	20,307	20,685
	2	> 15	20,805	19,758	19,063	19,229	19,114
	3	> 15	19,882	19,758	19,885	20,136	19,876
	rata-rata		20,534	19,903	19,650	19,890	19,892
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK

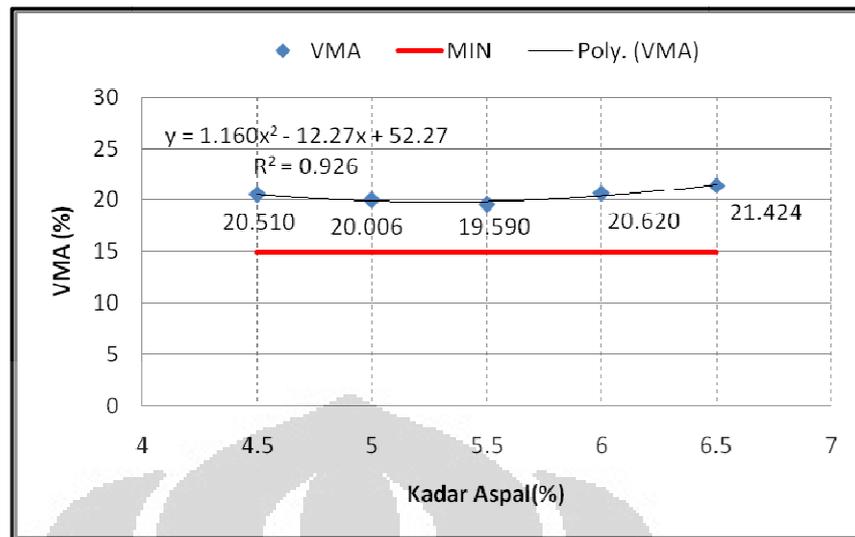


Gambar 4.17 Grafik VMA Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa nilai VMA, baik pada campuran aspal modifikasi BGA 5% maupun BGA 7% berkisar antara 19% sampai dengan 21% dari keseluruhan campuran aspal.

Tabel 4.19 Nilai VMA Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (%)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
VMA (%)	1	> 15	20,590	19,929	20,237	20,794	21,781
	2	> 15	20,793	19,670	18,498	20,938	21,393
	3	> 15	20,146	20,418	20,034	20,129	21,097
	rata-rata		20,510	20,006	19,590	20,620	21,424
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK



Gambar 4.18 Grafik VMA Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Apabila nilai VMA dari campuran aspal murni, campuran aspal modifikasi BGA 5% dan BGA 7% dibandingkan satu sama lain, terlihat bahwa masing-masing jenis campuran ini memiliki bentuk yang serupa, yaitu cenderung menurun seiring dengan penambahan kadar aspal kemudian naik setelah mencapai kadar aspal 5.5%. Nilai VMA masing-masing campuran juga meningkat sesuai dengan penambahan kadar BGA. Hal ini menyatakan bahwa selain karena pertambahan kadar aspal, rongga yang menyelimuti agregat semakin berkurang dengan semakin bertambahnya kadar BGA yang juga memberikan kontribusi berupa aspal terhadap campuran tersebut. Namun nilai VMA ini meningkat ketika kadar aspal yang terkandung di dalam campuran semakin banyak.

Nilai stabilitas dari campuran aspal modifikasi 5% tertera pada Tabel 4.20, sedangkan nilai stabilitas campuran aspal modifikasi 7% tertera pada Tabel 4.19.

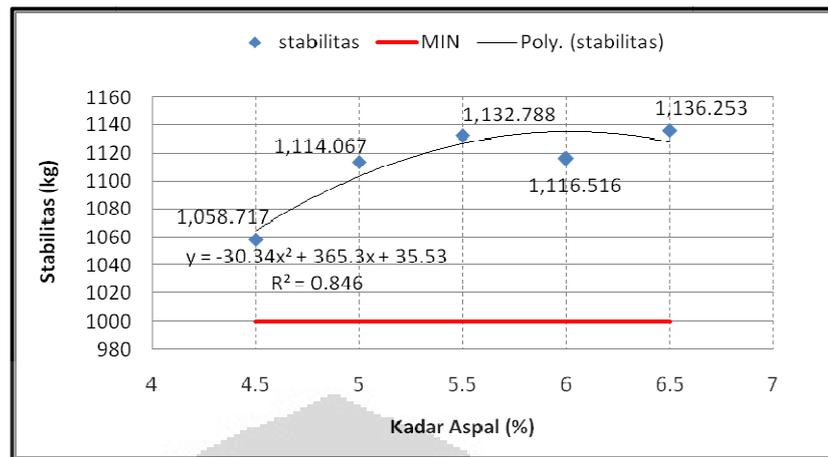
Tabel 4.20 Nilai Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi 5%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Stabilitas (kg)	1	> 1000	936,923	1209,224	1045,631	1041,454	1024,821
	2	> 1000	1119,267	1065,502	1371,150	1289,934	1232,561
	3	> 1000	1119,960	1067,474	981,582	1018,160	1151,378
	rata-rata		1058,717	1114,067	1132,788	1116,516	1136,253
	Keterangan		OK	OK	OK	OK	OK

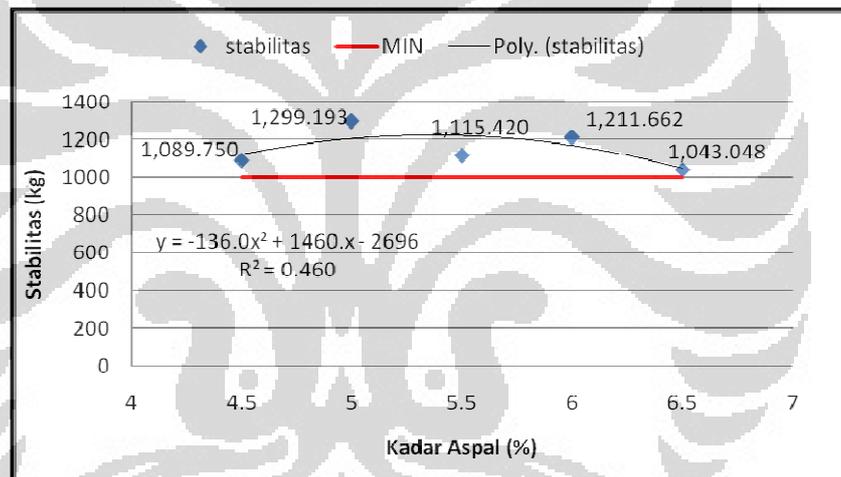
Tabel 4.21 Nilai Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi 7%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Stabilitas (kg)	1	> 1000	1130,433	1372,642	1038,885	1267,232	1085,770
	2	> 1000	1077,947	1238,153	1168,935	1118,125	1164,046
	3	> 1000	1060,870	1286,784	1138,441	1248,828	879,330
	rata-rata		1089,750	1299,193	1115,420	1211,662	1043,048
	Keterangan		OK	OK	OK	OK	OK

Pada Tabel 4.20 dan 4.21 di atas terlihat bahwa nilai stabilitas kedua campuran aspal modifikasi BGA ini memenuhi spek mulai dari kadar aspal 4.5% sampai dengan kadar aspal 6.5%, walaupun grafik stabilitas masing-masing campuran menunjukkan kecenderungan yang berbeda. Pada grafik polinomial stabilitas campuran aspal BGA 5%, nilai stabilitas cenderung meningkat sesuai dengan penambahan kadar aspal dan mulai memperlihatkan tanda-tanda penurunan saat kadar aspal yang digunakan lebih dari 6.5% (Gambar 4.19). Sedangkan pada campuran yang menggunakan BGA 7%, nilai stabilitasnya mengalami peningkatan sampai dengan kadar aspal 5% dan kemudian berangsur menurun setelah kadar aspal ditambahkan (Gambar 4.20).



Gambar 4.19 Grafik Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%



Gambar 4.20 Grafik Stabilitas Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Apabila ditinjau lebih lanjut, terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai stabilitas dari campuran aspal murni ke campuran aspal modifikasi BGA 5% sampai ke campuran aspal modifikasi BGA 7%. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai stabilitas campuran aspal meningkat sesuai dengan penambahan kadar BGA. Hal ini disebabkan karena bitumen dari BGA memiliki karakteristik dengan nilai penetrasi rendah serta titik leleh tinggi dan sedikit kontribusi dari agregat halus sehingga ikatan antar material dalam campuran menjadi semakin kuat.

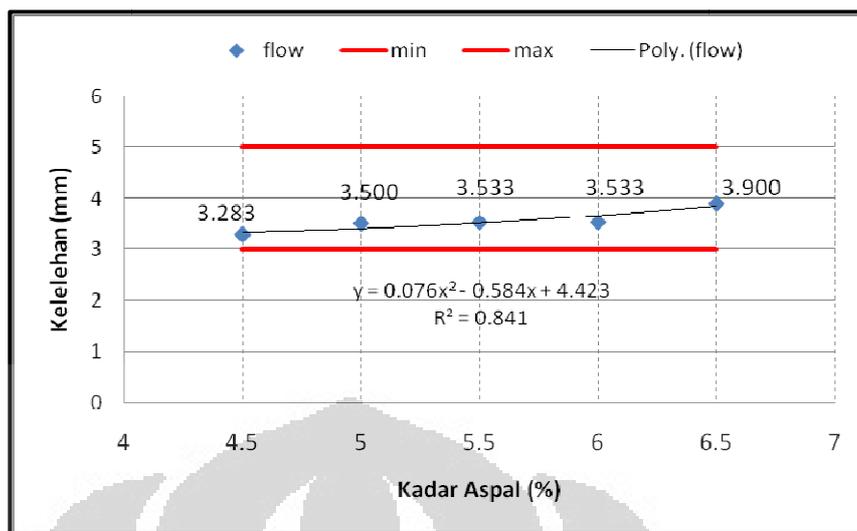
Nilai kelelehan ditinjau untuk mengetahui kinerja campuran aspal modifikasi BGA dan Tabel 4.22 menunjukkan nilai kelelehan dari campuran aspal modifikasi BGA 5% sedangkan Tabel 4.23 menunjukkan nilai kelelehan dari campuran aspal modifikasi BGA 7%.

Tabel 4.22 Nilai Kelelehan Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%

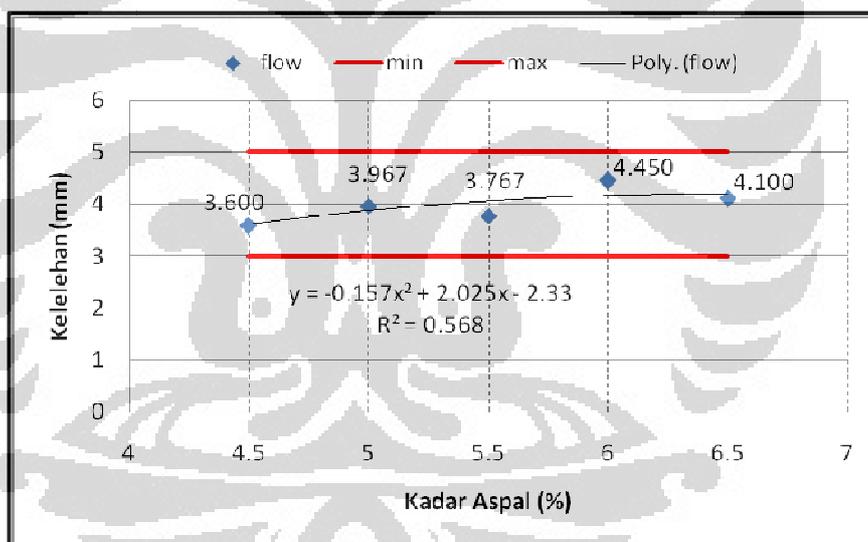
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (mm)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Kelelehan (mm)	1	3 - 5	3,4	3,3	3,9	3,6	4,0
	2	3 - 5	3,5	3,1	3,5	3,7	3,9
	3	3 - 5	3,0	4,1	3,2	3,3	3,8
		rata-rata	3,28	3,50	3,53	3,53	3,9
		Keterangan	OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 4.23 Nilai Kelelehan Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (mm)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Kelelehan (mm)	1	3 - 5	3,3	5,1	3,4	5,3	3,9
	2	3 - 5	4,1	3,8	3,8	3,5	4,6
	3	3 - 5	3,4	3,0	4,1	3,6	3,8
		rata-rata	3,6	4,0	3,8	4,5	4,1
		Keterangan	OK	OK	OK	OK	OK



Gambar 4.21 Grafik Kelelehan Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%



Gambar 4.22 Grafik Kelelehan Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Dari tabel maupun gambar grafik nilai kelelehan campuran terlihat bahwa nilai kelelehan campuran aspal modifikasi BGA 7% (Gambar 4.22) lebih tinggi daripada nilai kelelehan campuran aspal murni (Gambar 4.12) dan campuran aspal modifikasi BGA 5% (Gambar 4.21). Hal ini disebabkan karena kadar aspal pada campuran aspal modifikasi BGA 7% jauh lebih banyak dan bitumen dari BGA yang memiliki titik leleh

tinggi sehingga ketika uji *marshall* dilakukan sesaat setelah benda uji direndam di dalam *waterbath* (suhu 60°C) membuat campuran tetap dapat menerima beban dan tahan terhadap perubahan bentuk atau deformasi lebih besar.

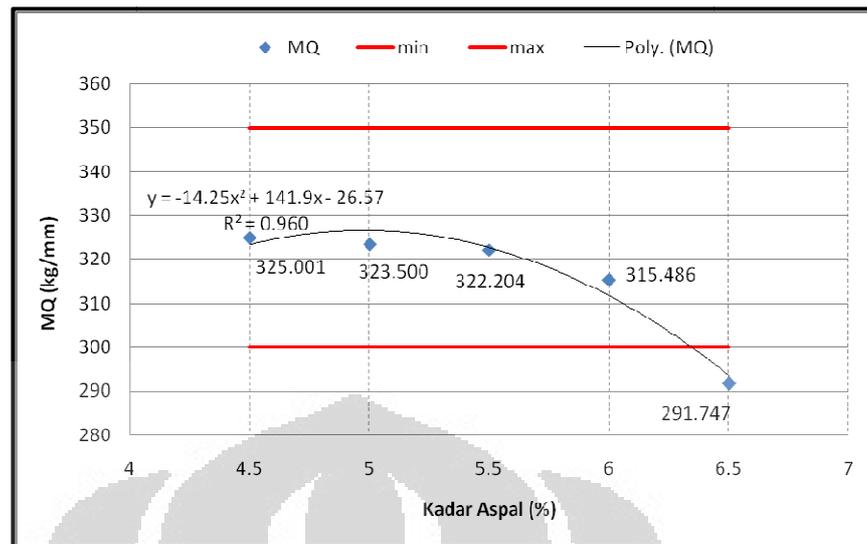
Nilai *Marshall Quotien* dari kedua campuran aspal modifikasi BGA 5% dan 7% ditunjukkan pada Tabel 4.24 dan 4.25. Pada kedua tabel tersebut, terdapat satu nilai yang tidak masuk ke dalam spek yaitu pada kadar aspal 6.5%, untuk campuran aspal modifikasi BGA 5% dan dua nilai pada campuran aspal modifikasi BGA 7%, yaitu pada kadar aspal 6% dan 6.5%.

Tabel 4.24 Nilai *Marshall Quotient* Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%

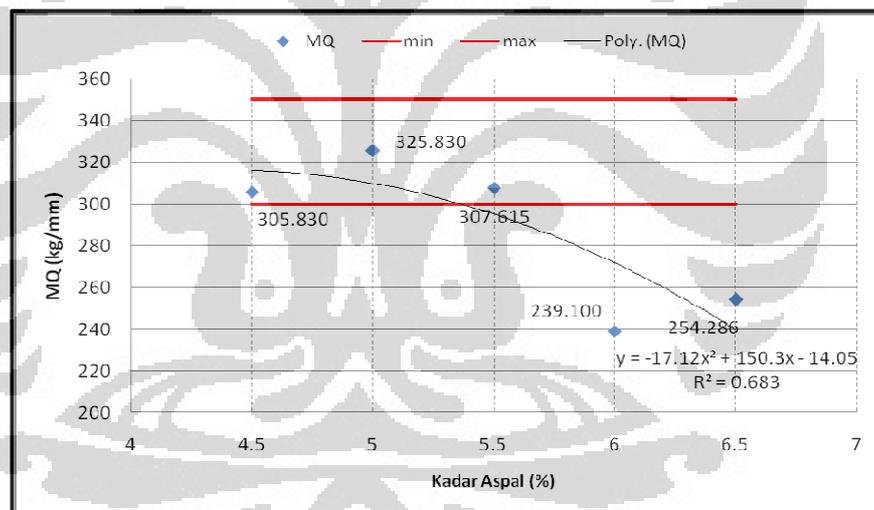
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg/mm)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
MQ (kg/mm)	1	300 - 350	275,566	366,432	268,111	289,293	256,205
	2	300 - 350	319,791	343,710	391,757	348,631	316,041
	3	300 - 350	379,648	260,360	306,744	308,533	302,994
	rata-rata		325,001	323,500	322,204	315,486	291,747
Keterangan			OK	OK	OK	OK	TIDAK OK

Tabel 4.25 Nilai *Marshall Quotient* Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg/mm)	kadar aspal				
			4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
MQ (kg/mm)	1	300 - 350	324,555	269,146	305,554	239,100	278,403
	2	300 - 350	262,914	325,830	307,615	319,693	253,053
	3	300 - 350	312,021	428,928	277,669	346,897	231,403
	rata-rata		305,830	325,830	307,615	239,100	254,286
Keterangan			OK	OK	OK	TIDAK OK	TIDAK OK



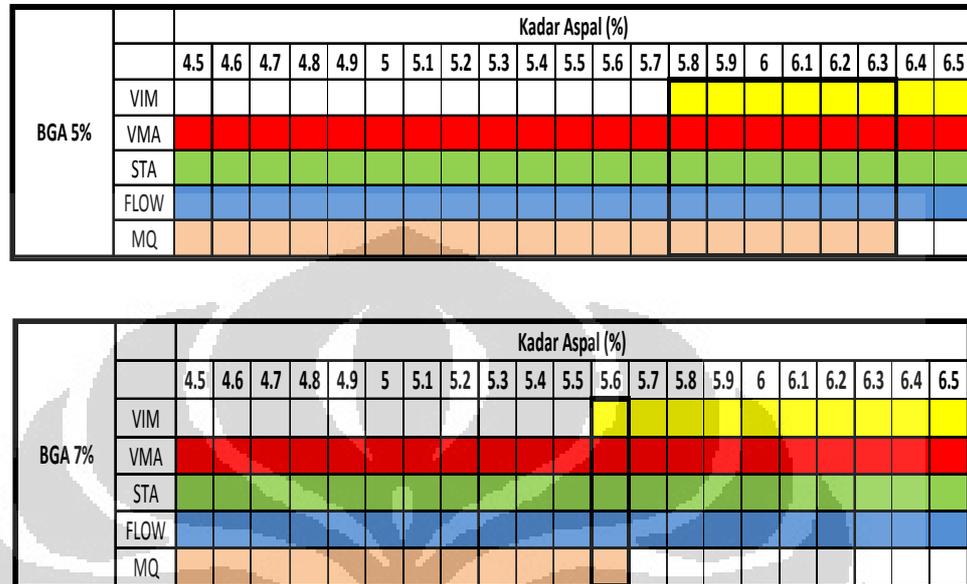
Gambar 4.23 Grafik *Marshall Quotient* Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%



Gambar 4.24 Grafik *Marshall Quotient* Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%

Gambar 4.23 menunjukkan bahwa nilai MQ untuk campuran aspal modifikasi BGA 5% menurun perlahan seiring penambahan aspal sampai akhirnya turun cukup drastis pada kadar aspal 6% dan akhirnya keluar dari spek pada kadar aspal 6.5%. Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi BGA 7%, grafik nilai MQ yang ditunjukkan pada Gambar 2.24 terlihat

meningkat pada awalnya kemudian menurun pada kadar aspal di atas 5% dan kemudian naik kembali pada saat kadar aspal lebih dari 6.1%.



Gambar 4.25 Rekap Faktor Penentu Kinerja Campuran

Gambar 4.25 merupakan rekap dari faktor-faktor penentu kinerja campuran aspal modifikasi BGA 5% dan 7%. Dari gambar tersebut diketahui bahwa kisaran kadar aspal yang memenuhi seluruh faktor penentu kinerja campuran aspal untuk campuran aspal modifikasi BGA 5% terletak antara kadar aspal 5.8% sampai dengan 6.3% sehingga kadar aspal 6.05% merupakan kadar aspal optimum dari campuran aspal tersebut. Sedangkan kadar aspal yang memenuhi seluruh faktor penentu kinerja campuran aspal untuk campuran aspal modifikasi BGA 7% terletak pada kadar aspal 5.6%, kadar aspal tersebut merupakan kadar aspal optimum campuran aspal modifikasi BGA 7%.

4.3.3 Campuran Aspal Modifikasi BGA dengan Polimer SBS

Jenis campuran aspal terakhir yang dibuat pada penelitian adalah campuran aspal yang terdiri dari aspal minyak yang telah dimodifikasi

dengan polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*), agregat kasar, agregat medium, agregat halus dan BGA. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, penambahan polimer pada aspal minyak penetrasi 60/70 yang digunakan pada campuran aspal modifikasi BGA diharapkan dapat menambah kinerja campuran aspal tersebut menjadi lebih baik. Kadar polimer SBS yang digunakan dalam pembuatan aspal modifikasi polimer adalah 2% dan 4%.

Untuk menyederhanakan penulisan, penyebutan campuran aspal modifikasi BGA dan SBS ini akan dibuat dengan aturan PX-BY. P menandakan “Polimer SBS”, X adalah kadar polimer yang digunakan, B adalah “BGA”, dan Y adalah kadar BGA yang digunakan. Optimasi jenis campuran aspal modifikasi BGA 5% dilakukan dengan cara menggunakan aspal yang telah dimodifikasi dengan polimer SBS 4% (P4-B5), sedangkan optimasi jenis campuran aspal modifikasi BGA 7% dilakukan dengan cara menggunakan aspal yang telah dimodifikasi dengan polimer SBS 2% (P2-B7).

Kombinasi campuran ini dibuat dengan pertimbangan bahwa kadar BGA paling rendah pada penelitian ini (BGA 5%) masih perlu dioptimalkan dengan penggunaan aspal modifikasi polimer dengan kadar paling tinggi yaitu 4% SBS, sedangkan campuran dengan kadar BGA paling tinggi pada penelitian ini (BGA 7%) hanya perlu dioptimalkan dengan penggunaan aspal modifikasi polimer dengan kadar paling rendah, yaitu 2% SBS. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai faktor-faktor kinerja campuran aspal modifikasi tersebut.

Tabel 4.26 dan Gambar 4.26 menunjukkan nilai VIM dari campuran aspal P4-B5. Sedangkan Tabel 4.27 dan Gambar 4.27 merupakan tabel yang menunjukkan nilai VIM dari campuran aspal P2-B7.

Tabel 4.26 Nilai VIM Campuran Aspal P4-B5

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
VIM (%)	1	3,5 - 5,5	8.480	7.797	4.199	5.127	3.489
	2	3,5 - 5,5	8.761	7.305	5.812	4.130	3.756
	3	3,5 - 5,5	9.303	6.865	7.166	4.062	3.387
rata-rata			8.848	7.323	5.726	4.440	3.544
Keterangan			TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	OK	OK

Tabel 4.26 menunjukkan bahwa nilai VIM pada campuran aspal P4-B5 pada kadar aspal 4.5%-5% sangat tinggi sehingga tidak masuk ke dalam spek dan berangsur turun sampai akhirnya nilai tersebut masuk ke dalam spek pada penggunaan kadar aspal 6%-6.5%. Hal ini disebabkan oleh agregat pada campuran yang belum terselimuti aspal secara menyeluruh pada kadar aspal awal (4.5%-5.5%), tetapi keadaan tersebut berubah dan menyebabkan turunnya nilai VIM sampai akhirnya dapat masuk ke dalam spek ketika kadar aspal yang digunakan semakin tinggi.

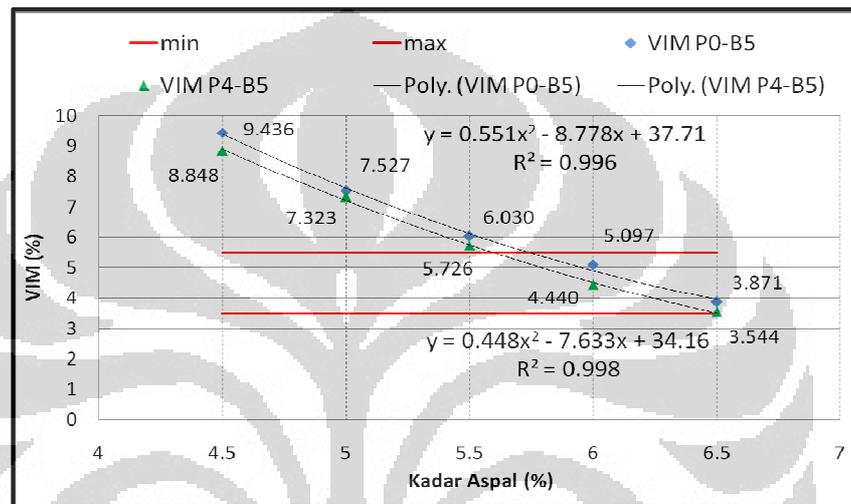
Tabel 4.27 Nilai VIM Campuran Aspal P2-B7

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
VIM (%)	1	3,5 - 5,5	5.739	4.652	3.985	3.009	2.477
	2	3,5 - 5,5	5.945	4.725	6.812	3.098	2.919
	3	3,5 - 5,5	5.655	5.391	5.439	3.645	2.513
rata-rata			5.780	4.923	5.412	3.251	2.636
Keterangan			TIDAK OK	OK	OK	OK	TIDAK OK

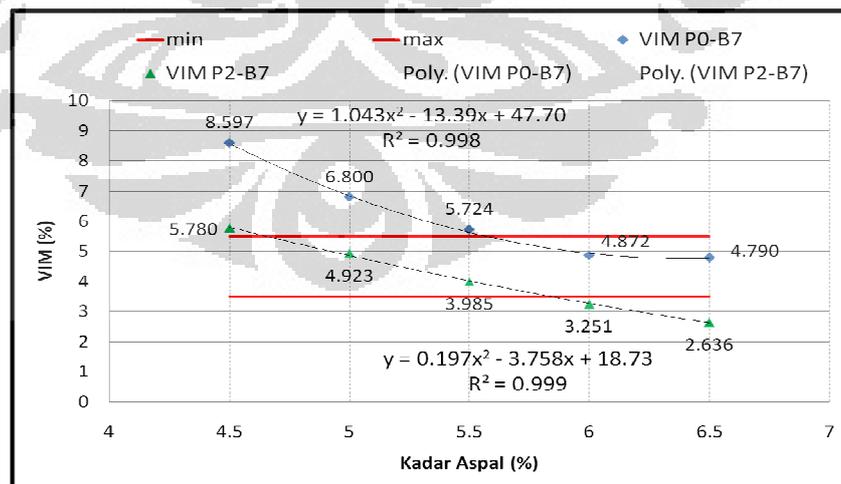
Tabel 4.27 menunjukkan nilai VIM pada campuran aspal P2-B7 yang sangat tinggi pada kadar aspal 4.5% namun berangsur turun sesuai dengan penambahan kadar aspal dan masuk ke dalam spek, sampai akhirnya nilai VIM keluar dari batas spek (lebih kecil dari nilai minimum spek) oleh

karena rongga pada campuran telah terisi dengan campuran agregat dan aspal.

Gambar 4.26 dan Gambar 4.27 menunjukkan perbandingan nilai VIM antara campuran aspal modifikasi BGA 5% dengan campuran aspal P4-B5 dan antara campuran aspal modifikasi BGA 7% dengan campuran aspal P2-B7.



Gambar 4.26 Grafik VIM Campuran Aspal P0-B5 dan P4-B5



Gambar 4.27 Grafik VIM Campuran Aspal P0-B7 dan P2-B7

Dari kedua gambar di atas, terlihat bahwa pengaruh penambahan polimer pada campuran adalah menurunkan kadar VIM dan menambah jangkauan nilai VIM yang masuk ke dalam spek. Artinya polimer membuat ikatan antara aspal semakin kuat dan dapat mengisi rongga-rongga udara yang terdapat dalam campuran dengan baik.

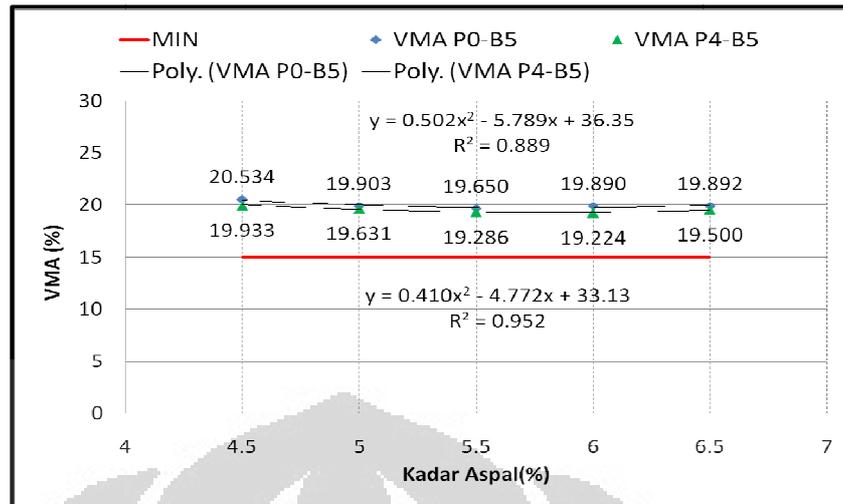
Tabel 4.28 dan Tabel 4.29 menunjukkan bahwa nilai VMA pada kedua campuran, baik campuran aspal P4-B5 maupun P2-B7 memenuhi spek. Hal ini menyatakan bahwa kadar rongga yang terdapat disekitar permukaan agregat pada kedua campuran ini masih berada di dalam batas yang wajar.

Tabel 4.28 Nilai VMA Campuran Aspal P4-B5

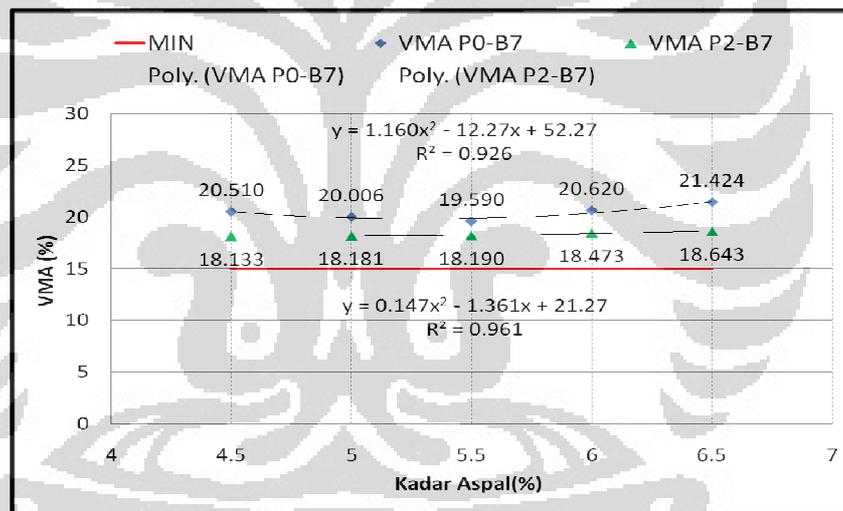
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
VMA (%)	1	> 15	19.610	20.043	17.979	19.805	19.454
	2	> 15	19.857	19.616	19.361	18.962	19.676
	3	> 15	20.333	19.235	20.520	18.904	19.369
	rata-rata			19.933	19.631	19.286	19.224
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 4.29 Nilai VMA Campuran Aspal P2-B7

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
VMA (%)	1	> 15	18.097	18.241	18.749	18.996	19.614
	2	> 15	18.276	18.304	21.141	19.071	19.979
	3	> 15	18.024	18.875	19.979	19.528	19.644
	rata-rata			18.133	18.473	19.956	19.198
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK



Gambar 4.28 Grafik VMA Campuran Aspal P0-B5 dan P4-B5



Gambar 4.29 Grafik VMA Campuran Aspal P0-B7 dan P2-B7

Dengan melihat grafik yang tersaji dalam Gambar 4.28 dan Gambar 4.29 dapat diketahui bahwa penggunaan polimer menurunkan nilai VMA pada kedua campuran. Dengan kata lain polimer membuat aspal menjadi pengikat yang semakin kuat mengikat fraksi agregat dan juga membuat aspal menyelimuti rongga permukaan agregat dengan baik.

Nilai stabilitas dari campuran aspal P4-B5 da P2-B7 dapat dilihat pada Tabel 4.30 dan Tabel 4.31. Tabel 4.30 menyatakan bahwa stabilitas dari campuran P4-B5 meningkat dari kadar aspal 4.5% dengan nilai stabilitas 1319.716 kg menjadi 1785.001 kg setelah kadar aspal ditambah menjadi 5.5%. Tetapi nilai stabilitas campuran ini mulai mengalami penurunan saat kadar aspal bertambah.

Tabel 4.30 Nilai Stabilitas Campuran Aspal P4-B5

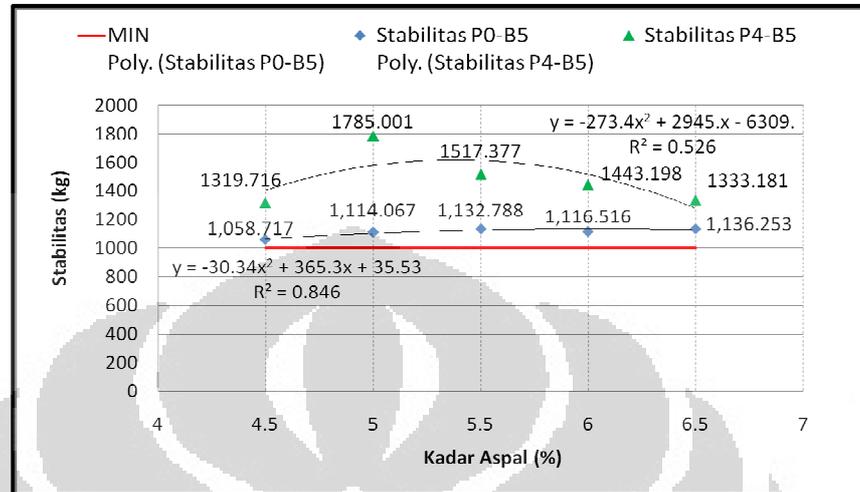
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
Stabilitas (kg)	1	> 1000	1069.888	1543.873	1808.462	1199.245	1310.394
	2	> 1000	1784.590	1949.643	1401.675	1544.392	1208.285
	3	> 1000	1104.671	1861.487	1341.994	1585.956	1480.863
rata-rata			1319.716	1785.001	1517.377	1443.198	1333.181
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 4.31 Nilai Stabilitas Campuran Aspal P2-B7

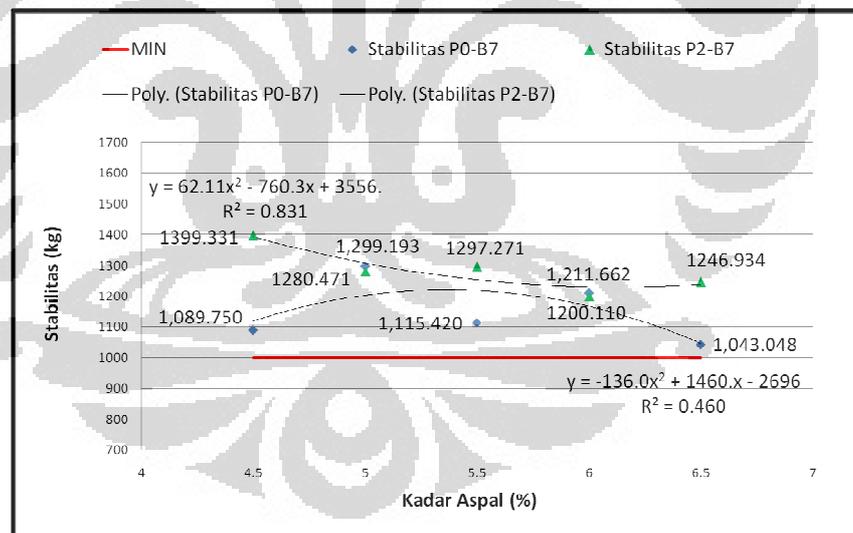
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
Stabilitas (kg)	1	> 1000	1068.867	1496.630	1425.362	1254.478	1285.470
	2	> 1000	1745.125	1234.582	1202.279	1271.227	1214.513
	3	> 1000	1384.001	1110.200	1264.171	1074.624	1240.820
rata-rata			1399.331	1280.471	1297.271	1200.110	1246.934
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 4.31 menyatakan bahwa walaupun nilai stabilitas campuran aspal P4-B7 dari kadar aspal 4.5% sampai dengan 6.5% tergolong fluktuatif tetapi secara garis besar nilai stabilitas campuran ini tetap mengalami penurunan sesuai penambahan aspal dan nilainya masuk ke dalam spek. Penurunan nilai stabilitas ini disebabkan oleh semakin banyaknya kadar

aspal yang terkandung pada campuran sehingga campuran tersebut menjadi lemah dan tidak tahan menahan beban yang besar.



Gambar 4.30 Grafik Stabilitas Campuran Aspal P0-B5 dan P4-B5



Gambar 4.31 Grafik Stabilitas Campuran Aspal P0-B7 dan P2-B7

Apabila dilihat pada Gambar 4.30 dan Gambar 4.31, terlihat bahwa nilai stabilitas campuran aspal modifikasi BGA mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh karena aspal polimer memiliki daktilitas dan titik

leleh yang tinggi sehingga campuran yang terdiri dari aspal modifikasi tersebut lebih tahan terhadap potensi deformasi pada temperatur yang tinggi, dalam hal ini 60°C (suhu *waterbath*).

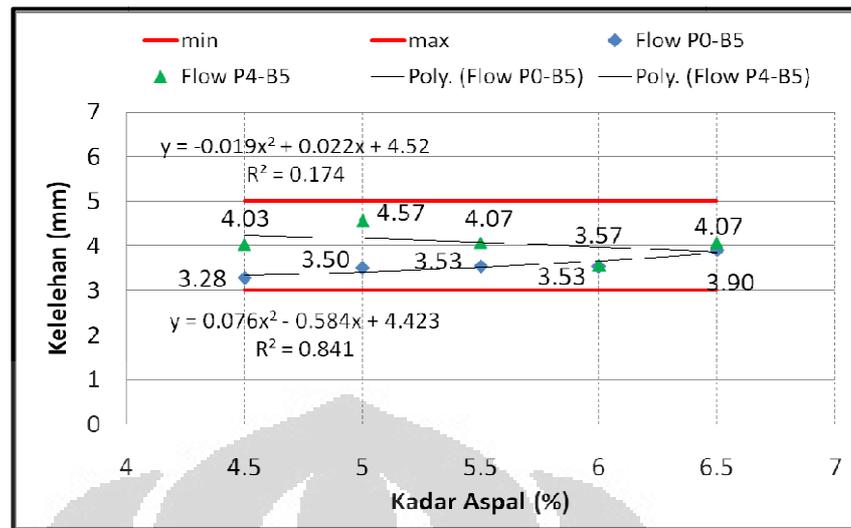
Nilai keelehan dari campuran aspal P4-B5 dan P2-B7 dapat dilihat pada Tabel 4.32 dan Tabel 4.33. Pada tabel ini terlihat bahwa nilai keelehan dari kedua campuran ini masuk ke dalam spek untuk semua kadar aspal.

Tabel 4.32 Nilai Kelelehan Campuran Aspal P4-B5

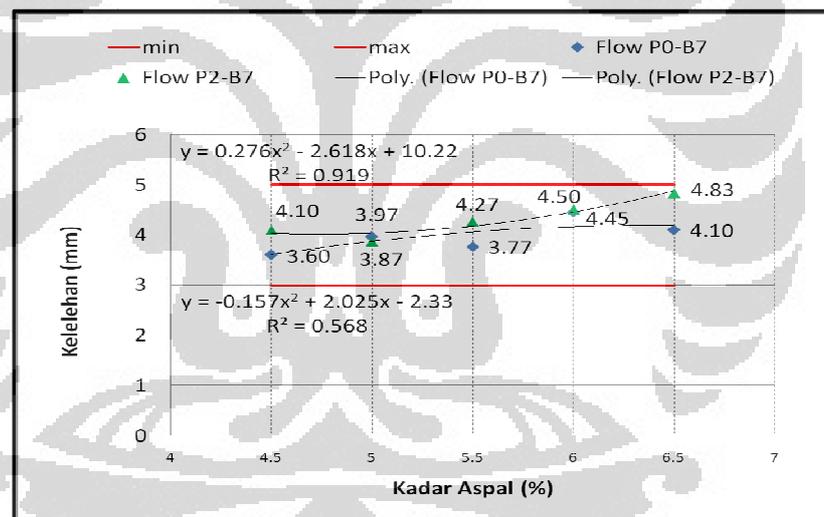
Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
Kelelehan (%)	1	3-5	3.60	4.60	4.00	3.60	4.50
	2	3-5	4.90	4.90	4.20	3.60	3.60
	3	3-5	3.60	4.20	4.00	3.50	4.10
	rata-rata		4.03	4.57	4.07	3.57	4.07
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 4.33 Nilai Kelelehan Campuran Aspal P2-B7

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
Kelelehan (%)	1	3-5	3.20	3.40	4.20	4.10	4.20
	2	3-5	4.60	4.40	3.70	4.40	4.80
	3	3-5	4.50	3.80	4.90	5.00	5.50
	rata-rata		4.10	3.87	4.27	4.50	4.83
Keterangan			OK	OK	OK	OK	OK



Gambar 4.32 Grafik Kelelehan Campuran Aspal P0-B5 dan P4-B5



Gambar 4.33 Grafik Kelelehan Campuran Aspal P0-B7 dan P2-B7

Dari Gambar 4.32 dan 4.33 juga dapat dilihat secara jelas bahwa nilai kelelehan campuran ini meningkat apabila dibandingkan dengan campuran aspal modifikasi 5% dan BGA 7%.

Faktor terakhir yang perlu ditinjau untuk mengetahui kinerja campuran aspal adalah nilai MQ yang merupakan hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan. Sehingga semakin besar nilai MQ suatu campuran menandakan bahwa campuran tersebut tahan menahan beban dan tahan terhadap deformasi.

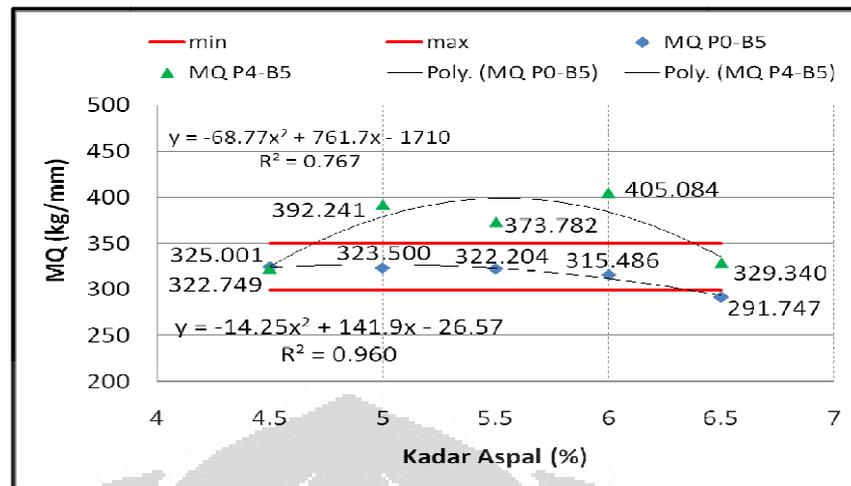
Tabel 4.34 Nilai *Marshall Quotient* Campuran Aspal P4-B5

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
MQ (kg/mm)	1	300-350	297.191	335.624	452.115	333.123	291.199
	2	300-350	364.202	397.886	333.732	428.998	335.635
	3	300-350	306.853	443.211	335.499	453.130	361.186
	rata-rata		322.749	392.241	373.782	405.084	329.340
Keterangan			OK	TIDAK OK	TIDAK OK	TIDAK OK	OK

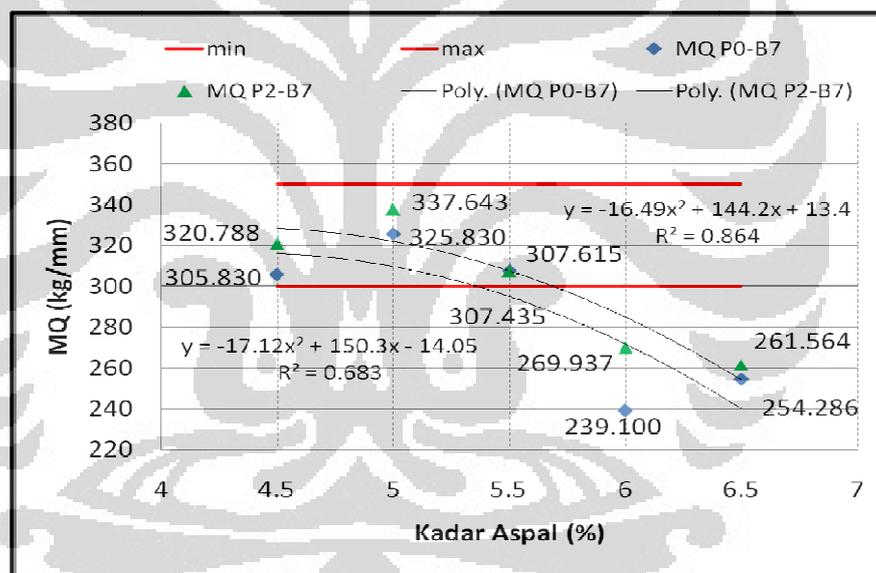
Tabel 4.35 Nilai *Marshall Quotient* Campuran Aspal P2-B7

Hasil Uji	No. Sampel	Spek (kg)	kadar aspal				
			4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
MQ (kg/mm)	1	300-350	334.021	440.185	339.372	305.970	306.064
	2	300-350	379.375	280.587	324.940	288.915	253.023
	3	300-350	307.556	292.158	257.994	214.925	225.604
	rata-rata		340.317	337.643	307.435	269.937	261.564
Keterangan			OK	OK	OK	TIDAK OK	TIDAK OK

Tabel 4.34 menunjukkan bahwa nilai MQ campuran aspal P4-B5 pada kadar aspal 5% sampai dengan 6% tidak masuk ke dalam spek. Sedangkan untuk nilai campuran aspal P2-B7, nilai MQ pada kadar aspal 6% dan 6.5% sangat rendah sehingga tidak masuk ke dalam spek.



Gambar 4.34 Grafik *Marshall Quotient* Campuran Aspal P0-B5 dan P4-B5



Gambar 4.35 Grafik *Marshall Quotient* Campuran Aspal P0-B7 dan P2-B7

Gambar 4.36 merupakan hasil rekap dari faktor penentu kinerja campuran dari campuran aspal modifikasi BGA dan polimer SBS. Dari gambar ini terlihat bahwa untuk campuran aspal P4-B5, semua nilai penentu kinerja campurannya tercapai pada kadar aspal 6.4% sampai dengan 6.5% sehingga jika dirata-rata diperoleh persentase 6.45% yang merupakan kadar aspal optimum campuran tersebut.

	Kadar Aspal (%)																				
	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5
P4-B5	VIM																				
	VMA																				
	STA																				
	FLOW																				
	MQ																				

	Kadar Aspal (%)																				
	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5
P2-B7	VIM																				
	VMA																				
	STA																				
	FLOW																				
	MQ																				

Gambar 4.36 Rekap Faktor Penentu Kinerja Campuran

Gambar 4.36 juga menunjukkan bahwa semua nilai penentu kinerja campuran untuk campuran aspal P2-B7 tercapai pada kadar aspal 4.7% sampai dengan 5.6% sehingga jika dirata-rata diperoleh persentase 5.15% yang merupakan kadar aspal optimum campuran tersebut.

Apabila hasil rekap faktor penentu kinerja campuran ini digabungkan, maka kadar aspal optimum (%) tiap campuran adalah :

1. Campuran Aspal Murni : 6.10
2. Campuran Aspal Modifikasi BGA 5% : 6.05
3. Campuran Aspal Modifikasi BGA 7% : 5.60
4. Campuran Aspal Modifikasi BGA 5% dan Polimer SBS 4% : 6.45
5. Campuran Aspal Modifikasi BGA 7% dan Polimer SBS 2% : 5.15

Oleh karena nilai stabilitas campuran aspal merupakan faktor yang paling berpengaruh pada suatu campuran, maka untuk mengetahui jenis campuran yang paling baik kinerjanya dari antara kelima campuran ini perlu dilakukan tinjauan lebih lanjut seperti yang tertera pada tabel 4.36.

Tabel 4.36 Perbandingan Nilai Stabilitas Campuran

No.	Jenis Campuran	Persamaan Polinomial	KAO	Pendekatan KAO	Stabilitas	
			(%)	(%)	Persamaan	Hasil Uji
1	Campuran Aspal Murni	$y = -94.49x^2 + 978.7x - 1553.$	6.10	6.0	901.097	911.171
2	Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	$y = -30.34x^2 + 365.3x + 35.53$	6.05	6.0	1135.075	1116.516
3	Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	$y = -136.0x^2 + 1460.x - 2696$	5.60	5.5	1215.040	1115.420
4	Campuran Aspal Modifikasi BGA 5% dan Polimer SBS 4%	$y = -273.4x^2 + 2945.x - 6309$	6.45	6.5	1312.127	1333.181
5	Campuran Aspal Modifikasi BGA 7% dan Polimer SBS 2%	$y = 62.11x^2 - 760.3x + 3556$	5.15	5.0	1287.767	1280.471

Keterangan :

y = Nilai Stabilitas

x = Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan hasil stabilitas dari benda uji maupun persamaan polinomial setiap campuran aspal, Tabel 4.36 menunjukkan bahwa dari kelima jenis campuran aspal yang dibuat, campuran aspal modifikasi BGA 5% dan Polimer SBS 4% adalah campuran aspal yang memiliki nilai stabilitas paling tinggi dan merupakan campuran yang memiliki kinerja paling baik.

Namun apabila ditinjau lebih lanjut, jenis campuran aspal modifikasi BGA 7% dan Polimer SBS 2% dinilai lebih memungkinkan untuk direalisasikan. Keputusan ini didasarkan pada pertimbangan akan harga polimer yang tinggi sehingga apabila campuran dengan kadar polimer tinggi digunakan, akan meningkatkan biaya pelaksanaan yang cenderung merugikan. Selain itu, nilai stabilitas campuran aspal modifikasi BGA 7% dan Polimer SBS 2% juga tidak terlalu jauh berbeda dengan nilai stabilitas campuran aspal modifikasi BGA 5% dan Polimer SBS 4%. Kedua pertimbangan ini menguatkan keputusan untuk memilih campuran aspal modifikasi BGA 7% dan Polimer SBS 2% sebagai campuran yang paling baik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penggunaan BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*) merupakan suatu usaha untuk meningkatkan kinerja campuran aspal panas. Berikut ini kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian pada benda uji campuran aspal panas :

1. Kinerja campuran aspal panas dapat ditinjau dari lima faktor, yaitu nilai VIM, VMA, stabilitas, kelelahan (*flow*) dan *marshall quotient* (MQ).

Tabel 5.1 Nilai Kinerja Campuran Aspal Panas

No.	Jenis Campuran	VIM	VMA	Stabilitas	Kelelahan	MQ
1	Campuran Aspal Murni	4.883	18.190	911.171	3.367	271.536
2	Campuran Aspal Modifikasi BGA 5%	5.097	19.229	1116.516	3.530	315.486
3	Campuran Aspal Modifikasi BGA 7%	5.724	19.590	1115.420	3.800	307.615
4	Campuran Aspal Modifikasi BGA 5% dan Polimer SBS 4%	3.544	19.500	1333.181	4.070	329.340
5	Campuran Aspal Modifikasi BGA 7% dan Polimer SBS 2%	4.923	18.473	1280.471	3.870	337.643

2. Penambahan BGA pada campuran aspal akan meningkatkan kekuatan dan keawetan campuran.
3. Penambahan Polimer SBS pada campuran aspal modifikasi BGA akan meningkatkan kinerja campuran aspal terutama stabilitas.

4. Dilihat dari nilai stabilitasnya, campuran aspal modifikasi BGA 5% dan Polimer 4% memiliki nilai tertinggi yang menandakan kinerja campuran aspal yang paling baik.
5. Tinjauan ekonomis menyebabkan campuran modifikasi BGA 7% dan Polimer 2% menjadi campuran aspal yang paling memungkinkan untuk direalisasikan, mengingat nilai stabilitasnya yang tidak jauh berbeda dengan campuran P4-B5.

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat dikemukakan beberapa saran untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat pada penelitian berikutnya :

1. Menjaga kondisi ruangan agar tidak ada angin yang dapat mempengaruhi penimbangan material.
2. Penumbukan benda uji dengan menggunakan mesin *Compaction* harus lebih akurat.
3. Perlunya penambahan jumlah benda uji untuk menambah keakuratan hasil pengamatan penelitian.
4. Menggunakan alat perekam saat pengujian *marshall* dilakukan sehingga pembacaan jarum Stabilitas (O) dan Kelelahan (R) lebih akurat.

Pengembangan penelitian berikutnya yang dapat dilakukan sebagai penelitian lanjutan adalah :

1. Menggunakan variasi tumbukan dengan menggunakan 5 sampel sehingga sebaran data penelitian lebih banyak dan data statistik yang diperoleh lebih baik dan akurat.
2. Menggunakan jenis uji lain (tidak hanya uji *marshall*) seperti uji permeabilitas dan uji ketahanan friksi campuran.
3. Menggunakan pengujian yang baru dengan menggunakan UMATTA untuk mencari modulus elastisitas dan *British Pendulum Test* untuk mengetahui ketahanan selip dari campuran aspal yang dibuat.

DAFTAR REFERENSI

- 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.
- Dairi, Gompul. (1992). Mikro Asbuton Sebagai Lapis Permukaan Jalan Bandung-Rancabali. *Konferensi Tahunan Teknik Jalan ke-4, Vol 2, Road Maintenance*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen.
- Hermadi, Madi. (2009). Peluang dan Tantangan Dalam Penggunaan Asbuton Sebagai bahan Pengikat Pada Perkerasan jalan. *Jurnal Jalan dan Jembatan*.
- 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.
- RSNI (Rancangan Standar Nasional Indonesia), *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, 2002, hal.4

Shell Bitumen. (1990), *Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen, U.K.

Somayaji, Shan. (2001). *Civil Engineering Materials*. New Jersey : Prentice-Hall.

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*.

Young, J.Francis., Mindess, Sidney, Gray, Robert J., & Bentur, Arnon. (1998). *The Science and Technology of Civil Engineering Materials*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.

