



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN BGA (*BUTON
GRANULAR ASPHALT*) DAN POLIMER SBS TERHADAP
SIFAT AGREGAT DAN ASPAL
DARI CAMPURAN ASPAL PANAS**

SKRIPSI

**GLORIA PATRICIA MANURUNG
0706266292**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITY OF INDONESIA

THE INFLUENCE OF BGA (*BUTON GRANULAR ASPHALT*) AND POLYMER SBS TO THE CHARACTERISTIC OF ASPHALT AND AGGREGATE IN ASPHALT CONCRETE MIXTURE

FINAL PROJECT

GLORIA PATRICIA MANURUNG

0706266292

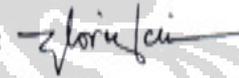
**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JANUARY 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISNALITAS

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

Nama : Gloria Patricia Manurung

NPM : 0706266292

Tanda Tangan : 

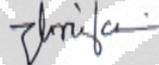
Tanggal : 12 Januari 2012

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 : Gloria Patricia Manurung

NPM : 0706266292

Signature : 

Date : January, 12th 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Gloria Patricia Manurung
NPM : 0706266292
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Penambahan BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan Polimer SBS Terhadap Sifat Agregat dan Aspal dari Campuran Aspal Panas

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. Ellen S.W. Tangkudung, MSc

Penguji : Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc

Ditetapkan di : Depok, Jawa Barat

Tanggal : 12 Januari 2012

STATEMENT OF LEGITIMATION

The final report is submitted by :

Name : Gloria Patricia Manurung
NPM : 0706266292
Study Program : Civil Engineering
Title of Final Project : The Influence of BGA (*Buton Granular Asphalt*)
and Polymer SBS To The Characteristic of
Asphalt dan Aggregate in Asphalt Concrete
Mixture

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. Ellen S.W. Tangkudung, MSc

Examiner : Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc

Approved at : Depok, West Java

Date : January, 12th 2012

(*Handwritten signature*)
(*Handwritten signature*)
(*Handwritten signature*)

KATA PENGANTAR

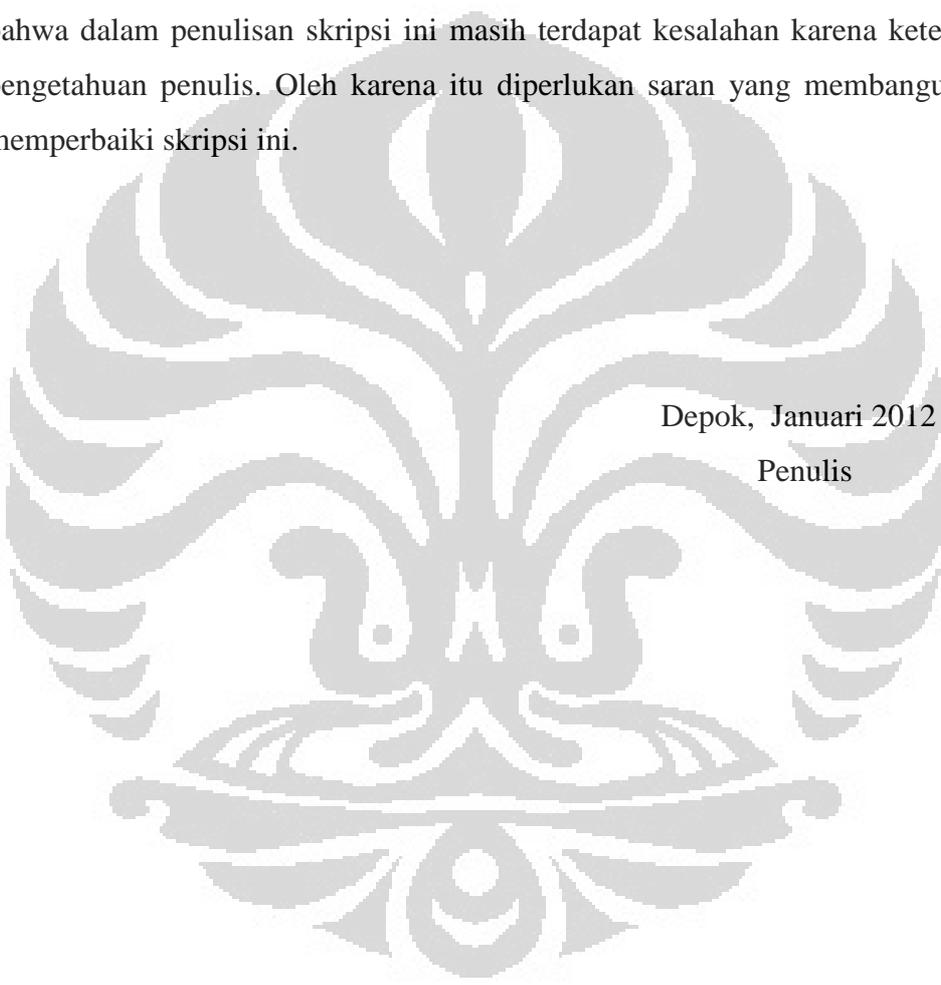
Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Penambahan BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan Polimer SBS Terhadap Sifat Agregat dan Aspal dari Campuran Aspal Panas”** ini dengan baik. Penulisan skripsi 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. Ir. Ellen S.W. Tangkudung, MSc 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. Utama 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. Bapak Jaelani dan Bapak Sunendar selaku karyawan Laboratorium Struktur dan Material yang telah membantu kelancaran penelitian ini dalam hal teknis.
6. Mama dan papa yang memberikan dukungan moriil dan materiil tiada ternilai hingga penelitian ini terselesaikan dengan baik.
7. Kak Yola, Mba Atun, Juan, dan seluruh pihak keluarga yang memberikan semangat, dukungan doa, dan waktu serta tenaga untuk mendukung terselesaikannya skripsi ini.
8. Midun Tata, Ungek, Disty, Preta, Dudun, Leduy, Okty, Vita, Erlin, dan seluruh teman-teman Teknik Sipil Universitas Indonesia angkatan 2007 yang

selama ini telah memberikan semangat, keceriaan dan dukungan yang tidak ternilai.

9. 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 : Gloria Patricia Manurung
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 Pengaruh Penambahan BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan Polimer SBS Terhadap Sifat Agregat dan Aspal dari Campuran Aspal Panas

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 12 Januari 2012

Yang menyatakan



Gloria Patricia Manurung

ABSTRAK

Nama : Gloria Patricia Manurung
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Analisis Pengaruh Penambahan BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan Polimer SBS Terhadap Sifat Agregat dan Aspal dari Campuran Aspal Panas

Stabilitas dan Fleksibilitas merupakan parameter penentu kualitas perkerasan jalan, dimana bahan dasar campuran yaitu aspal dan agregat merupakan faktor penentu nilai kinerja campuran tersebut. Skripsi ini membahas tentang pemeriksaan bahan dasar campuran yang kinerjanya telah dioptimumkan dengan modifikasi BGA dan polimer. 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 penggunaan BGA menambah konten agregat halus dengan ukuran butiran dominan saringan no.50 yang mencapai 24,08%, saringan no.100 yang mencapai 95,58%, dan saringan no.200 yang mencapai 151,59%. Pemeriksaan aspal menunjukkan dominasi BGA terhadap penurunan penetrasi aspal sebesar 52%, dan kenaikan titik lembek aspal. Sementara penambahan polimer sebanyak 4% terhadap campuran BGA dapat menurunkan nilai daktilitas aspal sampai dengan 80%.

Kata kunci : Bahan dasar campuran, gradasi, sifat aspal, BGA, SBS

ABSTRACT

Name : Gloria Patricia Manurung
Study Program : Civil Engineering
Title : The Influence of BGA (*Buton Granular Asphalt*) and Polymer SBS to The Characteristic of Asphalt and Aggregate in Asphalt Concrete Mixture

The asphalt mixture performance is influenced by its properties, which are aggregate and asphalt. This thesis defines the influence of BGA and SBS Polymer to the gradation of aggregate and asphalt. Variation of BGA's composition are 5% and 7% from mixture and Polymer are 2% and 4% from content of asphalt.

Result shows changes of BGA gradation to finer size. Mixtures with BGA addition show increases of aggregate content up to 24,08% for sieve no.50, 95,58% for sieve no.100, and 151,59% for sieve no.200. The asphalt test shows that BGA can decrease penetration of asphalt polymer mixture for 52%, and also increasing the softening point. Combination of 4% polymer and BGA decrease asphalt ductility up to 80%.

Keywords : Mixture Properties, Gradation, Asphalt, BGA, SBS

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Agregat.....	5
2.1.1 Jenis Agregat.....	5
2.1.2 Karakteristik Agregat.....	9
2.1.2.1 Sifat Geometrik.....	9
2.1.2.2 Properti Fisik.....	15
2.2 Aspal.....	17
2.2.1 Jenis Aspal	19
2.2.2 Aspal Sebagai Material Perkerasan	20
2.2.3 Pemeriksaan Aspal.....	23
2.3 Asbuton	24
2.3.1 Karakteristik Asbuton.....	26

2.3.2 Asbuton Butir	30
2.4 Polimer	31
3. METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Perencana Penelitian	36
3.1.1 Uji Mutu	35
3.1.1.1 Pemeriksaan Aspal Pertamina Penetrasi 60/70	35
3.1.1.2 Pemeriksaan Agregat	36
3.1.1.3 Pemeriksaan BGA	37
3.1.2 Menentukan Kadar Aspal Campuran	38
3.1.3 Benda Uji	42
3.1.4 Ekstraksi	43
3.1.5 Pengujian Bahan Dasar Campuran	43
3.2 Pelaksanaan	46
3.2.1 Bahan Baku Penelitian	46
3.2.2 Pemeriksaan Aspal Pertamina Penetrasi 60/70	46
3.2.3 Pemeriksaan Agregat	48
3.2.4 Uji Ekstraksi dan Pemeriksaan Bahan	46
3.3 Tahap Analisa Dan Pembahasan	48
3.4 Tahap Kesimpulan Dan Saran	48
4. DATA DAN ANALISA PENELITIAN	55
4.1 Pengujian Material	55
4.1.1 Hasil Pengujian Mutu Aspal	55
4.1.2 Hasil Pemeriksaan BGA	62
4.1.2.1 <i>Pemeriksaan Analisa Saringan</i>	62
4.1.2.2 Pemeriksaan Bga	65
4.2 Proporsi Material Campuran	67
4.2.1 Proporsi Agregat Dan Aspal	67
4.2.2 Proporsi Material Dengan BGA	70
4.2.2.1 Proporsi Material Dengan Bga 5 %	70
4.2.2.2 Proporsi Material Dengan Bga 7 %	72

4.3 Kadar Aspal Optimum Dari Data Tes Marshall.....	74
4.4 Hasil Uji Ekstraksi.....	78
4.4.1 Analisa Saringan.....	78
4.4.2 Perubahan Gradasi Terhadap Ukuran Saringan.....	97
4.4.3 Data Pemeriksaan Aspal.....	102
4.4.3.1 Data Pemeriksaan Penetrasi Aspal.....	102
4.4.3.2 Data Pemeriksaan Titik Lembek Aspal.....	108
4.4.3.3 Data Pemeriksaan Daktilitas Aspal.....	112
4.4.4 Pemeriksaan Perubahan Volume Aspal.....	116
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	127
5.1 Kesimpulan.....	127
5.2 Saran.....	129
DAFTAR REFERENSI.....	130

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gradasi Agregat.....	11
Gambar 2.2	Kelembaban Agregat.....	15
Gambar 2.3	Properti Agregat.....	18
Gambar 2.4	Skema Proporsi Rongga Dalam Campuran Aspal.....	22
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	45
Gambar 3.2	Extractor Reflux.....	51
Gambar 3.3	Metode Perolehan Bahan Campuran	52
Gambar 3.4	Metode Perolehan Volume Aspal.....	54
Grafik 3.1	Grafik Gradasi Spesifikasi IV	40
Grafik 4.1	Sebaran Gradasi Agregat.....	62
Grafik 4.2	Gradasi BGA Sebelum Ekstraksi.....	64
Grafik 4.3	Gradasi BGA Setelah Ekstraksi	64
Grafik 4.4	Grafik BGA Sebelum dan Setelah Ekstraksi.....	65
Grafik 4.5	Gradasi Campuran Aspal Murni	69
Grafik 4.6	Gradasi Gabungan BGA 5 %.....	72
Grafik 4.7	Gradasi Gabungan BGA 7%	73
Grafik 4.8	Stabilitas BGA 5 % Polimer 0 %.....	75
Grafik 4.9	Stabilitas BGA 7 % Polimer 2 %	77
Grafik 4.10	Stabilitas BGA 7 % Polimer 4 %.....	78
Grafik 4.11	Gradasi BGA 5 % sampel no.2.....	80
Grafik 4.12	Gradasi BGA 5 % sampel no.1.....	82
Grafik 4.13	Gradasi BGA 5 % Polimer 2 % sampel no.1.....	84
Grafik 4.14	Gradasi BGA 5 % Polimer 2 % sampel no.3.....	85
Grafik 4.15	Gradasi BGA 5 % Polimer 4 % sampel no.2.....	87
Grafik 4.16	Gradasi BGA 5 % Polimer 4 % sampel no.1.....	88

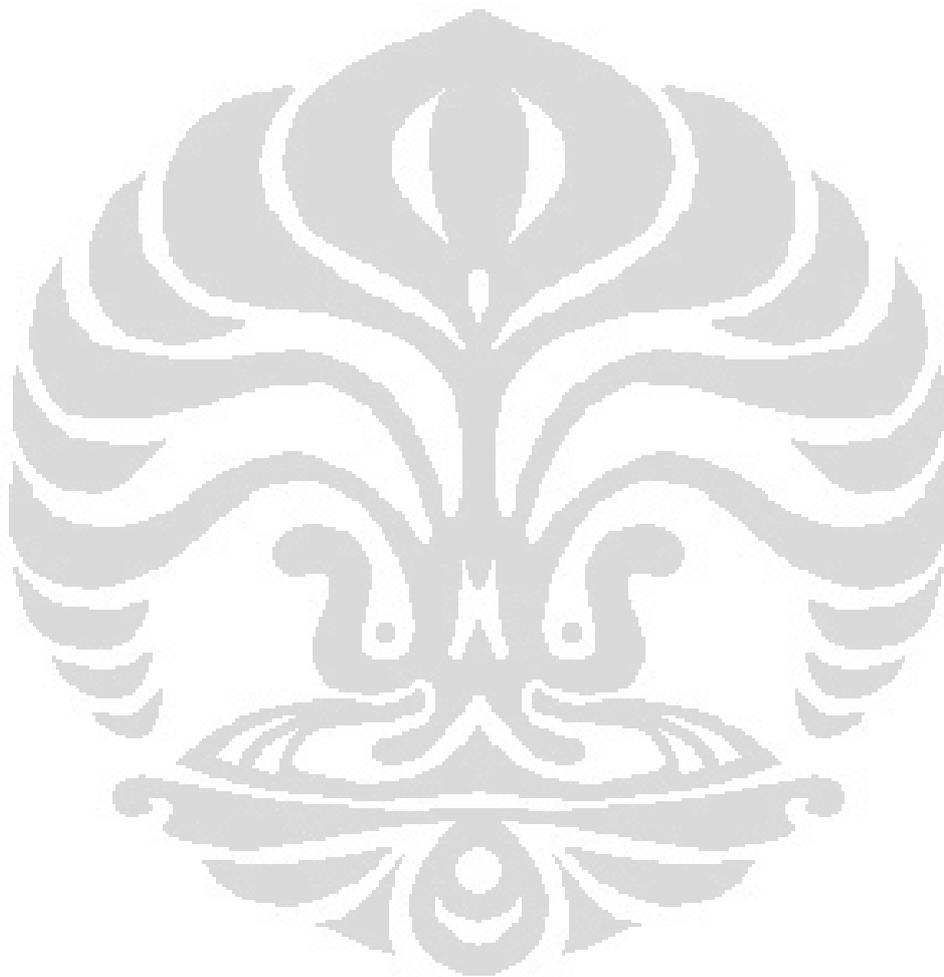
Grafik 4.17	Gradasi BGA 7 % sampel no.3.....	90
Grafik 4.18	Gradasi BGA 7 % sampel no.2.....	91
Grafik 4.19	Gradasi BGA 7 % Polimer 2 % sampel no.1	93
Grafik 4.20	Gradasi BGA 7 % Polimer 2 % sampel no.2.....	94
Grafik 4.21	Gradasi BGA 7 % Polimer 4 % sampel no.1.....	95
Grafik 4.22	Gradasi BGA 7 % Polimer 4 % sampel no.3.....	96
Grafik 4.23	Perubahan Gradasi Saringan no.4.....	98
Grafik4.24	Perubahan Gradasi Saringan no.8	98
Grafik 4.25	Perubahan Gradasi Saringan no.30.....	99
Grafik 4.26	Perubahan Gradasi Saringan no.50	100
Grafik4.27	Perubahan Gradasi Saringan no.100	101
Grafik4.28	Perubahan Gradasi Saringan no.200	102
Grafik 4.29	Penetrasi Campuran.....	106
Grafik 4.30	Penetrasi Campuran	106
Grafik 4.32	Pengaruh BGA Terhadap Penetrasi Aspal Polimer...	107
Grafik 4.33	Pengaruh Polimer Terhadap Penetrasi Aspal BGA ...	107
Grafik 4.33	Titik Lembek Campuran	110
Grafik 4.34	Pengaruh Polimer Terhadap Titik Lembek Aspal BGA	110
Grafik 4.35	Pengaruh BGA Terhadap Titik Lembek Aspal Polimer	111
Grafik 4.36	Daktilitas Campuran	114
Grafik 4.37	Daktilitas Campuran.....	114
Grafik 4.38	Pengaruh BGA Terhadap Daktilitas Aspal Polimer...	115
Grafik 4.39	Pengaruh Polimer Terhadap Daktilitas Aspal BGA...	115
Grafik 4.40	Pengaruh BGA Terhadap Kadar Aspal Murni.....	120
Grafik 4.41	Perubahan Volume Aspal	122
Grafik 4.42	Perubahan Berat Agregat	124

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persyaratan Agregat Kasar	7
Tabel 2.2	Persyaratan Agregat Standar Halus	8
Tabel 2.3	Persyaratan pengujian gradasi filler (ASTM-C33).....	9
Tabel 2.4	Ukuran Bukaannya Saringan	12
Tabel 2.5	Persentase Minimum Rongga Dalam Agregat	12
Tabel 2.6	Persyaratan Gradasi Agregat Campuran Berbagai Jenis Beton Aspal	13
Tabel 2.7	Persyaratan Gradasi Agregat Berbagai Tipe Laston	14
Tabel 2.8	Jenis Pengujian Aspal	23
Tabel 2.9	Syarat Pemeriksaan Aspal Keras	24
Tabel 2.10	Jenis Produksi Asbuton Butir	26
Tabel 2.11	Sifat fisik aspal asbuton dari Kabungka dan Lawele	27
Tabel 2.12	Persyaratan Asbuton Butir	31
Tabel 2.1	Klasifikasi polimer berdasarkan keperluan untuk perkerasan	33
Tabel 2.14	Persyaratan Pengujian Polimer Elastomer	33
Tabel 2.15	Kelebihan dan Kekurangan AMP	34
Tabel 3.1	Spesifikasi IV	38
Tabel 3.2	Jumlah Perancangan Benda Uji	42
Tabel 3.3	Jumlah Sampel Ekstraksi	43
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Aspal Pertamina Penetrasi 60/70	55
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan Agregat	58
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Gradasi Agregat	61
Tabel 4.4	Hasil Analisis Saringan BGA	63
Tabel 4.5	Pemeriksaan Kadar Aspal BGA Murni	67
Tabel 4.6	Gradasi Gabungan	68
Tabel 4.7	Berat Material Campuran Aspal Murni	70
Tabel 4.8	Proporsi Agregat Gradasi Gabungan BGA 5%	71

Tabel 4.9	Berat Material Campuran BGA 5 %	72
Tabel 4.10	Proporsi Agregat Gradasi Gabungan BGA 7 %	73
Tabel 4.11	Berat Material Campuran BGA 7 %	74
Tabel 4.12	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 0% Sampel no.2	79
Tabel 4.13	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 0% Sampel no.1	81
Tabel 4.14	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 2% Sampel no.1	83
Tabel 4.15	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 2% Sampel no.3	84
Tabel 4.16	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 4% Sampel no.2	86
Tabel 4.17	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 4% Sampel no.1	87
Tabel 4.18	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 0% Sampel no.3	89
Tabel 4.19	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 0% Sampel no.2	91
Tabel 4.20	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 2% Sampel no.1	92
Tabel 4.21	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 2% Sampel no.2	93
Tabel 4.22	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 4% Sampel no. 1	95
Tabel 4.23	Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 0% Sampel no.23	96
Tabel 4.24	Penetrasi Campuran	105
Tabel 4.25	Titik Lembek Campuran	109
Tabel 4.26	Daktilitas Campuran	113

Tabel 4.27 Kadar Aspal Campuran	120
Tabel 4.28 Perubahan Volume Aspal	121
Tabel 4.29 Perubahan Berat Agregat	123
Tabel 4.30 Kadar Asbuton BGA	125



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Campuran aspal dengan berbagai jenis modifikasi saat ini kian dikembangkan untuk menjadi solusi bagi berbagai masalah konstruksi perkerasan. Tingginya suhu lingkungan serta perkembangan jumlah beban kendaraan kerap menjadi penyebab utama terjadinya deformasi serta retak pada permukaan perkerasan. Untuk itu, dibutuhkan suatu campuran aspal dengan stabilitas tinggi namun tetap mempertahankan kelenturannya. Kinerja campuran ini dipengaruhi oleh karakteristik bahan pencampurnya yaitu gradasi dari agregat serta sifat aspal. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini akan dilihat bagaimana karakteristik bahan dasar campuran dan perubahannya oleh penambahan bahan aditif.

BGA (Buton Granular Asphalt) merupakan hasil pengolahan aspal Buton oleh PT. Sarana Karya, dengan konten yaitu asbuton dan mineral berbentuk granular. Asbuton ini menyelimuti permukaan butiran dengan kadar sebesar 23-27 % dan ukuran butiran sebesar maksimum 1,2 mm. Asbuton memiliki sifat yang kaku atau penetrasi rendah serta titik lembek yang tinggi (*T. Sugiarto-PT.Sarana Karya, 2004*). Pencampurannya dalam campuran aspal diharapkan dapat meningkatkan kualitas aspal sehingga meningkatkan pula kinerja campuran aspal. Butiran mineral dari BGA yang memiliki sebaran gradasi juga akan mempengaruhi gradasi agregat.

Polimer merupakan bahan aditif aspal yang baik. Beberapa penelitian tentang aspal modifikasi polimer menunjukkan peningkatan kinerja campuran serta kualitas dari aspal pengikatnya. Hal ini disebabkan sifatnya yang tahan terhadap suhu tinggi, fleksibilitas yang tinggi, meningkatkan sifat kohesif dari

aspal (*G.D. Airey, 2004*) dan meningkatkan umur pakai/keawetan campuran. (*G. Moisés, 2004*)

Untuk mendapatkan kualitas bahan campuran optimum dengan ketahanan yang tinggi terhadap temperatur, kekakuan yang cukup, serta fleksibilitas yang baik, dalam penelitian ini dilakukan pula modifikasi campuran dengan BGA dan polimer.

Dari penelitian ini dapat diketahui pengaruh dari penambahan BGA dan polimer terhadap sifat aspal, volume aspal, dan gradasi dari agregat.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Menganalisis pengaruh BGA (*Buton Granular Asphalt*) terhadap gradasi agregat dalam campuran aspal beton panas untuk lapisan aspal beton jenis AC-WC.
- Menganalisis pengaruh BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*) terhadap sifat aspal dalam campuran aspal beton panas untuk lapisan aspal beton jenis AC-WC.

1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Dalam penelitian ini, yang termasuk dalam ruang lingkungnya adalah:

- a. Benda uji yang digunakan dalam penelitian
 - Aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70
 - Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm
 - Agregat halus berupa abu batu
 - Filler BGA (*Buton Granular Asphalt*)
 - Zat aditif polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*)

b. Jenis pengujian yang dilakukan

- 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
- Pemeriksaan Berat Jenis Agregat
- Pemeriksaan Penyerapan Agregat
- Analisa Butiran (*Shieve Analysis*)
- Uji Ekstraksi dengan menggunakan *extractor reflux*

I.4 BATASAN PENELITIAN

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Jenis aspal yang digunakan adalah aspal pertamina penetrasi 60/70
- Bahan tambahan yang digunakan adalah BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan Polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*)
- Spesifikasi gradasi agregat adalah Lapis Aspal Beton Tipe IV Spesifikasi Bina Marga.
- Sifat yang diukur dari bahan sebelum uji dilaksanakan adalah gradasi agregat, penetrasi aspal, titik lembek aspal, pemeriksaan titik nyala dan titik bakar, pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal, pemeriksaan kelarutan bitumen aspal, pemeriksaan daktilitas aspal, dan pemeriksaan berat jenis bitumen.
- Sifat yang diukur dari bahan setelah uji dilaksanakan adalah gradasi agregat, penetrasi aspal, titik lembek aspal, daktilitas aspal, serta perubahan volume aspal.

- Pengujian kinerja campuran aspal dilakukan secara eksplisit.
- Tidak dilakukan uji reaksi kimia material.
- Penelitian dilakukan di laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia .

I.5 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan batasan penelitian

BAB II STUDI LITERATUR

Berisi teori literatur tentang sifat-sifat material pembentuk campuran aspal yaitu agregat, aspal, BGA (*Buton Granular Asphalt*), Polimer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi metodologi dan sistematika percobaan yang dilakukan dalam penelitian untuk mencari pengaruh BGA dan polimer SBS terhadap agregat dan aspal untuk campuran aspal Lapis Aspal Beton Tipe IV Spesifikasi Bina Marga.

BAB IV DATA DAN ANALISA

Berisi data hasil pengujian baik pemeriksaan mutu material maupun hasil pengujian gradasi agregat dan sifat aspal untuk campuran aspal Lapis Aspal Beton Tipe IV Spesifikasi Bina Marga.

BAB V KESIMPULAN

Berisi kesimpulan baik hasil maupun data serta tinjauan singkat dari seluruh pengujian dalam penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 AGREGAT

Menurut ASTM, agregat merupakan suatu bahan yang terdiri dari mineral padat berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen (Djanasudirja, S, 2007).

2.1.1 JENIS AGREGAT

The Asphalt Institute mendefinisikan agregat ke dalam 3 jenis menurut tempat asalnya (J. F. Young, 1998), yaitu:

1. Agregat alam (*natural aggregate*)
Merupakan agregat yang langsung diambil dari alam tanpa melalui proses pengolahan khusus.
2. Agregat dengan pengolahan (*manufacture aggregate*)
Merupakan agregat yang berasal dari mesin pemecah dan penyaring batu (*stone crusher*). Tujuan dari pengolahan ini adalah untuk memperbaiki gradasi agregat agar sesuai dengan ukuran yang diinginkan.
3. Agregat buatan (*synthetic aggregate*)
Merupakan agregat yang dibuat khusus dengan tujuan agar memiliki daya tahan yang tinggi dan ringan untuk digunakan dalam konstruksi jalan.

Berdasarkan proses terjadinya agregat dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu :

1. Agregat beku (*igneous rock*), adalah agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Agregat beku luar (*extrusive igneous rock*) dibentuk dari magma yang keluar ke permukaan bumi saat gunung dan akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku menjadi batuan. Agregat beku dalam (*intrusive igneous rock*) dibentuk dari magma yang tidak dapat keluar ke permukaan bumi kemudian mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan di dalam bumi, dapat ditemui dipermukaan bumi akibat proses erosi atau pergerakan kulit bumi.

2. Agregat sedimen (*sedimentary rock*), yang merupakan agregat yang dapat berasal dari campuran partikel material, 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. Berdasarkan proses terbentuknya agregat sedimen dibedakan atas :
 - Agregat sedimen yang dibentuk dengan proses mekanik, seperti breksi, konglomerat, batu pasir dan batu lempung, banyak mengandung silika.
 - Agregat sedimen yang dibentuk dengan proses organis, seperti batu gamping, batu bara dan opal
 - Agregat sedimen yang dibentuk dengan proses kimia, seperti batu gamping, garam, gips dan flint.
3. Agregat metamorfik (*metamorphic rock*), adalah agregat sedimen ataupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi. Berdasarkan strukturnya dapat dibedakan atas agregat metamorf yang masif seperti marmer, kwarsit dan agregat metamorf berfoliasi berlapis seperti batu sabak, filit dan sekis.

Berdasarkan pengolahannya, agregat dibedakan atas agregat siap pakai dan agregat perlu diolah (*Silvia Sukirman, 2007*). Agregat siap pakai dapat dipakai sebagai material perkerasan jalan tanpa atau dengan sedikit proses pengolahan. Bentuk agregat ini ditentukan oleh proses alam erosi dan degradasi yang dialaminya, sehingga bentuknya dapat bulat berpermukaan licin karena pengaruh erosi, dan juga kasar bersudut oleh degradasi. Jenis agregat siap pakai yang digunakan sebagai material perkerasan adalah kerikil dan pasir. Sementara agregat perlu diolah ditemui dalam bentuk masif, sehingga perlu dilakukan pemecahan terlebih dahulu. Agregat jenis ini lebih baik sebagai material perkerasan karena bidang pecahan, ukuran, serta tekstur sesuai yang diinginkan.

Berdasarkan ukuran butiran, Bina Marga mengklasifikasikan agregat menjadi:

1. Agregat kasar, dengan ukuran butir lebih besar dari saringan no.4 (4,75 mm)

2. Agregat halus, dengan ukuran butir lebih halus dari saringan no.4 (4,75 mm)
3. *Filler*/bahan pengisi, yang minimum 75% lolos saringan no.200 (0,075 mm)

Sementara menurut *The Asphalt Institute (MS-2)* dan Dekimpraswil dalam Spesifikasi Baru Campuran Panas 2002, agregat dibedakan menjadi:

1. Agregat kasar, dengan ukuran butir lebih besar dari saringan no.8 (= 2,36 mm)
2. Agregat halus, dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan no.8 (= 2,36 mm)
3. *Filler*/bahan pengisi, yang lolos saringan no.30 (= 0,60 mm)

Agregat Kasar

Fungsi agregat kasar dalam campuran panas aspal adalah memberikan stabilitas dalam campuran. Persyaratan standar agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Persyaratan Agregat Kasar

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

Catatan

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

(Sumber: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 2000)

Agregat kasar harus mempunyai ketahanan yang cukup terhadap abrasi, terutama untuk pengguna agregat sebagai lapis aus atau permukaan perkerasan. Agregat kasar harus awet, mempunyai kekekalan bentuk dan mempunyai muka bidang pecah (angularitas) yang cukup untuk memberikan daya dukung atau stabilitas kepada campuran beraspal. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih. (Pennsylvania DoT's Test Method No.621).

Agregat halus

Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, kering, kuat, awet dan bebas dari gumpalan-gumpalan lempung dan bahan-bahan lain yang mengganggu serta terdiri dari butir-butir yg bersudut tajam dan mempunyai permukaan yang kasar.

Tabel 2.3 Persyaratan Agregat Standar Halus

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

(Sumber: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 2000)

Agregat harus berfungsi utk menambah stabilitas dari campuran dengan memperkokoh sifat saling mengunci (*interlocking*) dari agregat kasar. Selain itu

agregat halus juga berfungsi untuk mengurangi rongga udara dalam campuran dan menaikkan luas permukaan dari agregat sehingga akan menaikkan kadar aspal. Kadar aspal yang cukup tinggi akan membuat campuran menjadi lebih awet (*durable*). Persyaratan standar agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Bahan pengisi (filler)

Bahan pengisi (*filler*) terdiri dari debu batu kapur (*imestone dust*), abu terbang, semen (PC), abu tanur semen dan abu batu serta harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bahan lain yg mengganggu. (Dept.PU,2007)

Bahan pengisi merupakan bahan campuran yang mengisi ruang antara agregat halus dan kasar yang akan meningkatkan kepadatan, yang juga akan meningkatkan nilai stabilitas dan ketahanan terhadap deformasi. Persyaratan pengujian gradasi filler tertera pada Tabel 2.3.

Tabel 2.4 Persyaratan pengujian gradasi filler (ASTM-C33)

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

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

2.1.2 KARAKTERISTIK AGREGAT

2.1.2.1. SIFAT GEOMETRIK

Properti geometrik dari agregat adalah ukuran partikel, gradasi, serta bentuk dan tekstur permukaan dari agregat (*J. F. Young, 1998*). Tekstur permukaan yang kasar seperti kertas amplas cenderung menambah kekuatan dari campuran aspal agregat dan memerlukan penambahan aspal untuk menjaga kehilangan workability

nya. Batuan alam seperti batu-batu sungai sering dijumpai mempunyai permukaan halus dan berbentuk bulat. Dengan memecah batuan tersebut akan didapat permukaan yang kasar dan bentuk yang tidak bulat lagi. Permukaan yang halus mudah untuk diselimuti oleh film aspal, tetapi permukaan yang kasar film aspal cenderung lebih mempunyai daya lekat yang tinggi.

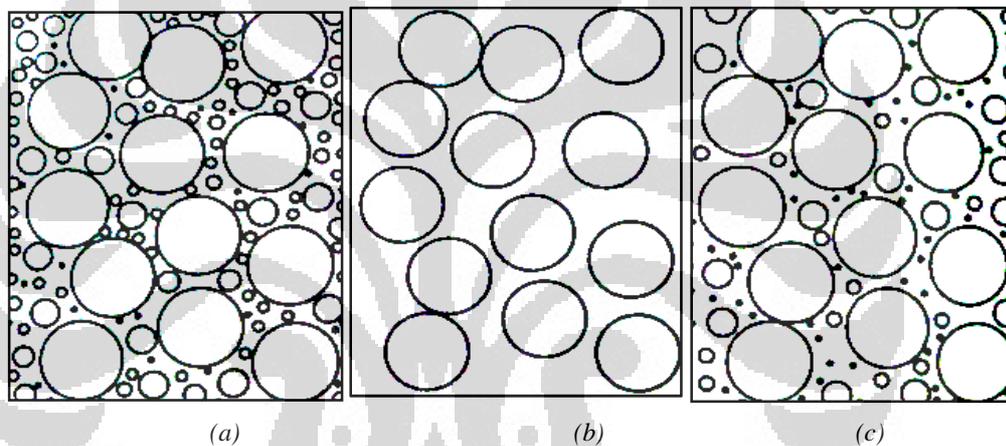
Penentuan ukuran partikel adalah berdasarkan diameter butiran. Dalam hubungannya dengan ukuran saringan, ukuran partikel yang melewati sebuah ukuran bukaan dinamakan d_i . Dan partikel dengan ukuran bukaan d_i dan tertahan di ukuran saringan berikutnya dinamakan d_{i-1} . Sehingga dapat dikatakan ukuran partikel tersebut adalah $d_i - d_{i-1}$. Dalam sebuah campuran agregat, ukuran maksimum agregat (*MSA/Maximum Size Agregate*) adalah ukuran bukaan terkecil yang dilewati seluruh agregat.

Distribusi ukuran partikel dalam campuran agregat dinamakan gradasi (*J. F. Young, 1998*). Gradasi adalah susunan butir agregat menurut ukurannya (*Silvia Sukirman, 2007*). Gradasi dinyatakan dalam persentase kumulatif partikel yang lebih kecil atau lebih besar dari ukuran bukaan saringan tertentu. Dalam agregat campuran, gradasi agregat berperan dalam menentukan besar rongga atau pori yang dapat terjadi, dimana rongga atau pori yang terjadi akan berjumlah sedikit jika distribusi agregat besar sampai kecil merata, karena rongga-rongga yang dibentuk agregat berukuran besar akan diisi oleh agregat berukuran kecil. Distribusi butir-butir agregat dalam suatu campuran menentukan jenis gradasi agregat tersebut.

Jenis gradasi agregat dikelompokkan dalam 2 kategori (*S. Sukirman, 2003*):

1. Agregat bergradasi baik/agregat bergradasi rapat (*continous*), adalah agregat dengan butiran terdistribusi merata dalam suatu rentang butir. Sifat campuran agregat ini adalah memiliki sedikit pori atau rongga, mudah dipadatkan, serta memiliki nilai stabilitas tinggi. Berdasarkan ukuran dominan penyusun campuran agregat, agregat bergradasi baik dibedakan menjadi:
 - Agregat bergradasi halus, agregat yang memiliki susunan ukuran menerus dari kasar sampai halus, yang dominan berukuran agregat halus.

- Agregat bergradasi kasar, agregat yang memiliki susunan ukuran menerus dari kasar sampai halus, yang dominan berukuran agregat kasar.
2. Agregat bergradasi buruk, yang merupakan agregat tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Beberapa jenis agregat yang tergolong bergradasi buruk antara lain:
- Agregat bergradasi seragam (*uniform*), yang terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama, sehingga memiliki pori antar butir yang cukup besar.
 - Agregat bergradasi senjang (*gap*), dimana distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau tidak memiliki suatu bagian ukuran butir.



Gambar 2.1.(a) Gradasi Menerus; (b) Gradasi Seragam; (c) Gradasi Senjang

(Sumber: *The Science and Technology of Civil Engineering Materials*, 1998)

Analisa saringan agregat (*sieve analysis*) menggunakan satu set saringan dengan ukuran bukaan semakin kebawah semakin mengecil, yang diawali dengan tutup saringan dan diakhiri dengan pan. Penyusunan saringan menurut ukuran bukaan disesuaikan dengan jenis pemeriksaan yang akan dilakukan. Ukuran bukaan merupakan besarnya ukuran agregat yang dapat diloloskan oleh saringan. Jenis saringan serta ukuran bukaan dapat dilihat pada table 2.4.

Tabel 2.5 Ukuran Bukaannya Saringan

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

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

Ukuran saringan dalam satuan panjang (inci) menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan dalam 1 satuan luas inci. Persentase minimum rongga dalam agregat untuk ukuran maksimum agregat dalam suatu campuran agregat dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.6 Persentase minimum rongga dalam agregat

Ukuran Maksimum Nominal Agregat		% Minimum Rongga dalam Agregat
inchi	mm	
No. 16	1,18	23,5
No. 8	2,36	21,0
No. 4	4,75	18,0
$\frac{3}{8}$ i	9,50	16,0
$\frac{1}{2}$	12,50	15,0
$\frac{3}{4}$	19,00	14,0
1	25,00	13,0
1 ½	37,50	12,0
2	50,00	11,5
2 1/2	63,00	11,0

(Sumber: The Asphalt Institute, 1983)

Dalam campuran aspal, gradasi agregat menentukan rongga campuran. Rongga dalam campuran yang tidak ditempati oleh agregat dinamakan VMA (*Void in mineral aggregate*) (*The Asphalt Institute*). Rongga ini sebagian akan diisi oleh aspal pada campuran aspal, sehingga jumlah rongga udara yang akan tersisa secara tidak langsung ditentukan oleh VMA. Persentase minimum rongga dalam agregat untuk ukuran maksimum agregat dalam suatu campuran agregat dapat dilihat pada tabel 2.5.

Dalam perkerasan, gradasi agregat merupakan salah satu faktor penentu kinerja perkerasan tersebut. Setiap jenis perkerasan jalan memiliki gradasi agregat tertentu sesuai dengan spesifikasi material perkerasan jalan atau yang ditetapkan oleh badan yang berwenang. Tabel 2.6 menunjukkan persyaratan gradasi agregat campuran dari 3 jenis beton aspal.

Tabel 2.7 Persyaratan Gradasi Agregat Campuran Berbagai Jenis Beton Aspal

Ukuran Saringan	% berat lolos							
		Laston (AC)			Lataston (HRS)		Latasir (SS)	
No.	Bukaan (mm)	AC-WC	AC-BC	AC-Base	HRS- WC	HRS- Base	Kelas A	Kelas B
1 1/2 "	37,5			100				
1 "	25		100	90-100				
3/4 "	19	100	90-100	Maks 90	100	100	100	100
1/2 "	12,5	90-100	Maks 90		90-100	90-100		
3/8 "	9,5	Maks 90		19-45	75-85	65-100	90-100	
No.8	2,36	25-58	23-39		50-72	35-55		75-100
No.16	1,18							
No.30	0,6				35-60	15-35		
No.200	0,075	4-10	4-8	3,7	6-12	2-9		

(Sumber: Dekimpraswil, 2002)

Tabel 2.8 Persyaratan Gradasi Agregat 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*

Catatan:

- No. Campuran : I,III,IV,VI,VII,VIII,IX,X dan XI digunakan untuk lapis permukaan
- No. Campuran : II digunakan untuk lapis permukaan,levelling dan lapis antara
- No. Campuran : V, digunakan untuk lapis permukaan dan lapis antara

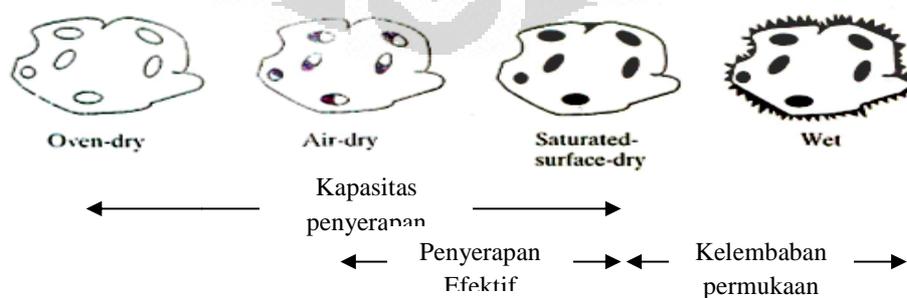
Untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat (*heavy traffic*), pada umumnya digunakan perkerasan beton aspal jenis Laston (Lapisan Aspal Beton). Laston dengan jenis gradasi menerus ini memiliki karakteristik utama stabilitas. Tabel 2.7 menunjukkan persyaratan gradasi untuk berbagai jenis laston.

2.1.2.2. PROPERTI FISIK

Properti fisik pada agregat meliputi porositas dan rongga, penyerapan agregat, serta berat jenis agregat. Porositas didefinisikan sebagai volume di dalam butiran agregat yang tidak dapat terisi material padat (*J.F. Young, 1998*). Indikasi porositas agregat dinyatakan dalam banyaknya air yang diserap ketika agregat tersebut direndam dalam air (*Didik Purwadi, 2008*). Agregat yang porous akan menyerap aspal, sehingga campuran cenderung kering atau kurang daya lekat (*cohesive*). Pada campuran agregat aspal (*hotmix*) ada sedikit penambahan kadar aspal untuk memenuhi penyerapan aspal oleh agregat. Agregat yang sangat porous bila dipakai dalam campuran harus ditambah aspal cukup banyak.

Rongga dalam butiran terbagi atas rongga terhubung (*interconnected*) dan rongga terpisah (*discontinued*). Rongga terhubung disebut juga rongga efektif, yang terhubung ke permukaan agregat dan dapat dipenetrasi oleh air atau cairan lain (*J.F. Young, 1998*). Nilai porositas efektif butiran merupakan porositas total dari butiran tersebut.

Butiran agregat dapat menyerap air dan menahan lapisan air tipis di permukaannya. Berdasarkan kemampuan tersebut, agregat dapat dibagi kedalam 4 kondisi kelembaban seperti terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Kondisi kelembaban agregat (Sumber: *The Science and Technology of Civil Engineering Materials, 1998*)

1. Oven-dry (OD). Partikel tidak lagi memiliki kelembaban karena proses pemanasan oven pada suhu 105°C sampai berat tetap. Seluruh pori tidak berisi.
2. Air-dry (AD). Seluruh partikel air telah dihilangkan dari permukaan agregat, akan tetapi bagian dalam butiran terisi air sebagian.
3. Saturated-surface-dry (SSD). Seluruh pori partikel telah terisi air, dengan permukaan yang kering.
4. Basah. Seluruh pori agregat dan permukaannya dilapisi oleh air.

Kondisi SSD/jenuh kering permukaan berpengaruh terhadap kapasitas penyerapan agregat. Kapasitas penyerapan agregat adalah jumlah maksimum air yang dapat diserap partikel agregat dengan persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas penyerapan (\%)} = \frac{W_{SSD} - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100$$

..... 2.1

Penyerapan efektif agregat merupakan jumlah air yang dibutuhkan dari kondisi AD sampai menjadi SSD dengan persamaan 2.2. sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan efektif (\%)} = \frac{W_{SSD} - W_{AD}}{W_{SSD}} \times 100$$

..... 2.2

Kelembaban permukaan yang merupakan kadar air pada lapisan permukaan agregat, didapatkan berdasarkan perbandingan kondisi basah dengan SSD dapat dihitung dengan persamaan 2.3. sebagai berikut:

$$\text{Kelembaban permukaan (\%)} = \frac{W_{WET} - W_{SSD}}{W_{SSD}} \times 100$$

..... 2.3

Sementara kadar kelembaban agregat dalam keadaan umum, seperti pada tempat penyimpanan, didapatkan dari hubungan berat agregat di kondisi umum (W_{AGG}) dengan berat pada kondisi kering/*over-dry* dan dihitung dengan persamaan 2.4. sebagai berikut:

$$\text{Kadar kelembaban (\%)} = \frac{W_{AGG} - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100$$

..... 2.4

Jika kadar kelembaban lebih besar dari kapasitas penyerapan, maka agregat dapat dikatakan dalam kondisi basah. Dan jika nilai kelembaban lebih rendah dari kapasitas penyerapan, maka agregat dikelompokkan dalam kategori *air-dry* dan akan menyerap kelembaban.

Properti fisik lain dari agregat adalah berat jenis. Berat jenis merupakan perbandingan masa agregat dengan masa dari air pada volume yang sama. Berat jenis dibagi kedalam 3 kondisi kelembaban agregat dan dihitung dengan persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7.

$$\text{Berat jenis butiran (bulk)} = W_{OD} / (W_{SSD} - W_A) \dots\dots\dots 2.5$$

$$\text{Berat jenis SSD} = W_{SSD} / (W_{SSD} - W_A) \dots\dots\dots 2.6$$

$$\text{Berat jenis semu (apparent)} = W_{OD} / (W_{OD} - W_A) \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana : BK = Berat kering oven

Bj = Berat jenuh kering permukaan

Ba = Berat agregat dalam air

Properti lain dari agregat adalah kekuatan. Kekuatan dibutuhkan untuk mencegah partikel rusak saat proses pemadatan campuran aspal panas, dan juga saat menerima beban kendaraan. Solusi yang dapat digunakan saat kekuatan agregat bernilai kecil adalah menggunakan agregat bergradasi rapat. Agregat juga harus tahan terhadap keausan/abrasi akibat beban lalu lintas. Ketahanan terhadap keausan menyatakan kekerasan butiran agregat. Tes terhadap keausan dilakukan dengan Tes abrasi Los Angeles (SNI 03-2417-1991). Batas keausan maksimum berdasarkan tes abrasi dengan mesin Los Angeles adalah 40%.

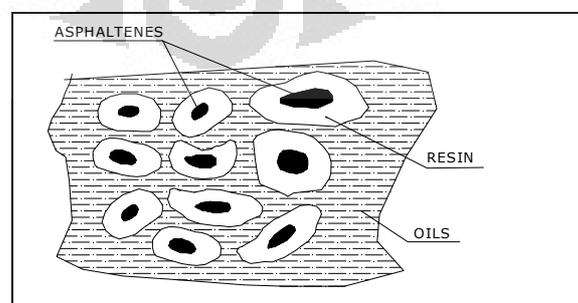
2.2 ASPAL

Aspal didefinisikan sebagai material perekat berwarna hitam atau cokelat tua, dengan unsur utama bitumen. ASTM D8 mendefinisikan aspal sebagai, material

perekat (*cementitious*) berwarna hitam atau coklat tua dalam bentuk solid, semisolid, atau kental, alami atau buatan, yang terdiri dari molekul-molekul *hydrocarbon* dalam kadar yang tinggi (*Materials for Roads and Pavements*). Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi, dan umum digunakan sebagai bahan pengikat agregat dalam campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berat campuran atau 10-15% volume campuran.

Dari segi komposisi molekul pembentuknya, aspal terdiri dari tiga jenis komponen, yaitu:

- *Asphaltenese*
Asphaltenese merupakan bagian aspal yang mempunyai berat molekul terbesar. Asphaltenens sangat menentukan bentuk fisik aspal seperti tingkat kekentalan, wujud dan warna aspal.
- *Resins*
Resins sangat berpengaruh terhadap sifat adhesive dan kekenyalan aspal dan merupakan komponen yang molekul strukturnya paling labil sehingga apabila aspal mengalami oksidasi, struktur bagian ini akan berubah dan cenderung membentuk molekul yang mempunyai berat molekul yang lebih berat. Apabila dalam campuran aspalkekurangan resins maka sifat aspal yang terbentuk akan menjadi keras, kurang adhesive dan kurang kenyal.
- *Oils*
Oils sangat mempengaruhi kekentalan aspal.



Gambar 2.3. Properti aspal

2.2.1 JENIS ASPAL

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan menjadi aspal alam dan aspal minyak. Klasifikasi aspal berdasarkan asalnya adalah sebagai berikut:

a. Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang didapat di suatu tempat di alam dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Salah satu contoh aspal alam adalah aspal dari Pulau Buton, yang dikenal dengan asbuton (Aspal Batu Buton). Selain itu, terdapat pula aspal yang diperoleh dari danau, seperti di Trinidad, yang merupakan aspal alam terbesar di dunia.

a. Aspal minyak

Aspal minyak merupakan residu pengilangan minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung paraffin, atau *mixed base crude oil* yang banyak mengandung paraffin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung paraffin dan aspal. Untuk perkerasan jana umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*. Aspal merupakan hasil residu destilasi minyak bumi yang bentuknya padat. Akan tetapi pengolahan hasil residu ini dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada temperatur ruang.

Berdasarkan bentuknya pada temperatur ruang, maka aspal dibedakan menjadi aspal padat, aspal cair, dan aspal emulsi.

a. Aspal Padat

Aspal padat adalah aspal berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair bila dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*). Oleh karena itu aspal semen harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.

b. Aspal cair

Aspal cair (*cutback asphalt*) adalah aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Berdasarkan

bahan pencairnya aspal cair dibedakan menjadi; *Rapid curing cut back asphalt* (dengan bahan pencair bensin), *medium curing cut back asphalt* (dengan bahan pencair minyak tanah/kerosene), *slow curing cut back asphalt* (dengan bahan pencair solar).

c. Aspal emulsi

Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi sifatnya lebih cair dari aspal cair, dan didalam aspal emulsi butiran aspal larut dalam air.

2.2.2 ASPAL SEBAGAI MATERIAL PERKERASAN

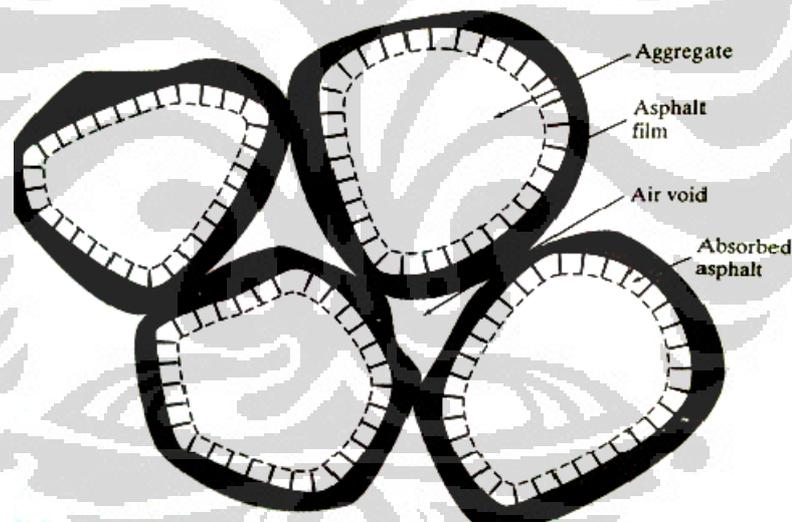
Fungsi aspal sebagai material perkerasan adalah:

- Bahan pengikat material agregat
- Bahan pengisi rongga butiran antar agregat dan pori-pori yang ada di dalam butiran agregat tersebut.

Untuk dapat memenuhi kedua fungsi tersebut, agregat haruslah memiliki sifat adhesi dan kohesi yang baik sehingga aspal tersebut memiliki durabilitas yang tinggi. Daya tahan atau durabilitas pada aspal merupakan kemampuan aspal mempertahankan sifat dan bentuk asalnya dari pengaruh cuaca, beban dan pengaruh eksternal lainnya.

Penggunaan aspal pada perkerasan dapat melalui dicampurkan pada agregat sebelum dihamparkan (prahampar) seperti pada lapisan beton aspal atau disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan dan ditutupi oleh agregat-agregat yang lebih halus (pascahampar) seperti pada perkerasan penetrasi makadam atau pelaburan. Pada proses prahampar, aspal yang dicampurkan dengan agregat akan membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antar butir dan meresap ke dalam pori masing-masing butir. Sementara pada proses pascahampar, aspal akan meresap ke dalam pori-pori antar butir agregat dibawahnya. Fungsi utamanya adalah menghasilkan lapisan perkerasan bagian atas yang kedap air dan tidak mengikat agregat sampai ke bagian bawah.

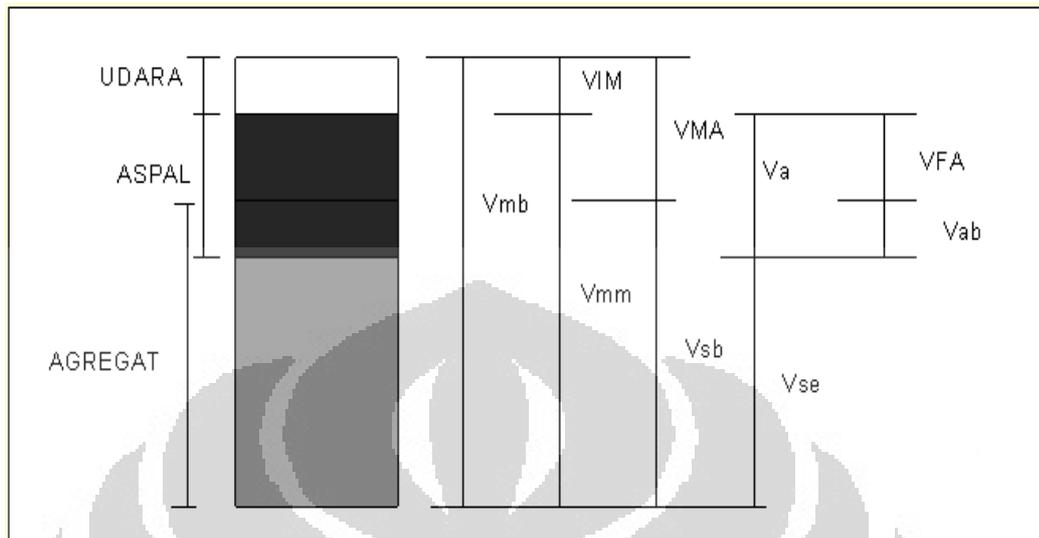
Dalam campuran perkerasan, konten aspal dan agregat menentukan besar rongga udara yang berperan penting dalam durabilitas lapis perkerasan sehubungan dengan udara dan air. Permeabilitas yang tinggi terhadap udara dapat memicu terjadinya penggetasan pada aspal akibat oksidasi dan menyebabkan retak/*crack*. Sedangkan permeabilitas air menyebabkan pelepasan bitumen dari butiran agregat. Rongga udara juga harus dijaga agar tidak terlalu rendah karena menjadi penyebab utama retak alur (*rutting*). Rendahnya rongga udara dapat disebabkan oleh kadar aspal di atas batas optimum. Kadar aspal yang terlalu rendah dapat menyebabkan pelepasan butiran agregat. (Waddah S. A., 1998) Rongga udara berperan sangat penting dalam performa campuran perkerasan. Sehingga penentuan rongga udara merupakan komponen yang diutamakan dalam perancangan campuran agar tidak ada karakteristik yang tidak bernilai optimum (Mix, 1993).



Rongga udara dalam campuran aspal

(Sumber: The Asphalt Institute, 1983)

Rongga dalam campuran dikenal dengan VIM (*Void in mix*). VIM adalah rongga dalam campuran yang tidak ditempati oleh agregat maupun aspal (*The Asphalt Institute*). Rongga udara yang terbentuk dalam campuran aspal dapat dilihat pada gambar diatas. Gambar diatas dijabarkan secara skematik pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema proporsi rongga dalam campuran aspal

(Sumber: Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman, 2007)

Keterangan:

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

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

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

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

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

VIM = volume pori dalam beton aspal padat

V_a = volume aspal dalam beton aspal padat

VFA = volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal

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

2.2.3 PEMERIKSAAN ASPAL

Secara umum, berdasarkan tujuannya, pemeriksaan aspal dikelompokkan menjadi 6 kelompok pengujian sebagai berikut:

1. Pengujian komposisi aspal
2. Pengujian keselamatan kerja
3. Pengujian konsistensi aspal
4. Pengujian kepekaan terhadap temperatur
5. Pengujian kelekatan aspal terhadap agregat (*stripping test*)
6. Pemeriksaan berat jenis aspal

Jenis pengujian yang dilakukan untuk setiap kelompok pengujian dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2.9 Jenis Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Standar Pengujian	
		SNI	AASHTO
I	Pengujian komposisi aspal		
	Solubility test	SNI-06-2438-1991	T 44-90
	Spot test		T 102-83
II	Pengujian keselamatan kerja		
	Titik nyala dan titik bakar dengan cawan cleveland	SNI-06-2433-1991	T 48-89
III	Pengujian konsistensi aspal		
	Penetrasi bahan-bahan bitumen	SNI-06-2456-1991	T 49-89
	Daktilitas bahan-bahan aspal	SNI-06-2432-1991	T 51-89
	Viskositas Absolut		T 202-90
	Viskositas Kinematik		T 201-90
IV	Pengujian kepekaan terhadap temperatur		
	Titik lembek	SNI-06-2434-1991	T 53-89
	Thin film oven test	SNI-06-2440-1991	T 179-88
	Rolling thin film oven test		T 240-87
V	<i>Stripping test</i>	SNI-03-2439-1991	T 182-84
VI	Pemeriksaan berat jenis aspal	SNI-03-2441-1991	T 228-90

(Sumber: Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman, 2007)

Untuk pemeriksaan aspal keras yang dikelompokkan berdasarkan nilai penetrasi atau kekerasannya memiliki persyaratan pada tabel 2.9.

Tabel 2.10 Syarat Pemeriksaan Aspal Keras

Jenis Pemeriksaan	Pen 40/50		Pen 60/70		Pen 80/10		Satuan
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Penetrasi 25 °C, 100 gram, 5 detik	40	59	60	79	80	99	0.1 mm
Titik Lembek 5 °C (<i>Ring and Ball</i>)	51	63	48	58	46	54	Derajat Celcius
Titik Nyala (<i>Cleveland Open Cup</i>)	232	-	232	-	232	-	Derajat Celcius
Kehilangan Berat (<i>Thick Film Oven Test</i>)	-	0.4	-	0.4	-	0.4	% Berat
Kelarutan dalam CCl ₄	99	-	99	-	99	-	% Berat
Daktalitas	100	-	100	-	100	-	Cm
Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	75	-	75	-	% Semula
Berat jenis 25 °C	1	-	1	-	1	-	Gr/Cc

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

2.3 ASBUTON

Asbuton merupakan bahan alam yang terjadi berjuta juta tahun yang lalu. Ada beberapa pendapat ahli geologi mengenai terbentuknya Asbuton di Pulau Buton ini. Sebagian besar para ahli geologi berpendapat bahwa terjadinya asbuton berawal dari adanya minyak bumi yang kemudian terdestilasi secara alamiah karena adanya intrusi magma. Bagian - bagian yang ringan dari minyak bumi telah menguap, residu yang berupa bitumen terdesak mengisi lapisan batuan yang ada disekitarnya melalui patahan dan rekahan (Qomar; 1996). Asbuton itu berupa lapisan lapisan yang terdiri dari aspal dan butiran mineral yang sudah menyatu sekali. Aspal pada asbuton terletak dalam rongga antar mineral yang sulit dikeluarkan (*Affandi, F, 2008*). Bila lapisan itu digali kemudian didapat bongkahan bongkahan asbuton maka asbuton itu

tetap merupakan kesatuan antara bitumen dan butiran butiran mineral tersebut, bahkan bila dihancurkan sampai ukuran yang kecil pun tetap bitumen dan butiran mineral tersebut masih tetap menyatu. Proporsi bitumen dan mineral pada asbuton ini berkisar sekitar 15% - 30% aspal dan mineral sekitar 85% sampai 70%.

Secara umum asbuton itu bisa dibedakan atas dua wilayah besar, yaitu dari Kabungka yang ditandai dengan sifatnya yang cukup keras dibandingkan dengan asbuton yang berasal dari Lawele yang mempunyai sifat yang lebih lunak. Perbedaan ini disebabkan oleh sifat bitumen yang dikandungnya, dimana bitumen yang ada pada deposit Kabungka mempunyai nilai penetrasi yang keras < 10 dmm dibanding dengan aspal yang berasal dari Lawele dengan nilai penetrasinya bisa mencapai 30 dmm bahkan lebih.

Dalam perannya pada campuran beraspal, fungsi asbuton adalah sebagai berikut:

a. Bahan tambah (*filler*)

Umumnya Asbuton yang digunakan adalah jenis butir dengan penetrasi bitumen rendah. Peran asbuton sebagai bahan pengisi akan meningkatkan kemampuan lapisan beraspal untuk beban lalu lintas yang tinggi.

b. Pengganti aspal keras

Umumnya digunakan asbuton murni hasil ekstraksi atau Asbuton butir jenis LGA .

Beberapa jenis produksi asbuton adalah sebagai berikut:

Jenis Asbuton yang telah diproduksi secara fabrikasi dan manual dalam tahun-tahun belakangan ini adalah:

a. 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 filter dapat juga digunakna sebagai bahan stabilisasi tanah.

b. Asbuton Butir

Jenis Asbuton berdasarkan besar butir dan kadar aspal yang dikandungnya dapat dibedakan seperti tertera pada tabel 2.10. Asbuton konvensional, halus dan mikro tidak diproduksi lagi sejak tahun 2004.

Tabel 2.11 Jenis Produksi Asbuton Butir

Uraian	Jenis Produksi Asbuton						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 Maksimum	12,5	4,75	2,36	1,18	1,18	9	mm

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

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

Asbuton pra campur (*pre-blended*) merupakan gabungan antara Asbuton butir hasil *refine* 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.

2.3.1 KARAKTERISTIK ASBUTON

Hasil pengujian fisik mineral dan bitumen asbuton dari hasil ekstraksi asbuton deposit Kabungka dan Lawele diperlihatkan pada tabel 2.11.

Asbuton memiliki 2 unsur utama, yaitu aspal (bitumen) dan mineral. Dalam pemanfaatannya untuk pekerjaan perkerasan kedua unsur tersebut akan sangat dominan mempengaruhi kinerja dari campuran beraspal yang direncanakan.

Tabel 2.12 Sifat fisik aspal asbuton dari Kabungka dan Lawele

Jenis Pengujian	Hasil pengujian	
	Asbuton Kabungka	Asbuton Lawele
Kadar aspal (%)	20	30,08
Penetrasi, 25°C,100gr,5detik,0.1 mm	4	36
Titik Lembek, °C	101	59
Daktilitas, 25°C, 5 cm/menit, cm	<140	>140
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ , %	-	99,6
Titik nyala, °C	-	198
Berat jenis	1,046	1,-37
Penurunan berat (TFOT), 163°C, 5 jam	-	0,31
Penetrasi seteah TFOT, % asli	-	94
Titik lembek setelah TFOT, °C	-	62
Daktilitas setelah TFOT, cm	-	>140

a. Mineral Asbuton

Mineral asbuton didominasi oleh *Globigerines limestone* yaitu batu kapur sangat halus dalam bentuk filler dengan ukuran partikel < 90 mikron dengan fraksi berukuran < 40 mikron sebanyak 40%, yang terbentuk dari jasad renik binatang purba mikro yang mempunyai sifat sangat halus, relatif keras berkadar kalsium tinggi dan baik sebagai *filler* pada campuran beraspal.

Berdasarkan hasil ekstraksi dari asbuton Kabungka dan Lawele, jumlah CaCO₃ (batuan kapur) dari asbuton Kabungka 86,66%. Sementara kadar CaCO₃ dari asbuton Lawele adalah 72,90%. Mineral kapur dalam asbuton ini dapat memberi keuntungan dalam penggunaan asbuton sebagai filler karena ukurannya yang sangat halus sehingga terendam dalam lapisan film aspal yang menyelimuti agregat.

b. Bitumen Asbuton

Bitumen asbuton dan aspal minyak sama-sama berasal dari minyak bumi. Perbedaannya adalah dalam kualitas dan cara pemisahan. Bitumen asbuton dipisahkan secara alamiah dalam periode waktu yang lama. Sementara aspal minyak dipisahkan dengan cara destilasi di kilang minyak.

Pencampuran bitumen asbuton sebagai bahan aditif terhadap aspal minyak akan memberikan dampak positif yaitu peningkatan titik leleh, serta pelekatan terhadap agregat yang lebih kuat. Hal ini disebabkan oleh:

- Titik leleh bitumen asbuton yang memiliki nilai penetrasi rendah, sebesar 75°C - 85°C, yang lebih tinggi dari titik leleh aspal minyak yang berkisar antara 45°C - 47°C.
- Kadar parafin asbuton adalah 3 – 8%, yang lebih rendah dari kadar parafin aspal minyak yang umumnya berkisar antara 9 – 27%.

Asbuton secara umum memiliki keunggulan dan kelemahan, antara lain:

Keunggulan Asbuton

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

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

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

- Stabilitas Marshall campuran beraspal yang lebih tinggi
- Stabilitas dinamis campuran beraspal yang lebih tinggi
- Meningkatkan umur konstruksi
- Lebih tahan terhadap perubahan temperatur
- Nilai modulus yang meningkat

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

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

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

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

Kelemahan Asbuton

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

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

- Inkonsistensi dari kualitas produksi Asbuton yaitu: kandungan bitumen, penetrasi bitumen, kadar air Asbuton.
- Belum terjaminnya ketersediaan Asbuton pada saat pelaksanaan di lapangan.
- Ketidaksiesuaian kemampuan supply oleh pabrik pengolah Asbuton dengan demand proyek pengguna yang ditunjang oleh kebijakan Ditjen Bina Marga.
- Biaya transportasi pengiriman ke pengguna yang relatif mahal.
- Pola kerjasama antara produsen dan konsumen yang belum menemukan titik harmonis.

- Pembagian wilayah kerja pemasaran dari produsen.

Harga yang wajar, dengan perincian analisa biaya terhadap; harga bahan baku Asbuton, biaya transportasi, dan biaya pengolahan asbuton butir.

2.3.1 ASBUTON BUTIR

Asbuton butir merupakan hasil pengolahan asbuton berbentuk padat yang dipecah dengan alat pemecah *crusher* yang sesuai sehingga memiliki ukuran butir tertentu. Sampai tahun 1987 asbuton butir konvensional, yaitu berupa butiran asbuton dengan ukuran butir maksimum 12,5 mm dan dikirim dalam bentuk curah, pernah digunakan di Indonesia (*Furqon Affandi, 2008*). Penggunaan utamanya ialah untuk campuran beraspal dingin, dengan jenis campuran yang disebut Lasbutag (Lapis asbuton agregat) dan Latasbum (Lapis tipis asbuton murni). Banyaknya ketidakberhasilan dari konstruksi perkerasan yang menggunakan asbuton ini menyebabkan produksinya terhenti sementara. Ketidakberhasilan ini dikarenakan diantaranya oleh produksi asbuton yang tidak seragam kualitasnya, ukuran butir yang dipandang masih terlalu besar sehingga menyulitkan bahan pelunak untuk meremajakan aspal yang ada dalam asbuton, serta kadar air dalam asbuton yang masih tinggi sebagai akibat pengiriman dalam bentuk curah.

Adapun bahan baku untuk membuat asbuton butir ini dapat berupa asbuton padat dengan nilai penetrasi bitumen rendah (<10dmm) seperti asbuton padat Kabungka atau asbuton yang memiliki nilai penetrasi bitumen diatas 10 dmm seperti asbuton padat Lawele ataupun memiliki kadar bitumen yang tinggi. Namun dapat juga dengan menggabungkan kedua jenis asbuton padat tersebut.

Melalui pengolahan ini diharapkan dapat mengeliminasi kelemahan-kelemahan yaitu ketidakseragaman kandungan bitumen dan kadar air serta dengan membuat ukuran maksimum butir yang lebih halus sehingga diharapkan lebih mempermudah termobilisasinya bitumen asbuton dari dalam mineralnya.

Jenis asbuton butir yang diproduksi adalah 4 tipe, dimana perbedaannya didasarkan pada kelas penetrasi dan kandungan bitumennya. Persyaratan keempat tipe asbuton butir tersebut sesuai spesifikasi tabel 2.12.

Tabel 2.13 Persyaratan asbuton butir

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

Keterangan:

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

2.4 POLIMER

Polimer telah banyak digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan ketahanan dan kepekaan aspal terhadap temperatur. Dengan meningkatnya kekakuan aspal maka akan meningkat pula ketahanan thp deformasi, keretakan akibat temperature dan ketahanan terhadap kelelahan pada lapisan beraspal (*Brown, 1990*). Sehingga modifikasi aspal dengan polimer ini bertujuan untuk mendesain perkerasan dengan kepekaan sekecil mungkin terhadap temperatur, PI yang tinggi (>1), serta ketahanan deformasi terhadap beban lalu lintas dan temperatur tinggi.

Terdapat kelebihan dan kekurangan aspal modifikasi dengan polimer. Beberapa kelebihan aspal modifikasi dengan polimer adalah: (W.S. Tjikjiik, 2001)

- Tahan terhadap suhu tinggi dikarenakan titik leleh aspal polimer yang tinggi, lebih dari 50 derajat.
 - Dapat digunakan pada kondisi lalu lintas tinggi, mengurangi deformasi pada suhu tinggi karena aspal polimer memiliki titik leleh dan *stiffness modulus* yang lebih tinggi dari aspal konvensional.
 - Tahan terhadap gaya geser, karena aspal polimer menaikkan ketahanan terhadap geser.
 - Menaikkan umur pakai sehubungan dengan ketebalan aspal polimer yang tinggi.
- Sementara kekurangan dari aspal modifikasi polimer adalah harganya yang lebih mahal serta dibutuhkan pengadukan kontinu selama transportasi.

Polimer diklasifikasikan ke dalam 2 jenis (Brown, 1990), yaitu:

- **Plastomer**, yaitu polimer yang membentuk jaringan kaku dan tahan terhadap deformasi. Jenis polimer ini akan cepat memberi kekuatan jika diberi beban, tapi mudah patah bila regangan berlebihan. Jenis-jenis dari polimer jenis plastomer adalah PP (Poly propylene), PE (Poly ethylene), serta EVA (Ethyl vinyl acetate).
- **Elastomer**, adalah polimer yang memiliki karakteristik respon elastis yang tinggi, serta tahan terhadap deformasi yg disebabkan oleh tarikan dan segera kembali ke bentuk asalnya jika beban tarikan tersebut dihilangkan. Selain menambah elastisitas aspal secara signifikan elastomer juga meningkatkan kuat tarik aspal sepanjang penguluran. Jenis-jenis dari polimer jenis elastomer antara lain karet alam (natural rubber), SBR (*Styrene Butadiene Rubber*), SBS (*Styrene Butadiene Styrene*), dan neoprene.

Berdasarkan keperluannya dalam bidang perkerasan, klasifikasi polimer tertera pada tabel 2.13.

Tabel 2.14 Klasifikasi polimer berdasarkan keperluan untuk perkerasan

Tipe polimer	Nama umum	Keperluan untuk perkerasan
SBS	<i>Thermoplastic Rubber</i>	Hotmix, pengisian retak
EVA	Termoplastik	Daya tahan terhadap alur, seal, retak
PP, PE	Termoplastik	Daya tahan terhadap alur
SBR	Karet sintetis	Retak, alur
natural	Karet	Retak, alur

(sumber: Puslibang, 2002)

Jenis polimer yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah elastomer SBS (*Styrene Butadiene Styrene*). Persyaratan pengujian aspal modifikasi polimer jenis elastomer tertera pada tabel 2.14.

Tabel 2.15 Persyaratan pengujian polimer elastomer

No.	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	50 – 75
2	Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	Min. 54
3	Titik Nyala, °C	SNI 06-2433-1991	Min. 232
4	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	
5	Kekentalan pada 135 °C, cSt	SNI 06-6271-2002	Min. 2000
6	Stabilitas Penyimpanan pada 163 °C Selama 48 jam, Perbedaan Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	Max. 2
7	Kelarutan dalam Trichloro 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	- Kenaikan Penetrasi - Penurunan Penetrasi Perbedaan Titik lembek setelah RTFOT, % asli	SNI 06-2456-1991	Max. 10 Max. 40
10	- Kenaikan Titik Lembek - 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)

Aspal yang sudah ditambahkan dengan aditif biasa disebut dengan sebutan aspal modifikasi. Aspal Modifikasi Polimer (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). Secara umum, kelebihan dan kekurangan aspal modifikasi polimer tertera pada Tabel 2.15.

Tabel 2.16 Kelebihan dan Kekurangan AMP

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Titik lembek lebih tinggi • Stabilitas dinamis tinggi • Deformasi permanen kecil 	<ul style="list-style-type: none"> • Harga per kg lebih mahal • Perlu pengadukan selama transportasi (*pentingnya dibuat campuran induk AMP untuk meniadakan pengadukan selama transportasi)

Sumber: W.S. Tjikjiik, 2001

Polimer meningkatkan titik lembek aspal sehingga campuran lebih tahan terhadap temperatur tinggi. Stabilitas dinamis dipengaruhi oleh fleksibilitas aspal yang ditingkatkan oleh penambahan polimer. Sementara, harga yang mahal serta kekurangan fasilitas pencampuran aspal dengan polimer merupakan kekurangan dari aspal modifikasi polimer.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 PERENCANAAN PENGUJIAN

Jenis-jenis pengujian yang dilakukan berdasarkan pada tujuan penelitian, yaitu mengetahui pengaruh pencampuran BGA dan polimer ke dalam campuran aspal terhadap sifat dari bahan dasar campuran. Sehingga hasil pemeriksaan sebelum proses pencampuran akan dijadikan pembandingan terhadap hasil pemeriksaan setelah pencampuran bahan-bahan campuran dengan bahan tambahan. Bahan dasar campuran yang dimaksud adalah aspal dan agregat.

3.1.1 UJI MUTU

Uji mutu dibagi kedalam 2 bagian yaitu uji mutu aspal dan uji mutu agregat. Tahap ini bertujuan untuk melihat apakah material campuran yang tersedia, yaitu aspal dan agregat, telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, dan dapat digunakan sebagai material campuran aspal.

3.1.1.1 PEMERIKSAAN ASPAL PERTAMINA PENETRASI 60/70

Untuk bahan aspal, uji mutu ini juga merupakan bagian dari pemeriksaan bahan sebelum pencampuran dengan BGA dan polimer. Sehingga dari uji mutu aspal ini akan didapatkan sifat-sifat dasar aspal murni sebagai bahan pengikat dalam campuran, serta kesesuaiannya dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70.

Pemeriksaan terhadap aspal spesifikasi penetrasi 60/70 yang merupakan pengujian laboratorium standar berdasarkan SNI yang terdiri dari 7 tahapan sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal sebelum dan setelah kehilangan berat minyak.
Pemeriksaan menggunakan standar SNI-06-2456-1991. Penetrasi sebelum kehilangan berat minimal 60 (0,1 mm), maksimal 79 (0,1 mm), sementara penetrasi setelah kehilangan berat minimal 75 % berat semula.
2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI-06-2434-1991. Titik lembek minimal 48 °C dan maksimal 58 °C.
3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar
Pemeriksaan menggunakan standar SNI-06-2433-1991. Titik nyala minimal 232 °C.
4. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI-06-2440-1991. Kehilangan berat maksimal 0,4 % berat semula.
5. Pemeriksaan Kelarutan Bitumen Aspal dalam Karbon Tetra Klorida (CCl₄)
Pemeriksaan menggunakan standar SNI-06-2434-1991. Kelarutan minimal 99 % berat.
6. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen
Pemeriksaan menggunakan standar SNI-06-2432-1991. Daktilitas minimal 100 cm.
7. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen
Pemeriksaan menggunakan standar SNI-03-2441-1991. Berat jenis minimal 1 gr/cc.

3.1.1.2 PEMERIKSAAN AGREGAT

Uji mutu terhadap agregat dilakukan untuk menguji kesesuaiannya terhadap persyaratan agregat yang telah ditentukan, sehingga agregat layak menjadi material campuran. Pengujian dilakukan terhadap agregat kasar, agregat medium, serta agregat halus.

Tahapan pengujian yang dilakukan serta persyaratan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Berat Jenis Agregat Kasar dan Medium
 Pemeriksaan menggunakan standar SNI 03-1969-1990.
 Berat jenis *bulk* minimal 2,5 kg/m³
 Berat jenis SSD minimal 2,5 kg/m³
 Berat jenis *apparent* minimal 2,5 kg/m³
2. Penyerapan Agregat kasar dan medium terhadap air
3. Pemeriksaan menggunakan standar SNI 03-1969-1990.
 Penyerapan maksimal 3 %
4. Abrasi dengan mesin Los Angeles
5. Pemeriksaan menggunakan standar SNI-03-2417-1991.
 Keausan maksimal 40%
6. Berat Jenis Agregat Halus
 Pemeriksaan menggunakan standar SNI 03-1979-1990.
 Berat jenis *bulk* minimal 2,5 kg/m³
 Berat jenis SSD minimal 2,5 kg/m³
 Berat jenis *apparent* minimal 2,5 kg/m³
7. Penyerapan Agregat Halus terhadap air
 Pemeriksaan menggunakan standar SNI 03-1979-1990.
 Penyerapan maksimal 3 %

3.1.1.3 PEMERIKSAAN BGA

Pemeriksaan dilakukan terhadap BGA murni untuk menguji mutu BGA dan kesesuaiannya dengan spesifikasi persyaratan SNI 03-1968-1990. Pemeriksaan yang dilakukan adalah analisa saringan dan pemeriksaan asbuton. Analisa saringan dilakukan terhadap BGA murni dengan kadar asbuton didalamnya. Persyaratan analisa saringan BGA adalah lolos saringan no. 4 sebanyak 100 % dan minimal lolos saringan no. 8 sebanyak 95 %. Dari hasil analisa saringan juga akan didapatkan sebaran gradasi BGA untuk perancangan proporsi agregat.

Pemeriksaan terhadap sifat aspal dilakukan setelah proses ekstraksi sehingga didapatkan asbuton dari BGA. Pengujian yang dilakukan adalah pemeriksaan penetrasi, pemeriksaan titik lembek, serta daktilitas dari asbuton.

1. Pemeriksaan Penetrasi BGA

Standar pemeriksaan yang digunakan adalah SNI 06-2490-1991 dengan persyaratan nilai penetrasi 1,9-2,2 mm.

2. Pemeriksaan Titik Lembek BGA

Standar pemeriksaan yang digunakan adalah SNI 06-2432-1991 dengan persyaratan titik lembek sebesar minimum 60 °C.

3. Pemeriksaan Daktilitas BGA

3.1.2 PERANCANGAN AGREGAT CAMPURAN

Mendapatkan spesifikasi gradasi yang telah ditentukan yaitu spesifikasi IV, diperoleh dengan mencampur fraksi agregat kasar dan fraksi agregat halus. Spesifikasi IV gradasi agregat ini memiliki rentang persen lolos saringan dan nilai tengah dari rentang persen lolos saringan seperti tertera pada tabel 3.1.

Tabel 3.17 Spesifikasi IV

Ukuran Saringan	% Lolos Spec	Nilai Spec	Tengah
1 1/2" (38,1 mm)	-	-	-
1" (25,4 mm)	-	-	-
3/4" (19,1 mm)	100	100	
1/2" (12,7 mm)	80-100	90	
3/8" (9,52 mm)	70-90	80	
No. 4 (4,76 mm)	50-70	60	
No. 8 (2,38 mm)	35-50	43	
No. 30 (0,59 mm)	18-29	24	
No. 50 (0,279 mm)	13-23	18	
No. 100 (0,149 mm)	8-16	12	
No.200 (0,074 mm)	4-10	7	

Untuk mendapatkan sebaran gradasi agregat, terlebih dahulu dilakukan analisa saringan terhadap agregat kasar, agregat medium, dan agregat halus. Mendapatkan spesifikasi gradasi yang telah ditentukan yaitu spesifikasi IV, diperoleh dengan mencampur fraksi agregat kasar dan fraksi agregat halus. Spesifikasi IV gradasi agregat ini memiliki rentang persen lolos saringan dan nilai tengah dari rentang persen lolos saringan seperti pada tabel 3.1.

Perhitungan analitis untuk membuat campuran fraksi agregat kasar dan halus didapatkan dari persamaan 3.1.

$$P = aA + bB + cC \dots\dots\dots (3.1)$$

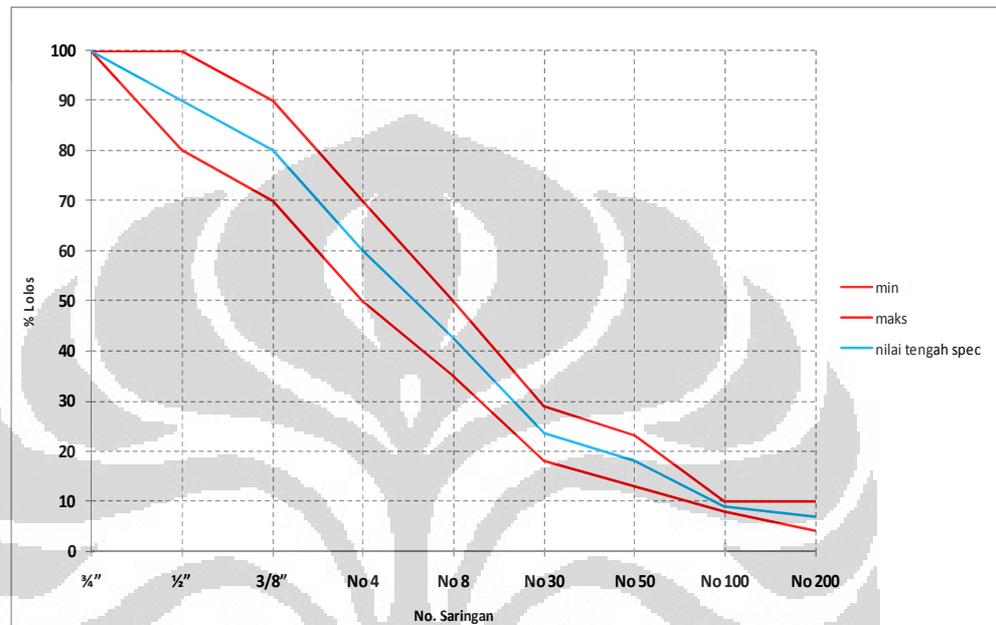
Dimana; P = Nilai tengah spesifikasi gradasi
 A = % lolos fraksi agregat kasar untuk bukaan n mm
 B = % lolos fraksi agregat halus untuk bukaan n mm
 a = Proporsi fraksi agregat kasar
 b = Proporsi fraksi agregat medium
 c = Proporsi fraksi agregat halus

Untuk mempermudah perhitungan, analisa proposi akan dimulai dari nomor saringan dengan salah satu fraksi lolos 100%. Nilai $(a + b + c) = 1$ atau 100%.

$$a = \frac{P-B}{A-B} \quad \text{dan} \quad b = \frac{P-A}{B-A}$$

Nilai A dan B didapatkan dari uji analisa saringan (*sieve analysis*). Dan dengan menggunakan persamaa 3.1 diatas, akan didapatkan proporsi fraksi untuk agregat kasar dan halus untuk masing-masing ukuran bukaan saringan (n mm), dimana masing-masing jenis proporsi akan di-*trial and error* terhadap setiap persen lolos fraksi agregat kasar dan halus. Persen proporsi fraksi yang didapatkan akan dipakai menjadi proporsi perancangan agregat untuk campuran. Untuk itu perlu diuji hasil proporsi persen lolos saringan yang telah didapatkan tersebut dengan

memproyeksikannya ke grafik lengkung gradasi spesifikasi agregat IV. Hasil proyeksi proporsi fraksi menunjukkan beberapa grafik gradasi campuran. Gradasi campuran yang memenuhi spesifikasi akan berada dalam area grafik rentang gradasi atau diantara nilai minimum dan maksimum gradasi spesifikasi IV seperti grafik 3.1.



Grafik 3.1 Grafik Lengkung Gradasi Spesifikasi IV

Tahap selanjutnya adalah penentuan proporsi agregat dari campuran dengan BGA. Terlebih dahulu dilakukan analisa saringan terhadap BGA murni untuk mengetahui sebaran gradasinya. BGA memiliki struktur yang bergradasi sehingga perhitungan proporsi menggunakan metode *trial and error* juga dilakukan untuk menentukan fraksi agregat kasar, agregat medium, agregat halus, serta BGA dalam campuran yang menggunakan BGA. Penentuan proporsi berdasarkan pada nilai kedekatannya dengan nilai tengah spesifikasi IV.

Bahan aditif lain yang digunakan adalah polimer SBS. Penentuan kadar polimer yang ditambahkan dalam aspal pada penelitian ini didasarkan pada penelitian "*Evaluation and Optimization of the Engineering Properties of Polymer-Modified Asphalt*", oleh J.-S. Chen, M.-C. Liao, and H.-H. Tsai (2002). Percobaan dilakukan dengan menguji sifat aspal dengan penambahan polimer sebesar 0 % sampai dengan

9 %. Dikatakan bahwa pada campuran aspal dengan modifikasi polimer SBS sebesar 2 %, terjadi peningkatan viskositas aspal akibat pembentukan struktur jaringan oleh polimer yang terdispersi. Sementara pembentukan jaringan yang kuat mulai terlihat pada campuran aspal dengan kadar polimer sebesar 4 %. Dalam penelitian ini ditentukan kadar polimer yang digunakan adalah 2 % dan 4 %.

3.1.6 MENENTUKAN KADAR ASPAL CAMPURAN

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

Rancangan campuran di laboratorium pada umumnya menggunakan kadar aspal tengah/ideal. Kadar aspal tengah yaitu nilai tengah dari rentang kadar aspal dalam spesifikasi campuran. Kadar aspal tengah/ideal dapat pula ditentukan dengan mempergunakan persamaan 3.2. (*Spesifikasi Depkimpraswil/Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2002)*)

$$P = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana : P = Kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran

CA = Persen agregat tertahan saringan No. 8

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

Filler = Persen agregat minimal 75% lolos No. 200

K = konstanta = 0,5 – 1,0 untuk laston

= 2,0 - 3,0 untuk lataston

Benda uji/campuran yang akan dibuat adalah dengan kadar aspal P, kadar aspal kurang dari P sebanyak 0,5% (P-0,5%), pengurangan 1% dari kadar aspal P (P-1%), kadar aspal lebih dari P sebesar 0,5% (P+0,5%), serta penambahan 1% dari kadar aspal P (P+1%).

3.1.7 BENDA UJI

Tabel 3.18 Jumlah Perancangan Benda Uji

Kadar (%)	Polimer	Kadar (%)	Aspal	Jumlah Sampel		
				BGA 0%	BGA %	BGA %
0	P	(P-1)		3	3	3
		(P-0,5)		3	3	3
		(P+0,5)		3	3	3
		(P+1)		3	3	3
		(P+1)		3	3	3
2	P	(P-1)		3	3	3
		(P-0,5)		3	3	3
		(P+0,5)		3	3	3
		(P+1)		3	3	3
		(P+1)		3	3	3
4	P	(P-1)		3	3	3
		(P-0,5)		3	3	3
		(P+0,5)		3	3	3
		(P+1)		3	3	3
		(P+1)		3	3	3

Pengujian awal yang dilakukan adalah pengujian kinerja campuran dengan alat marshall. Data dan analisa dari kinerja campuran sendiri dibahas secara eksplisit dengan penelitian ini. Pengujian yang dilakukan dalam tahap penelitian ini adalah pemeriksaan bahan dasar dari campuran sebelum dan setelah menerima pembebanan melalui uji marshall.

Benda uji dibuat dengan komposisi pencampuran kadar aspal, kadar Buton Granular Asphalt, dan kadar polimer seperti pada tabel 3.2, dengan masing-masing

jenis campuran yang dibuat berjumlah 3 sampel. Jumlah total benda uji adalah 135 sampel.

3.1.8 EKSTRAKSI

Data hasil uji marshall berupa nilai kadar aspal optimum dari tiap jenis campuran digunakan sebagai acuan untuk pemilihan benda uji yang akan diperiksa bahan dasar campurannya.

Pengujian bahan dasar campuran dilakukan untuk memeriksa gradasi agregat dan sifat aspal. Untuk mendapatkan bahan dasar campuran dilakukan terlebih dahulu proses ekstraksi terhadap campuran dengan kadar aspal optimum (KAO) yang didapat dari hasil uji marshall. Jumlah sampel yang diekstraksi untuk setiap jenis campuran tertera pada tabel 3.3. Jumlah sampel yang diekstraksi untuk setiap jenis campuran adalah 2 sampel. Tujuannya adalah untuk keakuratan hasil pemeriksaan serta kecukupan konten aspal untuk jenis pengujian yang dilakukan. Campuran yang diekstraksi adalah campuran yang mengandung BGA. Sementara campuran dengan penambahan polimer saja tidak dilakukan proses ekstraksi. Gradasi agregat diasumsikan sama dengan gradasi rencana untuk campuran aspal murni. Dan pengujian sifat aspal modifikasi polimer dapat dilakukan langsung terhadap aspal tanpa proses ekstraksi dari campurannya.

Tabel 3.19 Jumlah Sampel Ekstraksi

BGA (%)	Polimer (%)	% KAO	Jumlah Sampel Ekstraksi
	0	KAO	2
BGA	2	KAO	2
	4	KAO	2
	0	KAO	2
BGA	2	KAO	2
	4	KAO	2

3.1.9 PENGUJIAN BAHAN DASAR CAMPURAN

Hasil dari proses ekstraksi akan didapatkan agregat dan aspal. Agregat merupakan gabungan agregat dan butiran granular dari BGA. Dan jenis aspal

campuran yang didapatkan merupakan aspal campuran asbuton dari BGA, aspal campuran polimer, serta aspal campuran asbuton dan polimer. Sifat dari agregat yang diuji adalah gradasi. Sehingga dilakukan analisa saringan kembali terhadap agregat yang telah didapatkan dari proses ekstraksi. Perbandingan akan dilakukan terhadap gradasi rencana sehingga diketahui besar perubahan dari gradasi dan pengaruh dari butiran granular BGA terhadap sebaran gradasi agregat. Batasan yang dipakai adalah batas minimum dan batas maksimum dari spesifikasi IV gradasi Lapis Aspal Beton.

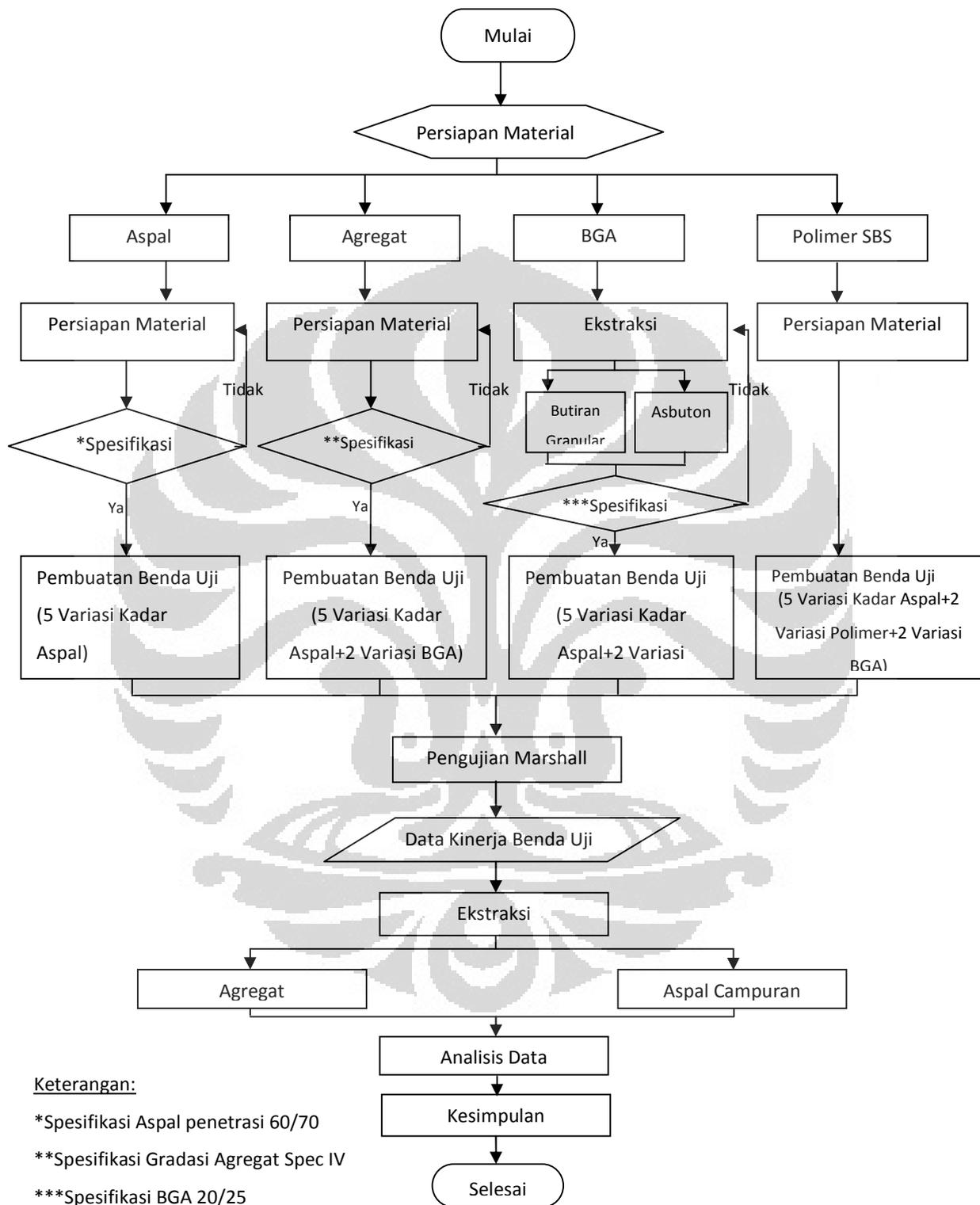
Pemeriksaan aspal dilakukan untuk melihat pengaruh dari BGA dan polimer terhadap sifat aspal yang esensial terhadap kinerja campuran yaitu penetrasi, titik lembek, dan daktilitas. Jenis pemeriksaan terhadap aspal modifikasi BGA hasil ekstraksi adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2490-1991.
2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2432-1991.
3. Pemeriksaan Daktilitas Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2432-1991.

Pemeriksaan yang dilakukan terhadap aspal modifikasi polimer hasil ekstraksi adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2456-1991.
2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2434-1991.
3. Pemeriksaan Daktilitas Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2434-1991.

Sementara untuk pemeriksaan terhadap aspal modifikasi BGA dan polimer, pemeriksaan yang dilakukan adalah penetrasi aspal, pemeriksaan titik lembek aspal, serta pemeriksaan daktilitas aspal. Dari seluruh hasil uji aspal akan dapat diketahui bahan modifikasi dengan pengaruh yang lebih dominan terhadap perubahan sifat aspal, baik BGA ataupun polimer.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 PELAKSANAAN PENELITIAN

3.2.1 BAHAN BAKU PENELITIAN

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

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

3.2.1 PEMERIKSAAN ASPAL PERTAMINA PENETRASI 60/70

Pemeriksaan aspal sebelum proses pencampuran BGA dan polimer merupakan bagian dari pengujian mutu bahan-bahan dasar campuran.

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal sebelum dan setelah kehilangan berat minyak

Pelaksanaan dengan standar SNI-06-2456-1991

Penetrasi sebelum kehilangan berat minimal 60, maksimal 79. (satuan: 0,1 mm)

Penetrasi setelah kehilangan berat minimal 75 (satuan: % semula)

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk uji kekakuan aspal terhadap beban. Uji Penetrasi menggunakan 2 sampel 100 gram yang didiamkan selama 30 menit pada suhu 25 °C terlebih dahulu. Pembebanan dilakukan terhadap sampel selama 5 detik.

2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

Pelaksanaan dengan standar SNI-06-2434-1991

Titik lembek minimal 48, maksimal 58 (satuan: derajat celcius)

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap suhu. Kedua benda uji dalam *ring* terlebih dahulu didiamkan dalam suhu 5 °C selama 15 menit sebelum kemudian diberi beban *ball* dan dipanaskan.

3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Pelaksanaan dengan standar SNI-06-2433-1991

Titik nyala minimal 232 (satuan: derajat celcius)

Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk keperluan keamanan kerja. Pada pemeriksaan titik nyala, pemanasan dilakukan di permukaan aspal sampai terjadi percikan api pada permukaan aspal pada suhu tertentu. Pemanasan dilanjutkan sampai aspal mencapai titik nyala.

4. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal

Pelaksanaan dengan standar SNI-06-2440-1991

Kehilangan berat maksimal 0,4 (satuan: % berat)

Pemeriksaan ini merupakan tes konsistensi aspal untuk mengetahui besar penguapan berat minyak aspal setelah proses pemanasan. Pemanasan dilakukan pada sampel pada suhu 163 °C selama 5 jam.

5. Pemeriksaan Kelarutan Bitumen Aspal dalam Karbon Tetra Klorida (CCl₄)

Pelaksanaan dengan standar SNI-06-2434-1991

Kelarutan minimal 99 (satuan: % berat)

Pemeriksaan ini merupakan tes konsistensi konten aspal untuk mengetahui kadar bahan lain dalam residu aspal yang terlarut dalam Karbon Tetraklorida pada saat pengujian. Bahan yang tersisa/tidak terlarut merupakan bahan lain yang terkandung dalam aspal.

6. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen

Pelaksanaan dengan standar SNI-06-2432-1991

Daktilitas minimal 100 (satuan: cm)

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui daya tahan aspal terhadap beban tarik. Benda uji sebelumnya didiamkan pada suhu 25 °C selama 15 menit, kemudian diberikan beban tarik dengan kecepatan 5cm/menit.

7. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen

Pelaksanaan dengan standar SNI-03-2441-1991.

Berat jenis minimal 1 (satuan: gr/cc)

Pemeriksaan berat jenis dilakukan untuk mengetahui konten aspal per satuan berat untuk 1 cc volume.

3.2.2 PEMERIKSAAN AGREGAT

Pemeriksaan terhadap agregat yang dilakukan adalah pemeriksaan berat jenis, penyerapan, keausan agregat, serta gradasi dari agregat.

1. Berat Jenis Agregat Kasar dan Medium

Pelaksanaan dengan standar SNI 03-1969-1990.

Berat jenis *bulk* minimal 2,5 (satuan: kg/m³)

Berat jenis SSD minimal 2,5 (satuan: kg/m³)

Berat jenis *apparent* minimal 2,5 (satuan: kg/m³)

Pemeriksaan berat jenis terdiri atas pemeriksaan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, dan berat jenis semu. Pemeriksaan berat jenis curah dilakukan pada agregat dengan keadaan jenuh. Sementara pemeriksaan berat jenis kering permukaan jenuh dilakukan pada agregat dengan keadaan SSD/jenuh namun dengan permukaan yang dikeringkan dari air. Dan pemeriksaan berat jenis kering dilakukan pada saat agregat dalam keadaan kering.

2. Penyerapan Agregat kasar dan medium terhadap air

Pelaksanaan dengan standar SNI 03-1969-1990.

Penyerapan maksimal 3 (satuan: %)

Pemeriksaan penyerapan agregat dilakukan untuk mengetahui nilai absorsi agregat terhadap air dan menunjukkan keadaan pori permukaan agregat. Nilai penyerapan tidak melebihi 3 %. Perhitungan nilai penyerapan agregat berdasarkan pada data berat jenis agregat.

3. Abrasi dengan mesin Los Angeles

Pelaksanaan dengan standar SNI-03-2417-1991.

Keausan maksimal 40%.

Pemeriksaan keausan agregat merupakan uji kekekalan permukaan agregat kasar dengan menggunakan mesin Los Angeles. Kekekalan permukaan mempengaruhi kemampuan interlocking antar agregat.

4. Berat Jenis Agregat Halus

Pelaksanaan dengan standar SNI 03-1979-1990.

Berat jenis *bulk* minimal 2,5 (satuan: kg/m^3)

Berat jenis SSD minimal 2,5 (satuan: kg/m^3)

Berat jenis *apparent* minimal 2,5 (satuan: kg/m^3)

Pemeriksaan berat jenis terdiri atas pemeriksaan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, dan berat jenis semu. Pemeriksaan berat jenis curah dilakukan pada agregat dengan keadaan jenuh. Sementara pemeriksaan berat jenis kering permukaan jenuh dilakukan pada agregat dengan keadaan SSD/jenuh namun dengan permukaan yang dikeringkan dari air. Dan pemeriksaan berat jenis kering dilakukan pada saat agregat dalam keadaan kering.

5. Penyerapan Agregat Halus terhadap air

Pelaksanaan dengan standar SNI 03-1979-1990.

Penyerapan maksimal 3 (satuan: %)

Pemeriksaan penyerapan agregat dilakukan untuk mengetahui nilai absorpsi agregat terhadap air dan menunjukkan keadaan pori permukaan agregat. Nilai penyerapan tidak melebihi 3 %. Perhitungan nilai penyerapan agregat berdasarkan pada data berat jenis agregat.

Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan untuk mengetahui sebaran gradasi dari agregat, serta menentukan proporsi ideal dari agregat yang memiliki sebaran mendekati nilai tengah spesifikasi Laspis Aspal Beton tipe IV. Pemeriksaan gradasi menggunakan satu set saringan berukuran 1 1/2" (38,1 mm), 1" (25,4 mm), 3/4" (19,1 mm), 1/2" (12,7 mm), 3/8" (9,52 mm), No. 4 (4,76 mm), No. 8 (2,38 mm), No. 30 (0,59 mm), No. 50 (0,279 mm), No. 100 (0,149 mm), dan No.200 (0,074 mm).

Analisa saringan dilakukan dengan menggunakan mesin penggetar saringan selama 15 menit.

3.2.3 PEMERIKSAAN BGA

Pemeriksaan yang dilakukan adalah analisa saringan untuk melihat sebaran gradasi dari BGA murni, serta sifat aspal yaitu penetrasi, titik lembek, serta daktilitas. Untuk mendapatkan aspal asbuton dari BGA, dilakukan ekstraksi terhadap BGA murni terlebih dahulu.

Metode pengujian yang dilakukan untuk analisa saringan sama dengan metode analisa saringan agregat yaitu menggunakan satu set saringan berukuran 1 1/2" (38,1 mm), 1" (25,4 mm), 3/4" (19,1 mm), 1/2" (12,7 mm), 3/8" (9,52 mm), No. 4 (4,76 mm), No. 8 (2,38 mm), No. 30 (0,59 mm), No. 50 (0,279 mm), No. 100 (0,149 mm), dan No.200 (0,074 mm), dan mesin penggetar dengan proses penyaringan selama 15 menit.

Metode pemeriksaan aspal sama dengan metode pemeriksaan aspal murni untuk pemeriksaan penetrasi, titik lembek, serta daktilitas.

3.2.3. UJI EKSTRAKSI DAN PEMERIKSAAN BAHAN

Standar pengujian yang digunakan adalah SNI-03-3640-1994. Pengujian ekstraksi dilakukan setelah didapatkan sampel/campuran dengan kadar aspal optimum berdasarkan data uji marshall. Data dan analisis dari kinerja campuran dari uji marshall sendiri dibahas secara eksplisit dengan penelitian ini. Pengujian menggunakan alat *extractor reflux*, cairan TCE (*trichloroethylene*), dan kertas saring untuk menahan agregat saat proses ekstraksi. Alat *extractor reflux* dapat dilihat pada gambar 3.2.

Proses pemisahan agregat dan aspal untuk setiap sampel membutuhkan waktu 2 jam dengan suhu pemanasan sebesar. Campuran yang akan diekstraksi ditahan dengan kertas saring. Cairan TCE yang kemudian dialirkan akan memisahkan aspal dengan butiran agregat.



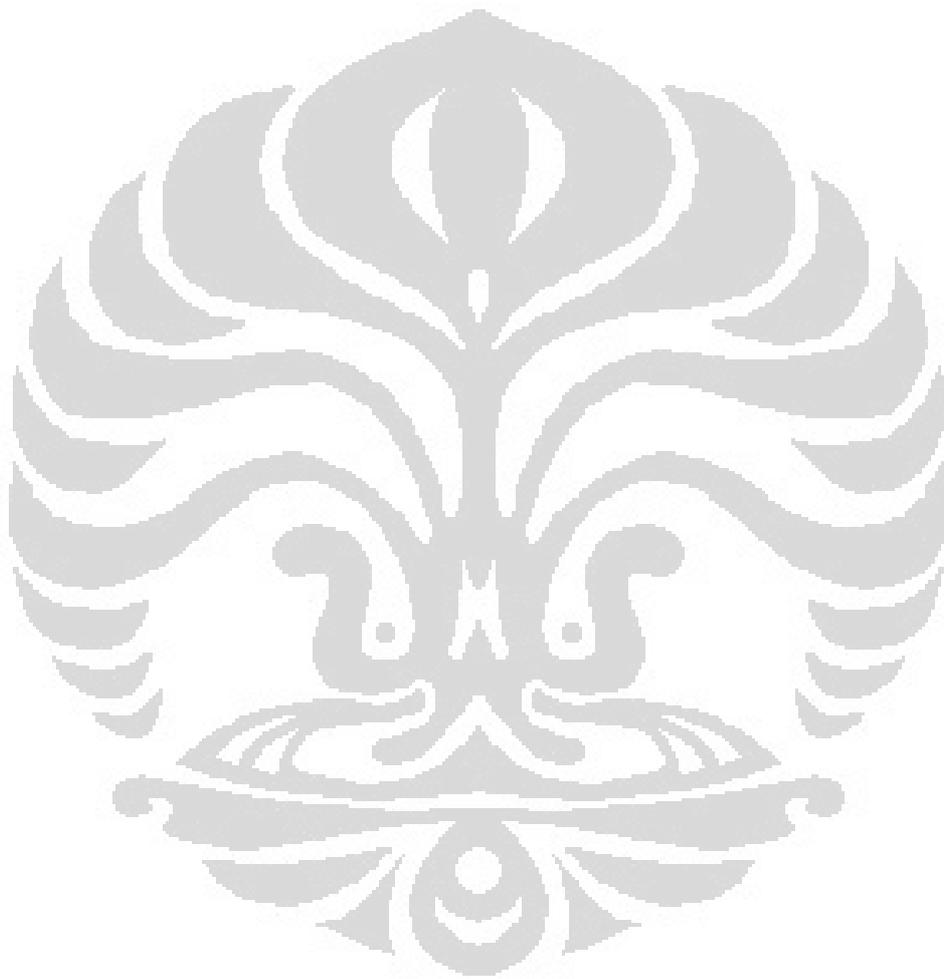
Gambar 3.2 Extractor Reflux

Aspal terekstraksi yang mengandung cairan TCE dimasukkan ke dalam oven selama 2 x 24 jam dengan suhu 110 °C untuk menghilangkan kandungan cairan TCE dengan proses penguapan. Agregat yang juga masih mengandung sisa cairan TCE pada permukaannya dimasukkan ke oven selama 24 jam dengan suhu 110 °C. Jenis campuran yang diekstraksi dapat dilihat pada tabel 3.3. Bagan metode perolehan bahan campuran melalui proses ekstraksi dapat dilihat pada gambar 3.2.

Untuk setiap bahan campuran hasil ekstraksi yang telah diperoleh, dilakukan pemeriksaan analisa saringan terhadap agregat, dan pemeriksaan sifat aspal campuran yaitu pemeriksaan penetrasi, titik lembek, serta daktilitas.

Pemeriksaan gradasi menggunakan satu set saringan berukuran 1 1/2" (38,1 mm), 1" (25,4 mm), 3/4" (19,1 mm), 1/2" (12,7 mm), 3/8" (9,52 mm), No. 4 (4,76 mm), No. 8 (2,38 mm), No. 30 (0,59 mm), No. 50 (0,279 mm), No. 100 (0,149 mm), dan No.200 (0,074 mm). Analisa saringan dilakukan dengan menggunakan mesin penggetar saringan selama 15 menit.

Dari data hasil analisa saringan terhadap agregat dengan kadar BGA yang telah ditentukan, akan didapat kisaran sebaran gradasi dari BGA.



Jenis pemeriksaan terhadap aspal modifikasi BGA hasil ekstraksi adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2490-1991.
2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2432-1991.
3. Pemeriksaan Daktilitas Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2432-1991.

Pemeriksaan yang dilakukan terhadap aspal modifikasi polimer hasil ekstraksi adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2456-1991.
2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2434-1991.
3. Pemeriksaan Daktilitas Aspal
Pemeriksaan menggunakan standar SNI 06-2434-1991.

Untuk aspal campuran polimer dan BGA, metode pengujian sama dengan metode pengujian terhadap aspal murni. Jenis pemeriksaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal
2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
3. Pemeriksaan Daktilitas Aspal

Data sifat teknis aspal yang telah didapatkan akan dibandingkan untuk melihat pengaruh dari masing-masing bahan pencampur terhadap aspal.

Kadar asbuton dari BGA pasti memberi kontribusi terhadap kadar aspal campuran. Sehingga dilakukan perhitungan terhadap perubahan volume aspal dengan menggunakan data hasil ekstraksi. Bagan metode perolehan volume aspal campuran dari proses ekstraksi tertera pada gambar 3.4.

Metode perhitungan dari volume aspal campuran adalah sebagai berikut.

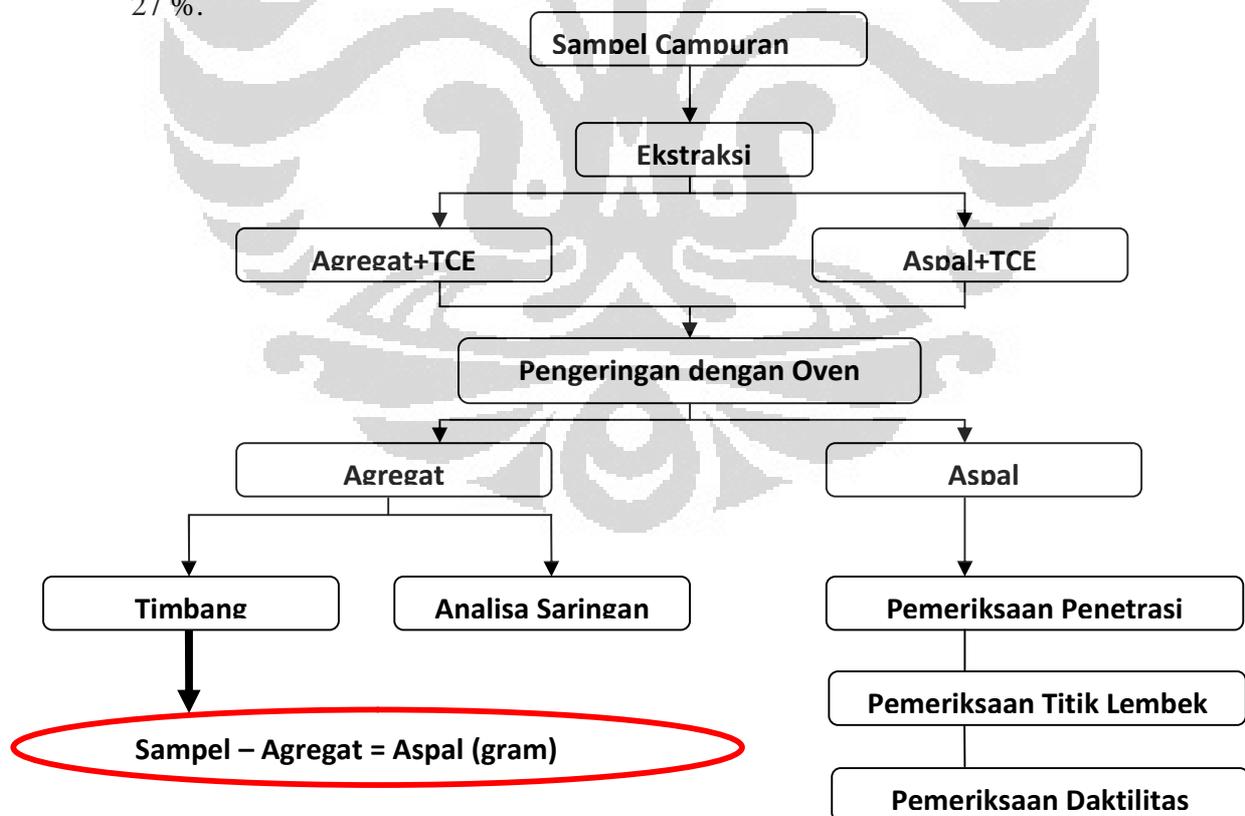
- | | |
|---|-------------------|
| Berat contoh sebelum ekstraksi | (1) |
| Berat kertas saring sebelum ekstraksi | (2) |
| Berat contoh setelah ekstraksi | (3) |
| Berat kertas saring setelah ekstraksi | (4) |
| Berat mineral (agregat) | (5) = (3)+(4)-(2) |

Berat aspal+BGA(6) =(1)-(5)
 % Kadar aspal(7) = (6)/(1)x100%
 Kadar aspal murni(8)
 Berat aspal murni (gram)(9)
 Berat BGA (gram)(10)
 % Perubahan Volume Aspal((7)-(8))/(8)x100%

Perubahan volume aspal diasumsikan seluruhnya merupakan kontribusi dari asbuton BGA. Sehingga dengan membandingkan berat perubahan volume aspal dengan berat BGA pada perencanaan proporsi agregat, akan didapat % kadar asbuton BGA sebenarnya yang digunakan dalam penelitian ini. Perhitungan kadar asbuton ini menggunakan data perhitungan volume aspal campuran sebelumnya. Metode perhitungan kadar asbuton BGA adalah sebagai berikut.

Kadar Asbuton BGA(6)-(9)/(10)*100%

Perhitungan kadar asbuton BGA ini dilakukan untuk mengukur keakuratan dan kesesuaian kadar asbuton BGA dengan spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum 2007 tentang kadar aspal BGA sebesar 23-27 %.



Gambar 3.4 Bagan Metode Perolehan Volume Aspal dari Proses Ekstraksi

Universitas Indonesia

BAB 4

DATA DAN ANALISA PENELITIAN

4.1 PENGUJIAN MATERIAL

Hasil Pengujian Mutu Aspal

Hasil pengujian mutu aspal Pertamina penetrasi 60/70 sebagai bahan pengikat campuran tertera pada Tabel 4.1.

Tabel 4.20 Hasil Pemeriksaan Aspal Pertamina Penetrasi 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Penetrasi 60/70		Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			Min	Maks		
1	Penetrasi aspal 25°, 100 gram, 5 detik	0,1 mm	60	79	62,8	Memenuhi
2	Titik Lembek aspal 5°C	°C	48	58	49	Memenuhi
3	Titik Nyala aspal	°C	232	-	320	Memenuhi
4	Kehilangan Berat aspal	% Berat	-	0,4	0,19	Memenuhi
5	Kelarutan dalam CCl ₄	% Berat	99	-	99,5	Memenuhi
6	Daktilitas	Cm	100	-	100	Memenuhi
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	% Semula	75	-	89,17	Memenuhi
8	Berat jenis	Gr/Cc	1	-	1,031	Memenuhi

- Pemeriksaan Penetrasi Aspal

	Penetrasi Sebelum Kehilangan Berat (0,1 mm)					Rata-rata
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
Aspal 1	60	60	61	61	61	62,8
Aspal 2	60	65	70	64	66	

Standar yang digunakan adalah SNI-06-2456-1991. Uji Penetrasi menggunakan 2 sampel 100 gram yang didiamkan selama 30 menit pada suhu 25 °C terlebih dahulu.

Dari 5 titik uji pada masing-masing sampel, didapatkan nilai penetrasi yang memenuhi standar.

	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat (0,1 mm)					Rata-rata
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
Aspal 1	56	57	50	57	58	56
Aspal 2	58	57	51	59	57	

Penetrasi setelah kehilangan berat (*TFOT/Thin Film Oven Test*) bertujuan untuk melihat besar serta pengaruh hilangnya minyak aspal setelah proses pemanasan pada suhu 163 °C selama 5 jam terhadap daya lentur aspal terhadap beban. Hilangnya minyak aspal ini mengakibatkan sifat aspal akan lebih keras/nilai penetrasinya menurun. Nilai penetrasi rata-rata yang didapat setelah kehilangan berat adalah 89,17 % nilai penetrasi sebelum kehilangan berat, sehingga memenuhi standar minimum yaitu 75 % dari penetrasi sebelum kehilangan berat.

- **Pemeriksaan Titik Lembek Aspal**
Standar pemeriksaan yang digunakan adalah SNI-06-2434-1991. Titik lembek (*Softening Point*) merupakan jenis tes kepekaan aspal terhadap suhu berhubungan dengan tenderformasi atau tendensi perubahan bentuk aspal. Kedua benda uji dalam *ring* terlebih dahulu didiamkan dalam suhu 5 °C selama 15 menit sebelum kemudian diberi beban *ball* dan dipanaskan sehingga keduanya mencapai titik lembek pada suhu 49 °C. Standar minimum adalah 48 °C dan maksimum 58 °C sehingga aspal lolos uji titik lembek.
- **Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal**
Standar pemeriksaan yang digunakan adalah SNI-06-2433-1991. Titik nyala dan titik bakar adalah jenis pengujian untuk keselamatan kerja. Standar minimum titik nyala aspal penetrasi 60/70 adalah 232 °C, dan hasil pengujian didapatkan titik nyala pada suhu 320 °C dan titik bakar aspal pada suhu 326 °C.

- **Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal**
Standar pemeriksaan yang digunakan adalah SNI-06-2440-1991. Pemeriksaan dilakukan dengan mengukur berat sampel uji penetrasi awal dan berat sampel setelah TFOT/*Thin Film Oven Test*, untuk mengukur kehilangan berat minyak dalam aspal akibat pemanasan 163 °C selama 5 jam. Sampel 1 mengalami kehilangan berat sebesar 0,2 gram/0,25% dan sampel 2 sebesar 0,1 gram/0,13% berat awal. Nilai ini memenuhi standar maksimum penurunan berat yaitu 0,4% berat awal.
- **Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam Karbon Tetraklorida (CCl₄)**
Standar yang digunakan adalah SNI-06-2438-1991. Pemeriksaan bertujuan untuk mengetahui kadar residu aspal yang terlarut dalam Karbon Tetraklorida pada saat pengujian. Persyaratan kelarutan sebesar 99% dengan hasil pemeriksaan sebesar 99,5 %. Artinya unsur lain yang terdapat dalam residu aspal adalah 0,5 %.
- **Pemeriksaan Daktilitas**
Standar yang digunakan adalah SNI-06-2432-1991. Daktilitas memberikan indikasi fleksibilitas aspal sebelum patah/pecah. Benda uji sebelumnya didiamkan pada suhu 25 °C selama 15 menit, kemudian diberikan beban tarik dengan kecepatan 5cm/menit. Pemeriksaan menunjukkan nilai yang memenuhi standar yaitu minimum 100 cm.
- **Pemeriksaan Berat Jenis Aspal**
Standar yang digunakan adalah SNI-03-2441-1991, dengan nilai minimum 1 gr/cc. Hasil pemeriksaan terhadap berat jenis aspal penetrasi 60/70 menunjukkan nilai 1,031 gr/cc. Sehingga aspal lolos uji berat jenis.

Hasil Pengujian Mutu Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian dari PT. Utama Prima, yang merupakan batuan rumpin dari gunung Sindur. Hasil pemeriksaan agregat tertera pada Tabel 4.2.

- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Agregat Medium

Standar yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis adalah SNI 03-1969-1990. Berat jenis menyatakan berat agregat dalam 1 cm³ volume. Agregat kasar yang diuji adalah yang lolos saringan ¾” atau 19,1 mm. Dan untuk agregat medium adalah yang lolos saringan ½” atau 12,7 mm. Pemeriksaan berat jenis curah dilakukan pada agregat dalam keadaan kering/*oven dry*. Hasil pemeriksaan memenuhi persyaratan dengan nilai sebesar 2,57 gr/cm³ untuk agregat kasar dan 2,5 gr/cm³ untuk agregat medium dengan syarat minimum 2,5 gr/cm³. Sementara pemeriksaan berat jenis SSD dilakukan saat agregat jenuh oleh air, permukaan dikeringkan. Hasil pemeriksaan memenuhi persyaratan dengan

Tabel 4.21 Hasil Pemeriksaan Agregat

No.	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Syarat	Hasil Pemeriksaan	Keterangan
Agregat Kasar					
1	Berat jenis Curah (<i>Bulk SG</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2,57	Memenuhi
2	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	gr/cm ³	> 2,5	2,61	Memenuhi
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2,68	Memenuhi
4	Penyerapan (<i>Absorption</i>)	%	< 3	1,65	Memenuhi
Agregat Medium					
1	Berat jenis Curah (<i>Bulk SG</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2,50	Memenuhi
2	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	gr/cm ³	> 2,5	2,58	Memenuhi
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2,70	Memenuhi
4	Penyerapan (<i>Absorption</i>)	%	< 3	2,85	Memenuhi
Agregat Halus					
1	Berat jenis Curah (<i>Bulk SG</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2,61	Memenuhi
2	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	gr/cm ³	> 2,5	2,63	Memenuhi
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	gr/cm ³	> 2,5	2,67	Memenuhi
4	Penyerapan (<i>Absorption</i>)	%	< 3	1,01	Memenuhi

nilai sebesar 2,61 gr/cm³ untuk agregat kasar dan 2,58 gr/cm³ untuk agregat medium dengan syarat minimum 2,5 gr/cm³. Pemeriksaan berat jenis semu dilakukan dengan menimbang agregat di dalam air. Hasil pemeriksaan memenuhi persyaratan dengan nilai sebesar 2,68 gr/cm³ untuk agregat kasar dan 2,70 gr/cm³

untuk agregat medium dengan syarat minimum $2,5 \text{ gr/cm}^3$. Dari perbandingan berat agregat kering/*oven dry* dengan berat agregat kering permukaan jenuh akan didapatkan persentase absorpsi agregat. Standar yang digunakan dalam pemeriksaan absorpsi adalah SNI 03-1969-1990. Absorpsi dipengaruhi luas permukaan dan pori agregat. Hasil pemeriksaan memenuhi persyaratan dengan absorpsi agregat kasar sebesar 1,65 % dan agregat medium sebesar 2,85 % dengan syarat maksimum 3 %.

- **Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus**
Standar yang digunakan untuk pemeriksaan berat jenis adalah SNI 03-1979-1990. Berat jenis curah didapat $2,61 \text{ gr/cm}^3$ dengan syarat minimum $2,5 \text{ gr/cm}^3$. Berat jenis SSD juga memenuhi persyaratan dengan nilai $2,63 \text{ gr/cm}^3$ dan syarat minimum $2,5 \text{ gr/cm}^3$. Berat jenis semu memenuhi persyaratan dengan hasil $2,67 \text{ gr/cm}^3$ dan syarat minimum $2,5 \text{ gr/cm}^3$. Persentase absorpsi didapat 1,01 % dengan syarat maksimum 3 %. Sehingga agregat halus lolos uji berat jenis dan penyerapan.
- **Keausan Agregat**
Standar yang digunakan adalah SNI 03-2417-1991, uji keausan dengan menggunakan mesin Los Angeles. Benda uji adalah agregat kasar lolos saringan $\frac{3}{4}$ " atau 19,1 mm dan tertahan saringan $\frac{1}{2}$ " atau 12,7 mm sebanyak 2500 gram, sebanyak 2500 gram lolos saringan $\frac{1}{2}$ " dan tertahan saringan $\frac{3}{8}$ ". Hasil pemeriksaan didapatkan 19,24 % dengan persyaratan maksimum keausan sebesar 40 %. Nilai yang memenuhi persyaratan ini menyatakan agregat memiliki kekekalan bentuk permukaan yang cukup untuk memberikan daya dukung dalam campuran beraspal.

Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat

Pemeriksaan gradasi agregat dengan metode analisa saringan mengacu pada standar PB-0201-76, AASHTO T-27-82, ASTM D-136-04. Hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar, medium dan halus tertera pada tabel 4.3.

Total agregat kasar yang diuji adalah 1992 gram. Analisa saringan untuk agregat kasar, 98,74 % agregat lolos saringan $\frac{3}{4}$ " dan tertahan pada saringan $\frac{1}{2}$ ". Spesifikasi binamarga untuk agregat kasar adalah yang memiliki ukuran butir lebih besar dari diameter saringan no. 4. Pada saringan no. 4, banyak agregat yang lolos adalah sebanyak 0,5 % dari total agregat.

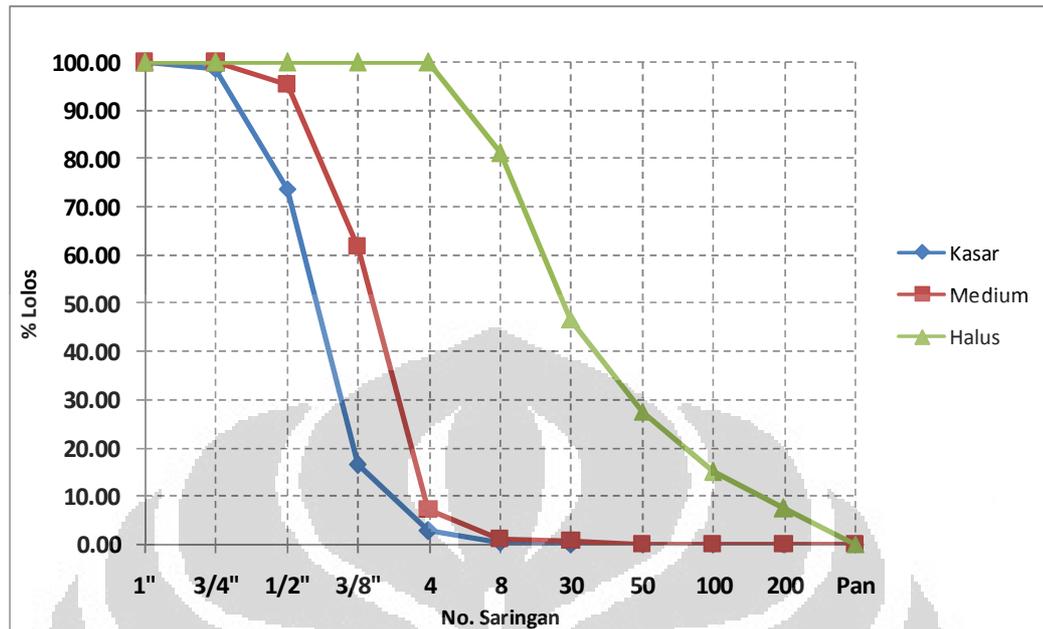
Analisa saringan agregat medium, sebaran terbanyak adalah jumlah tertahan pada saringan $\frac{3}{8}$ " sebanyak 33,82 % dan pada saringan no. 4 sebanyak 54,41 %. Sementara 7,36 % lolos saringan no. 4 dan 1,1 % lolos saringan no. 8. Masih terdapat agregat yang lolos saringan no. 30 akan tetapi dengan jumlah kecil yaitu 0,7 % dari total agregat medium. Total agregat medium yang diuji adalah 1996 gram.

Total agregat halus yang diuji adalah 989 gram. Menurut spesifikasi binamarga, agregat halus adalah yang memiliki ukuran butir lebih kecil dari diameter saringan no. 4, dan analisa saringan menunjukkan agregat halus seluruhnya lolos saringan no.4. Sebaran gradasi cukup merata pada saringan no. 8, no. 50, dan no.100, dengan sebaran terbanyak adalah tertahan di saringan no. 30 sebanyak 34,58 %.

Berdasarkan analisis gradasi yang didapat dibuat grafik sebaran agregat halus, agregat medium, dan agregat kasar yang tertera pada grafik 4.1. Grafik sebaran gradasi ini selanjutnya digunakan untuk menghitung proporsi agregat dalam campuran.

Tabel 4.22 Pemeriksaan Gradasi Agregat

No. Saringan	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Berat (%)	
			Tertahan	Lolos
<i>Agregat Kasar</i>				
¾"	19,1	25,00	1,26	98,74
½"	12,7	495	24,85	73,90
3/8"	9,52	1,143	57,38	16,52
No. 4	4,76	275	13,81	2,71
No. 8	2,38	44	2,21	0,50
Pan		10	0,50	0,00
Total		1,992		
<i>Agregat Medium</i>				
½"	12,7	88	4,41	95,59
3/8"	9,52	675	33,82	61,77
No. 4	4,76	1,086	54,41	7,36
No. 8	2,38	125	6,26	1,10
No. 30	0,59	8,00	0,40	0,70
Pan		14,00	0,70	0,00
Total		1,996		
<i>Agregat Halus</i>				
No. 4	4,76	0	0,00	100,00
No. 8	2,38	186	18,81	81,19
No. 30	0,59	342	34,58	46,61
No. 50	0,279	190	19,21	27,40
No. 100	0,149	122	12,34	15,07
No. 200	0,074	75	7,58	7,48
Pan		74	7,48	0,00
Total		989		



Grafik 4.1 Sebaran Gradasi Agregat

4.1.2 HASIL PEMERIKSAAN BGA (BUTON GRANULAR ASPHALT)

BGA yang diuji adalah BGA tipe 20/25 atau kelas penetrasi 20 (0,1 mm) dengan kelas penetrasi 25.

Pengujian dilakukan terhadap BGA dalam keadaan semula dan juga setelah proses ekstraksi dengan menggunakan cairan TCE (*trichloroethylene*) dan alat ekstraktor reflux. Jenis pemeriksaan yang dilakukan sebelum proses ekstraksi adalah analisa saringan. Setelah proses ekstraksi, analisa saringan dilakukan kembali terhadap agregat. Aspal asbuton yang telah terekstraksi pemeriksaan yang dilakukan adalah penetrasi, daktilitas, serta titik lembek.

4.1.2.1 PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN

Hasil analisa saringan BGA sebelum dan setelah ekstraksi tertera pada Tabel 4.4. Grafik 4.2 menunjukkan grafik sebaran gradasi BGA yang belum diekstraksi serta perbandingannya terhadap grafik sebaran gradasi agregat. Sebaran gradasi BGA yang telah diekstraksi serta perbandingannya terhadap sebaran gradasi agregat tertera pada grafik 4.3.

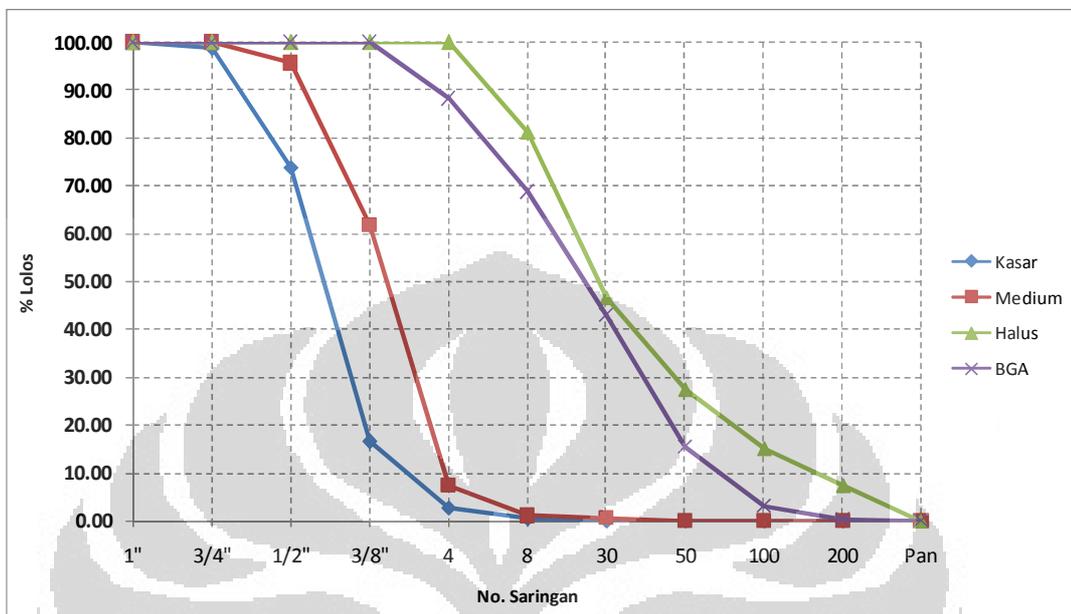
Tabel 4.23 Hasil Analisa Saringan BGA

No. Saringan	Diameter (mm)	Syarat (% Lolos)	BGA (Sebelum Ekstraksi)	BGA (Setelah Ekstraksi)
3/8"	9,52		100,00	100,00
4	4,76	100	88,19	100,00
8	2,38	Min. 95	68,77	99,75
30	0,59		42,94	98,24
50	0,279		15,42	85,53
100	0,149		3,10	60,38
200	0,074		0,20	39,87
Pan			0,00	0,00

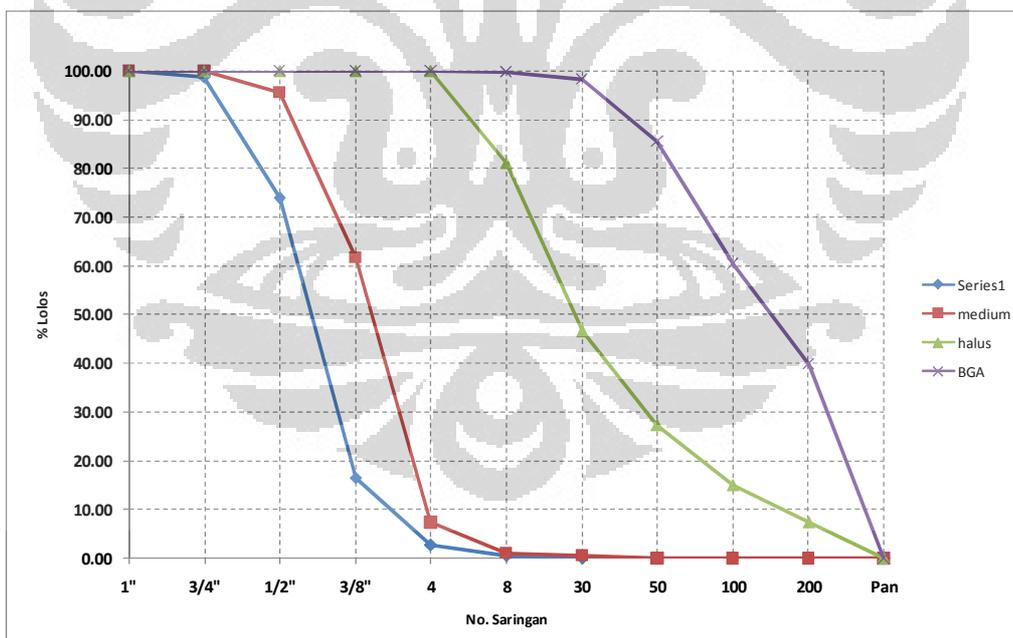
Hasil analisa saringan BGA sebelum ekstraksi menunjukkan terdapat BGA yang tertahan di saringan no. 4 yang berarti ukuran butiran terbesar adalah 9,52 mm. Lolos saringan no. 8 sebanyak 68,77 %. Hasil analisa saringan BGA setelah ekstraksi memenuhi persyaratan BGA tipe 20/25 yang merupakan standar SNI 03-1968-1990. Butiran lolos saringan no.4 adalah 100 % dan lolos saringan no. 8 sebanyak 98,24 %.

Perbedaan hasil analisa saringan ini disebabkan oleh adanya kadar aspal melapisi butiran granular BGA yang sifatnya masih padat. Sehingga ukuran butiran menjadi lebih besar. Setelah diekstraksi, aspal dan mineral akan terpisah sehingga dapat terukur ukuran asli butiran granular BGA melalui analisa saringan. Jumlah aspal yang terekstraksi menyatakan kadar aspal dari BGA dihitung dalam pemeriksaan aspal BGA.

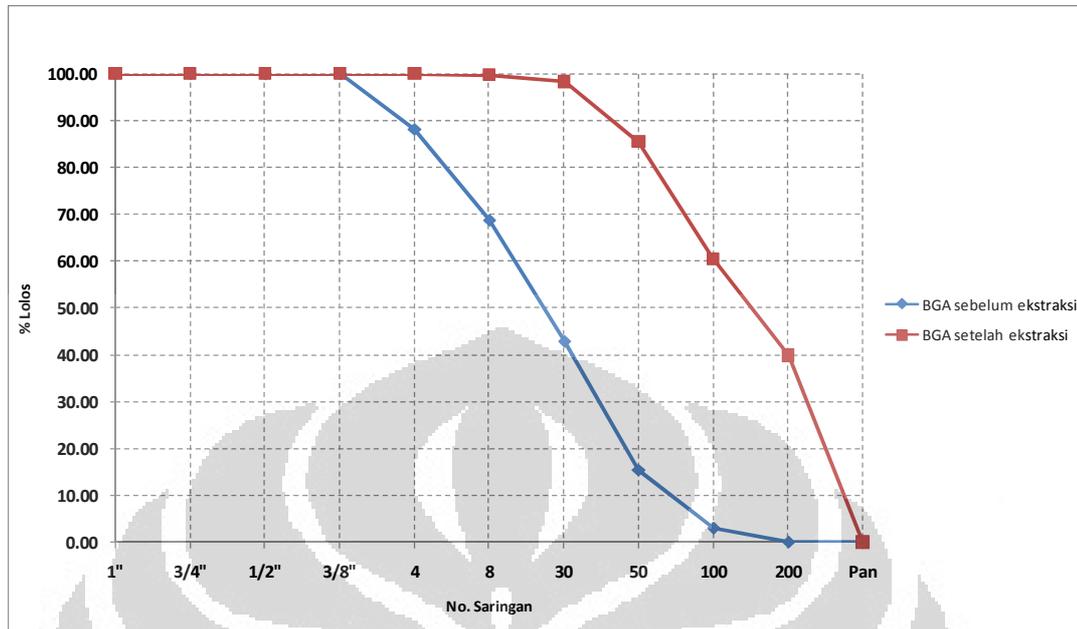
Sebaran gradasi BGA sebelum ekstraksi yang disajikan pada grafik 4.2 terlihat terletak diantara gradasi agregat halus dengan gradasi agregat medium. Setelah aspal dan butiran granular BGA diekstraksi, didapatkan grafik 4.3 sebaran gradasi BGA diluar sebaran gradasi agregat halus dan medium. Grafik perbandingan sebaran gradasi BGA awal dan sebaran BGA setelah ekstraksi dapat dilihat pada grafik 4.4.



Grafik 4.2 Gradasi BGA Sebelum Ekstraksi



Grafik 4.3 Gradasi BGA Setelah Ekstraksi



Grafik 4.4 Gradasi BGA Sebelum dan Setelah Ekstraksi

Dari grafik perbandingan BGA sebelum dan setelah ekstraksi dapat dilihat perbedaan nilai kelolosan terhadap masing-masing nomor saringan. Perbedaan ini disebabkan oleh pelepasan asbuton dari butiran granular BGA sehingga ukuran butiran menjadi semakin kecil. Untuk BGA murni, agregat telah tertahan di saringan no.4, sementara setelah proses ekstraksi agregat tertahan setelah saringan no.8. Hal ini menyebabkan grafik sebelum proses ekstraksi lebih landai atau menunjukkan jumlah agregat halus lebih sedikit. Sementara pada grafik setelah proses ekstraksi, terlihat nilai yang tinggi pada ukuran saringan agregat halus.

4.1.2.2 PEMERIKSAAN BGA

Pemeriksaan yang dilakukan adalah tes penetrasi, titik lembek, daktilitas, serta kadar aspal asbuton BGA.

- **Pemeriksaan Penetrasi**

Penetrasi aspal asbuton BGA menggunakan standar SNI 06-2490-1991 dengan nilai antara 19-22 dmm. Benda uji terlebih dahulu didiamkan dalam suhu 25 °C selama 30 menit, kemudian diberi beban selama 5 detik

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

Dari kelima titik uji penetrasi, terdapat 1 titik diluar syarat ketentuan penetrasi aspal, namun rata-rata dari 5 titik uji memenuhi persyaratan yaitu 1,96 mm. Nilai penetrasi ini cukup rendah dibandingkan dengan penetrasi aspal murni. Hal ini disebabkan aspal asbuton dari BGA yang karakteristik aspalnya kaku.

- Pemeriksaan Titik Lembek

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

- Pemeriksaan Daktilitas

Daktilitas menunjukkan elastisitas BGA sebelum patah atau putus. Pengujian menggunakan beban tarik dengan kecepatan 5 cm/menit. Benda uji terlebih dahulu didiamkan dalam suhu 25 °C selama 15 menit. Hasil pemeriksaan menunjukkan aspal putus pada angka 80 cm. Nilai daktilitas ini lebih rendah daripada daktilitas aspal murni. Hal ini disebabkan oleh sifat elastisitas aspal BGA yang rendah atau kaku.

Karakteristik BGA dengan nilai penetrasi rendah serta titik lembek yang tinggi ini membuat BGA menjadi bahan aditif yang baik bagi campuran beraspal karena akan meningkatkan kekuatan dan keawetan campuran.

Berdasarkan data hasil ekstraksi dari BGA murni, dapat dihitung kadar aspal dari BGA. Perhitungan kadar aspal BGA tertera pada tabel 4.5.

Tabel 4.24 Pemeriksaan Kadar Aspal BGA Murni

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

Hasil pemeriksaan menunjukkan angka diluar persyaratan (*Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum 2007*). Hal ini menunjukkan variasi dari kadar aspal BGA yang masih sangat besar. Untuk mengetahui kecenderungan besar variasi kadar aspal BGA, selanjutnya pemeriksaan akan dilakukan terhadap volume aspal dengan campuran BGA setelah proses ekstraksi.

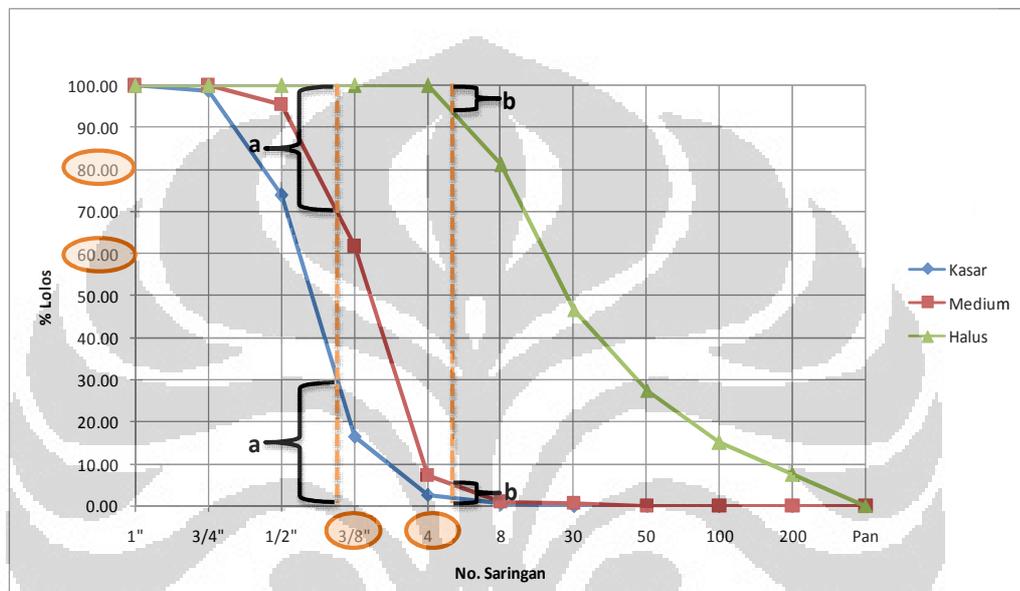
4.2 PROPORSI MATERIAL CAMPURAN

4.2.1 PROPORSI AGREGAT DAN ASPAL

Dari sebaran agregat pada grafik 4.1, dapat dibuat proporsi agregat menerus optimum dari agregat kasar, agregat medium, dan agregat halus.

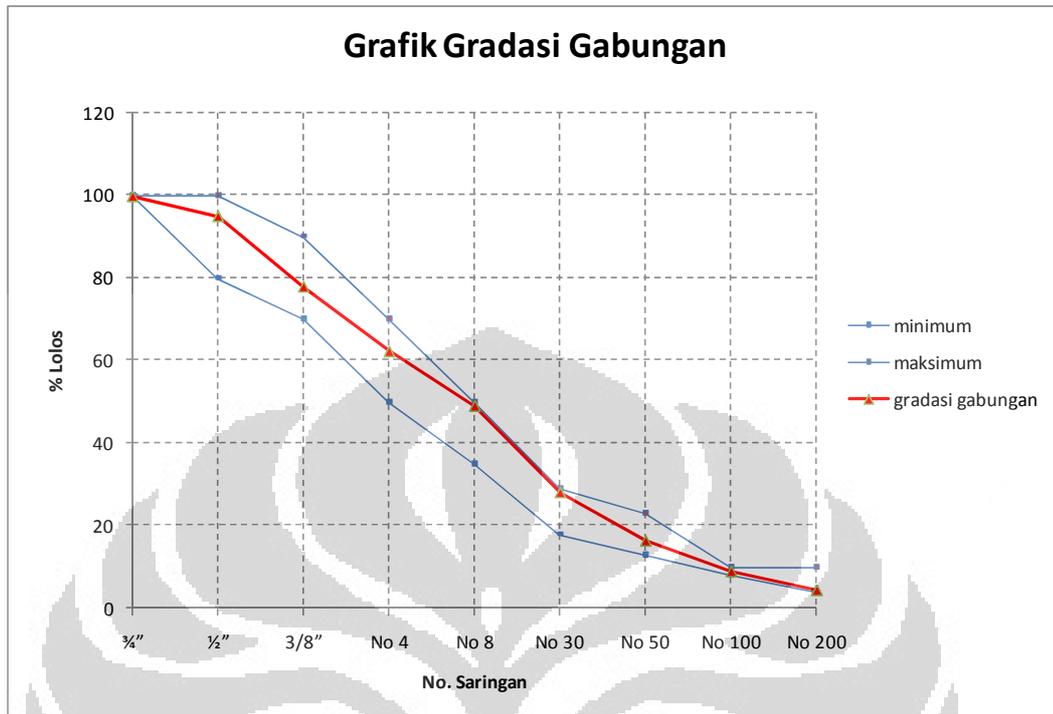
Metode yang digunakan untuk menentukan komposisi agregat adalah metode *trial and error*. Untuk menentukan proporsi agregat halus, digunakan perpotongan garis gradasi agregat halus dan agregat medium dengan jarak yang sama (b). Perpotongan tersebut mendekati no. saringan no.4 dengan persyaratan persen lolos sebesar 50-70 % (*Tabel 2.7 Persyaratan Gradasi Agregat Berbagai Tipe Laston*). Proporsi agregat halus ditentukan dengan mengambil nilai tengah dari persen lolos persyaratan yaitu 60 %. Proporsi agregat kasar ditentukan dengan metode yang sama terhadap grafik agregat kasar dan agregat medium. Perpotongan (a) terdekak dengan saringan no. ½”, dengan persyaratan lolos 70-90 % dengan nilai tengah yaitu 80 %. Dengan demikian didapatkan sebaran gradasi agregat dari analisa saringan adalah 20

% agregat kasar, 20 % agregat medium, dan 60 % agregat halus. Untuk mendapatkan proporsi agregat yang optimum atau memenuhi spesifikasi gradasi spec IV, dilakukan *trial and error* terhadap hasil yang didapatkan. Besar komposisi agregat optimum adalah 15 % agregat kasar, 25 % agregat medium, dan 60 % agregat halus. Gradasi gabungan dari komposisi yang telah didapatkan tertera pada tabel 4.6.



Tabel 4.25 Gradasi Gabungan

No. Saringan	Agregat Kasar		Agregat Medium		Agregat Halus		Spec*	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
⅜"	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	8-10	9	9.04
No 200					7.48	4.49	4-10	7	4.49



Grafik 4.5 Gradasi Campuran Aspal Murni

Dari grafik 4.5 terlihat gradasi campuran untuk saringan $\frac{3}{4}$ "", $\frac{1}{2}$ "", $\frac{3}{8}$ "", dan no.4 mendekati gradasi tengah spesifikasi. Sementara persen lolos di saringan no. 8 dan no. 30 mendekati nilai maksimum, dan agregat lolos saringan no.200 mendekati nilai minimum namun masih dalam batas spesifikasi.

Proporsi agregat ini selanjutnya digunakan untuk menghitung berat material campuran aspal murni yaitu berat aspal, berat agregat kasar, dan berat agregat halus. Berat 1 buah sampel total adalah 1150 gram. Kadar aspal yang dipakai adalah 4,5 %, 5 %, 5,5 %, 6 %, dan 6,5 %. Dari kadar aspal terhadap berat sampel didapatkan berat aspal dan berat sisa sampel untuk agregat. Proporsi agregat yang telah didapatkan yaitu agregat kasar 15 %, agregat medium 25 %, dan agregat halus 60 % terhadap berat sisa sampel untuk mendapatkan berat masing-masing agregat terhadap setiap kadar aspal. Perhitungan berat material campuran tertera pada Tabel 4.7.

Tabel 4.26 Berat Material Campuran Aspal Murni

Berat Total	Aspal (%)	Aspal (gram)	Massa (gram)			
			Berat Sisa	Kasar (15%)	Medium (25%)	Halus (60%)
(1)	(2)	(3)=(1)x(2)	(4)=(1)-(3)	(15%x(4))	(25%x(4))	(60%x(4))
1150	4,5	51.75	1098.25	164.7375	274.5625	658.95
1150	5	57.5	1092.5	163.875	273.125	655.5
1150	5,5	63.25	1086.75	163.0125	271.6875	652.05
1150	6	69	1081	162.15	270.25	648.6
1150	6,5	74.75	1075.25	161.2875	268.8125	645.15

Komposisi gradasi pada Tabel 4.7 digunakan untuk membuat campuran benda uji dengan bahan pengikat aspal dan aspal modifikasi polimer. Aspal polimer yang digunakan dengan jenis modifikasi polimer 2 % dan polimer 4 %.

4.2.2 PROPORSI MATERIAL DENGAN BGA

Berdasarkan spesifikasi gradasi pada spec IV dirancang komposisi dari campuran dengan BGA dengan kadar BGA 5 % dan 7 %. Komposisi gabungan dari kedua bahan tersebut merupakan gradasi yang terdekat dengan nilai tengah spesifikasi. Pengaturan proporsi agregat kasar, agregat medium dan agregat halus dilakukan dengan memasukkan hasil analisa saringan BGA dan memasukkan angka proporsinya. BGA diasumsikan sebagai agregat.

Untuk mendapatkan berat masing-masing material campuran, perhitungan terlebih dahulu dilakukan dengan mengurangi berat total sampel dengan berat aspal sesuai kadarnya. Berat total campuran adalah 1150 gram, dan kadar aspal yang akan diuji adalah 4,5 %, 5 %, 5,5 %, 6 %, dan 6,5 %. Berat agregat kasar, agregat medium, dan agregat halus didapatkan dari besar proporsi masing-masing terhadap berat campuran yang tersisa (berat total campuran – berat aspal).

4.2.2.1 PROPORSI MATERIAL DENGAN BGA 5 %

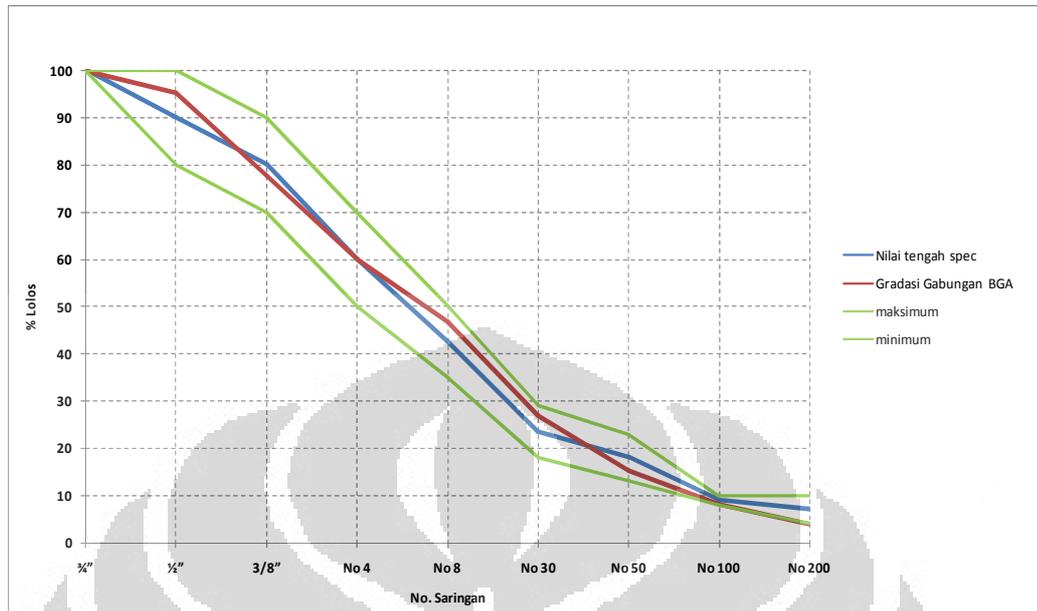
Komposisi agregat dengan menggunakan BGA 5 % disajikan pada tabel 4.8.

Tabel 4.27 Proporsi Agregat Gradasi Gabungan BGA 5%

Saringan No.	Kasar		Medium		Halus		BGA		Spec*	Nilai tengah Spec	Gradasi Gabungan
	(% lolos kumulatif)		(% lolos kumulatif)		(% lolos kumulatif)		(% lolos kumulatif)				
	Total	14%	Total	28%	Total	53%	Total	5%			
¾"	98.74	13.82	100.00	28	100.00	53	100.00	5	100	100	99.8
½"	73.90	10.35	95.59	26.77	100.00	53	100.00	5	80-100	90	95.1
3/8"	16.52	2.31	61.77	17.30	100.00	53	100.00	5	70-90	80	77.6
No 4	2.71	0.38	7.36	2.06	100.00	53	88.19	4.41	50-70	60	59.9
No 8	0.50	0.07	1.10	0.31	81.19	43.03	68.77	3.44	35-50	42.5	46.8
No 30			0.70	0.20	46.61	24.70	42.94	2.15	18-29	23.5	27.0
No 50					27.40	14.52	15.42	0.77	13-23	18	15.3
No 100					15.07	7.98	3.10	0.16	8-10	9	8.1
No 200					7.48	3.97	0.20	0.01	4-10	7	4.0

Acuan komposisi adalah spesifikasi gradasi spec IV dan campuran dirancang dengan fraksi untuk memenuhi spesifikasi. Proporsi agregat yang didapatkan adalah 14 % untuk agregat kasar, 28 % untuk agregat medium, dan 53 % agregat halus (Tabel 4.8). Percobaan perhitungan dilakukan dengan menguji coba proporsi BGA mulai dari 1 % dengan penambahan 1 % sampai dengan 10 %. Dari seluruh grafik gradasi gabungan yang didapatkan, gradasi dengan BGA 5 % adalah yang paling mendekati nilai tengah spesifikasi seperti pada grafik 4.6.

Berdasarkan komposisi yang telah didapatkan, dapat dibuat berat dari masing-masing material campuran seperti pada tertera pada Tabel 4.9.



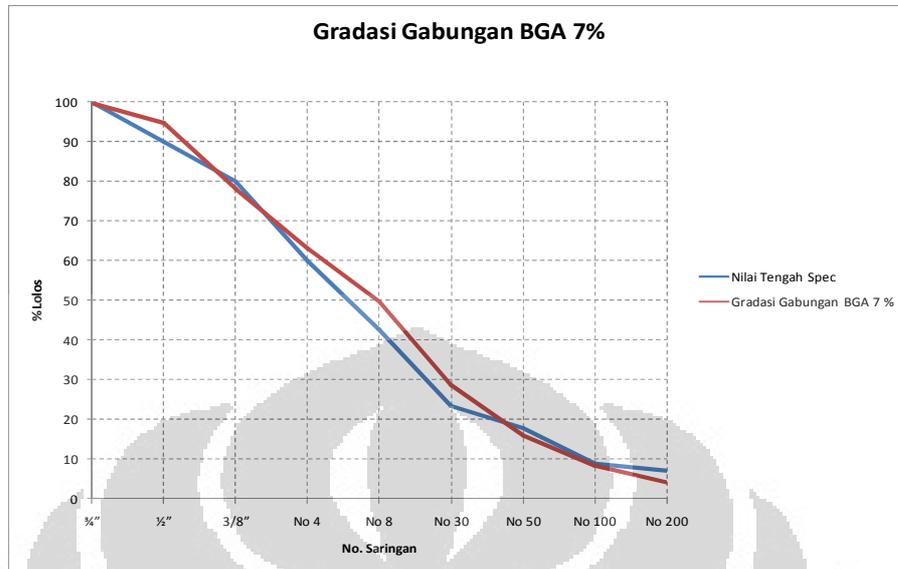
Grafik 4.6 Gradasi Gabungan BGA 5 %

Tabel 4.28 Berat Material Campuran BGA 5 %

Berat Total (1)	Aspal (%) (2)	Aspal (gram) (3)=(1)x(2)	Massa (gram)				
			Berat Sisa (4)=(1)-(3)	Kasar (14%) (14%x(4))	Medium (28%) (28%x(4))	Halus (53%) (53%x(4))	BGA (5%) (5%x(4))
1150	4,5	51.75	1098.25	153.755	307.51	582.0725	54.9125
1150	5	57.5	1092.5	152.95	305.9	579.025	54.625
1150	5,5	63.25	1086.75	152.145	304.29	575.9775	54.3375
1150	6	69	1081	151.34	302.68	572.93	54.05
1150	6,5	74.75	1075.25	150.535	301.07	569.8825	53.7625

4.2.2.2 PROPORSI MATERIAL DENGAN BGA 7 %

Dari perhitungan proporsi agregat dengan menggunakan BGA dengan metode uji coba, angka lain yang didapatkan mendekati nilai tengah spesifikasi adalah 7 %. Selain itu, angka kadar BGA 7 % juga sering digunakan dalam perencanaan perkerasan menggunakan aditif BGA oleh PT. Hutama Prima sebagai sumber material BGA penelitian ini. Perbandingan grafik gradasi gabungan dengan menggunakan BGA 7 % dapat dilihat pada grafik 4.7.



Grafik 4.7 Grafik Gradasi Gabungan BGA 7 %

Perhitungan gradasi gabungan BGA 7 % dapat dilihat pada tabel 4.8. Perhitungan dilakukan dengan metode uji coba dan didapatkan proporsi agregat kasar 16 %, agregat medium 22 %, dan agregat halus 55 %.

Tabel 4.29 Proporsi Agregat Gradasi Gabungan BGA 7 %

Saringan No	Kasar		Medium		Halus		BGA		Spec*	Nilai tengah Spec	Gradasi Gabungan
	(% lolos)	Total									
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	8-10	9	8.50
No 200					7.48	4.12	0.20	0.01	4-10	7	4.13

Berat aspal diperoleh dari kadar aspal terhadap berat total sampel. Sehingga didapat berat sisa (berat sampel – berat aspal). Dari kadar agregat terhadap berat sisa tersebut akan didapat berat agregat kasar, medium, halus, serta berat BGA untuk setiap kadar aspal. Perhitungan berat material campuran tertera pada tabel 4.11

Tabel 4.30 Berat Material Campuran BGA 7 %

Berat Total (1)	Aspal (%) (2)	Aspal (gram) (3)=(1)x(2)	Massa (gram)				
			Berat Sisa (4)=(1)-(3)	Kasar (16%) (16%x(4))	Medium (22%) (22%x(4))	Halus (55%) (55%x(4))	BGA (7%) (7%x(4))
1150	4,5	51.75	1098.25	175.7	241.6	604.0	76.9
1150	5	57.5	1092.5	174.8	240.4	600.9	76.5
1150	5,5	63.25	1086.75	173.9	239.1	597.7	76.1
1150	6	69	1081	173.0	237.8	594.6	75.7
1150	6,5	74.75	1075.25	172.0	236.6	591.4	75.3

4.3 KADAR ASPAL OPTIMUM DARI DATA TES MARSHALL

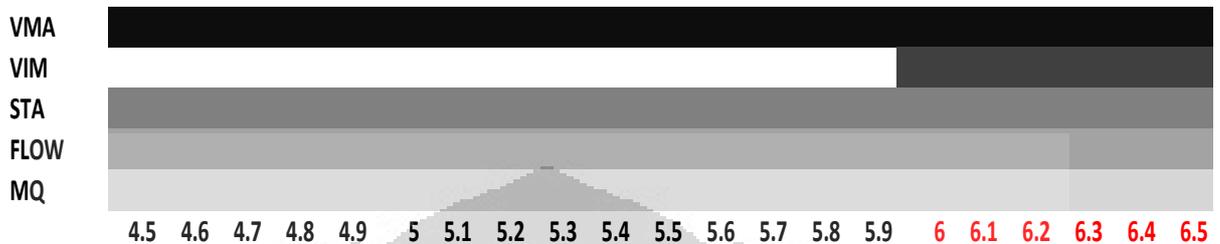
Pengujian awal yang dilakukan adalah pengujian sifat campuran dengan uji marshall. Pengujian serta pembahasan karakteristik campuran yang diperoleh dari tes marshall dibahas secara eksplisit dari penelitian ini. Data hasil tes marshall dipakai hanya untuk menentukan campuran dengan kadar aspal optimum untuk selanjutnya diekstraksi dan diperiksa material bahan pencampurnya. Analisis pada tahap ini merupakan sifat dari material pembentuk campuran.

Pada perancangan benda uji pada tabel 3.2 tertera jumlah benda uji untuk setiap jenis campuran yaitu 3 sampel. Jumlah benda uji yang diuji ekstraksi adalah 2 sampel untuk tujuan keakuratan dan kecukupan konten aspal untuk pengetesan. Pemilihan kedua sampel berdasarkan nilai stabilitas optimum dari data hasil uji marshall.

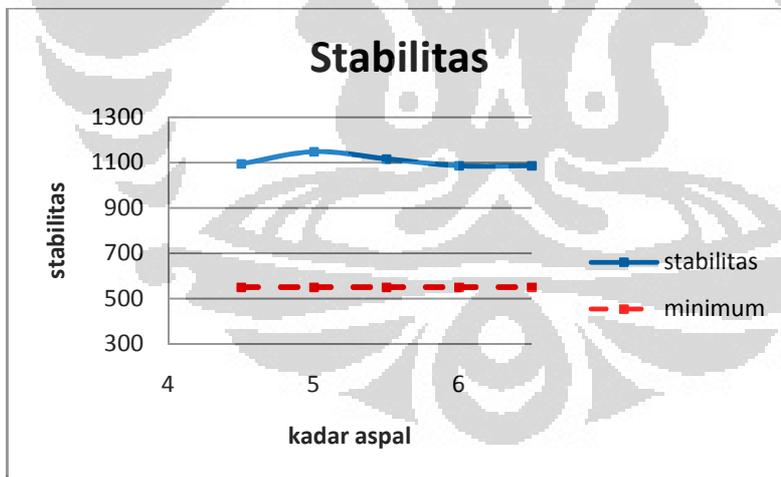
Kadar aspal optimum ditentukan dari campuran yang masuk spesifikasi untuk rongga antar agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM), stabilitas (STA),

kelelahan (FLOW), serta nilai marshall (MQ). Untuk menentukan campuran dengan kadar aspal optimum untuk diekstraksi, digunakan nilai stabilitas maksimum.

Kadar Aspal Optimum BGA 5 % Polimer 0 %



Dari diagram Kadar Aspal Optimum untuk BGA 5% Polimer 0% didapatkan kadar aspal optimum untuk campuran dengan kadar aspal 6% dan 6,5%. Untuk menentukan sampel yang memiliki kinerja lebih optimum untuk diekstraksi, dilakukan perbandingan nilai stabilitas. Grafik 4.8 menunjukkan rata-rata stabilitas yang sama untuk kadar aspal 6% dan 6,5%. Akan tetapi dari data stabilitas yang didapatkan, campuran kadar aspal 6% memiliki sebaran stabilitas yang lebih optimal. Sehingga sampel yang diekstraksi adalah campuran kadar aspal 6%.



Sampel	Stabilitas (kg)
Aspal 6 %	
1	1016.466
2	1224.379
3	1016.466
Aspal 6,5 %	
1	993.364
2	1155.075
3	1108.872

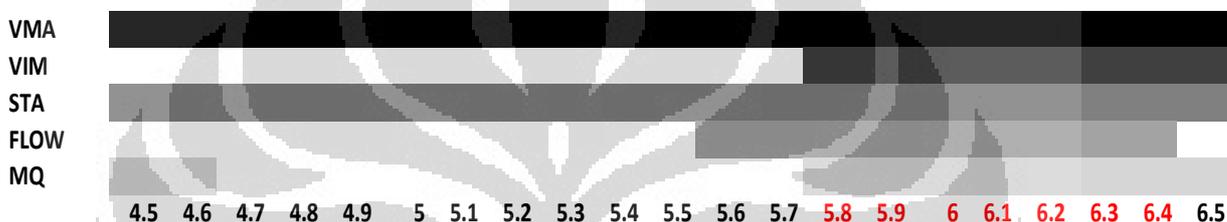
Grafik 4.8 Stabilitas BGA 5% Polimer 0%

- Kadar Aspal Optimum BGA 5% Polimer 2%



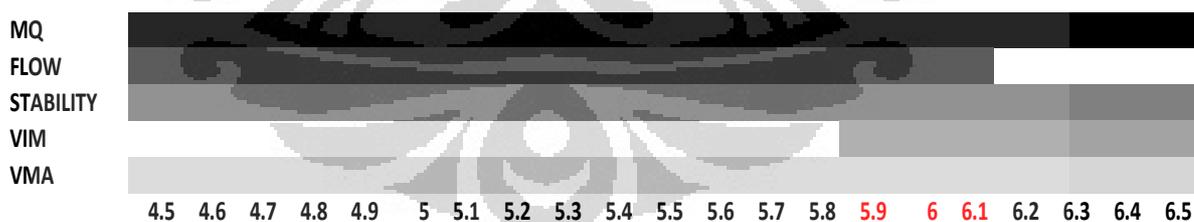
Kadar aspal optimum yang didapatkan adalah 5,9% sampai 6,1%. Sehingga sampel yang diekstraksi dapat langsung ditentukan yaitu campuran dengan kadar aspal 6%.

- Kadar Aspal Optimum BGA 5% Polimer 4%



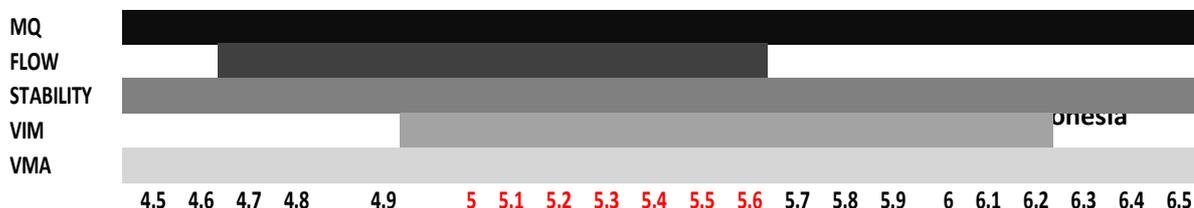
Kadar aspal optimum yang didapatkan adalah 5,8% sampai dengan 6,4%. Sampel 6% dinilai mewakili campuran dengan kadar aspal optimum yang didapatkan, sehingga campuran dengan kadar aspal 6% merupakan sampel yang diekstraksi.

- Kadar Aspal Optimum BGA 7% Polimer 0%

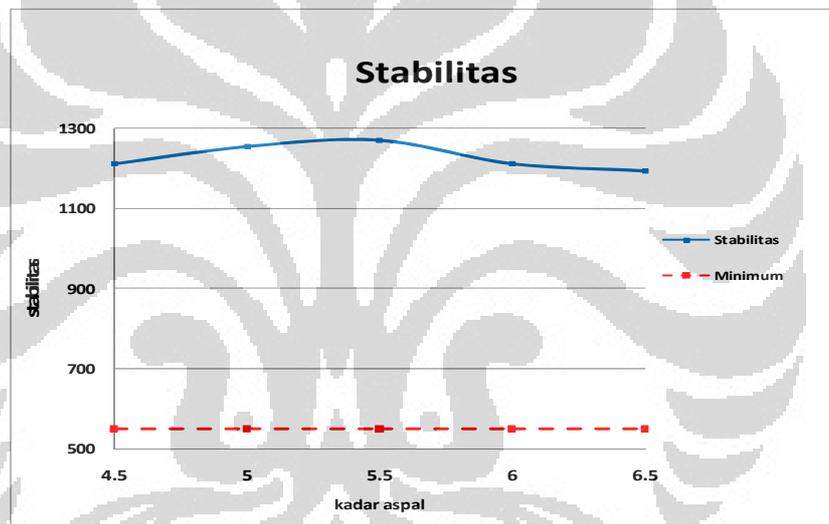


Kadar aspal optimum didapatkan untuk campuran dengan kadar aspal 5,9% sampai dengan 6,1%. Sampel campuran dengan kadar aspal 6% dinilai mewakili campuran tersebut sehingga merupakan sampel yang diekstraksi.

- Kadar Aspal Optimum BGA 7% Polimer 2%

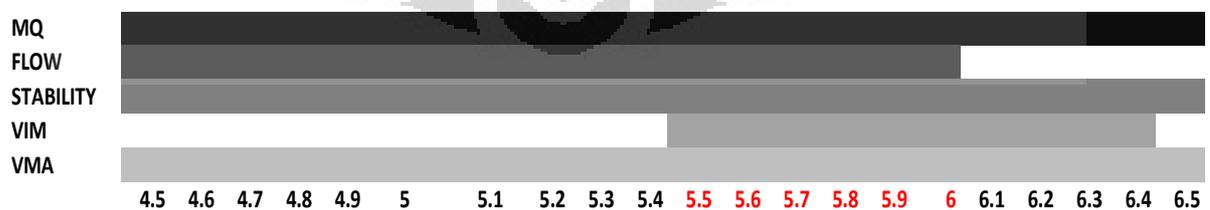


Kadar aspal optimum didapatkan untuk campuran dengan kadar aspal 5% sampai dengan 5,6%. Untuk menentukan sampel yang memiliki kinerja lebih optimum untuk diekstraksi, dilakukan perbandingan nilai marshall. Grafik 4.9 menunjukkan nilai stabilitas yang lebih tinggi untuk kadar aspal 5,5% dari kadar aspal 5%. Sehingga sampel yang diekstraksi adalah campuran kadar aspal 5,5%.

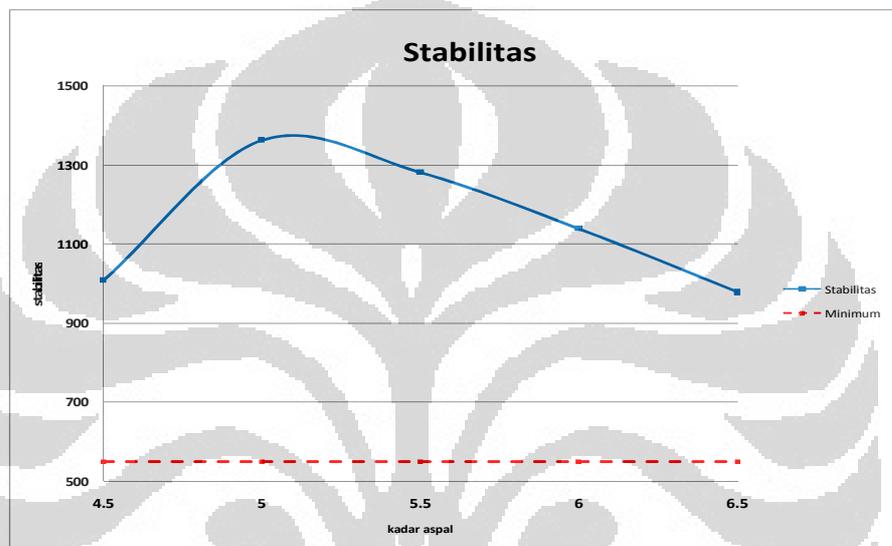


Grafik 4.9 Stabilitas BGA 7% Polimer 2%

- Kadar Aspal Optimum BGA 7% Polimer 4%



Kadar aspal optimum didapatkan untuk campuran dengan kadar aspal 5,5% sampai dengan 6%. Untuk menentukan sampel yang memiliki kinerja lebih optimum untuk diekstraksi, dilakukan perbandingan nilai marshall. Grafik 4.10 menunjukkan nilai stabilitas yang lebih tinggi untuk kadar aspal 6% dari kadar aspal 6,5%. Sehingga sampel yang diekstraksi adalah campuran kadar aspal 6%.



Grafik 4.10 Stabilitas BGA 7% Polimer 4%

Ekstraksi tidak dilakukan pada campuran BGA 0% Polimer 2% dan BGA 0% Polimer 4%, sehingga analisa kadar aspal optimum dari data tes marshall tidak dibutuhkan. Hal ini disebabkan karena polimer sendiri tidak memberi pengaruh pada gradasi campuran. Sehingga analisa saringan tidak lagi dilakukan pada campuran dengan polimer saja. Pemeriksaan aspal dilakukan langsung terhadap campuran aspal polimer 2% dan aspal polimer 4%, bukan dari proses ekstraksi.

4.4 HASIL UJI EKSTRAKSI

Uji ekstraksi menggunakan alat ekstraktor reflux, cairan TCE (*trichloroethylene*) serta kertas saring untuk memisahkan material campuran menjadi agregat dan aspal. Pemeriksaan agregat kembali dilakukan dengan analisa saringan

untuk mengetahui besar pengaruh butiran granular BGA terhadap gradasi campuran. Sementara pemeriksaan aspal dilakukan untuk melihat pengaruh aspal asbuton yang berasal dari BGA, serta pengaruh polimer terhadap campuran aspal.

4.4.1 ANALISA SARINGAN

Agregat yang telah terekstraksi terlebih dahulu dikeringkan dalam oven dengan suhu 110 °C selama kurang lebih 24 jam. Proses pemanasan dilakukan untuk mengeringkan agregat dari cairan TCE (*trichloroethylene*) dari proses ekstraksi. Setelah itu dilakukan analisa saringan pada agregat untuk setiap jenis campuran. Pada tahap pemeriksaan bahan campuran, jumlah sampel yang diekstraksi untuk setiap jenis campuran adalah 2 sampel. Jumlah sampel ekstraksi ini dibutuhkan untuk dapat menghasilkan konten aspal yang cukup untuk pemeriksaan aspal yang dilakukan, dan juga untuk alasan keakuratan hasil pemeriksaan.

BGA 5% POLIMER 0%

Pengujian dilakukan 2 buah sampel yaitu sampel nomor 2 dan sampel nomor 1.

- BGA 5% Polimer 0% sampel no.2

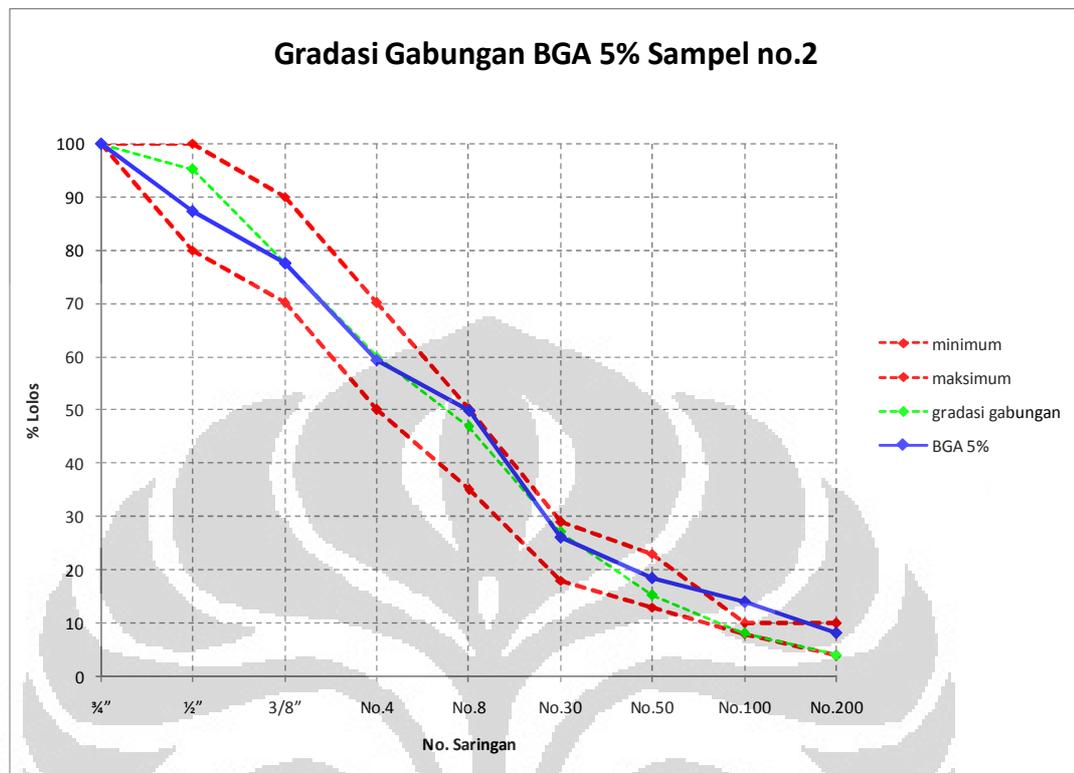
Tabel 4.13 menunjukkan gradasi hasil analisa saringan dari campuran dengan BGA 5% serta besar perubahannya terhadap gradasi gabungan awal.

Tabel 4.31 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 0% Sampel no.2

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0	0	100	99.8	0,18
½"	80	100	132.5	12.6794258	87.3206	95.1	-8,19
3/8"	70	90	103	9.85645933	77.4641	77.6	-0,19
No.4	50	70	191	18.277512	59.1866	59.9	-1,11
No.8	35	50	98	9.37799043	49.8086	46.8	6,32
No.30	18	29	247.5	23.6842105	26.1244	27.0	-3,42

No.50	13	23	79.5	7.6076555	18.5167	15.3	21,08
No.100	8	10	48	4.59330144	13.9234	8.1	71,05
No.200	4	10	59.5	5.6937799	8.22967	4.0	107,00

Perbandingannya secara grafis dapat dilihat pada grafik 4.13. Pada saringan no ½” dapat dilihat penurunan yang cukup signifikan dari rencana gradasi gabungan terhadap gradasi hasil ekstraksi. Hal ini disebabkan karena dominasi ukuran agregat kasar yang tertahan di saringan no ½” sehingga % lolos yang diperoleh dari selisih % lolos saringan sebelumnya (¾”) dengan % tertahan (½”) menjadi kecil dan perubahan gradasi menjadi bernilai negatif. Pada saringan no.4 terjadi penurunan 1,11%, begitu pula dengan saringan no.30 sebesar 3,42%. Pelepasan aspal dari butiran BGA setelah ekstraksi menyebabkan ukuran butiran menjadi kecil/halus, sehingga perubahan gradasi dari rencana gradasi gabungan bernilai negatif. Angka perubahan gradasi positif ditunjukkan pada saringan no.8, no.50, no.100, dan no.200 dengan nilai terbesar pada saringan no.200 yaitu 107 %, sehingga pengaruh BGA dinilai dominan kepada agregat halus. Grafik 4.11 menunjukkan hasil gradasi gabungan yang masih dalam batas spesifikasi kecuali untuk saringan no.100, jumlah % lolos melewati nilai maksimum spesifikasi sebesar 39,2 %.



Grafik 4.11 Gradasi Gabungan BGA 5% sampel no.2

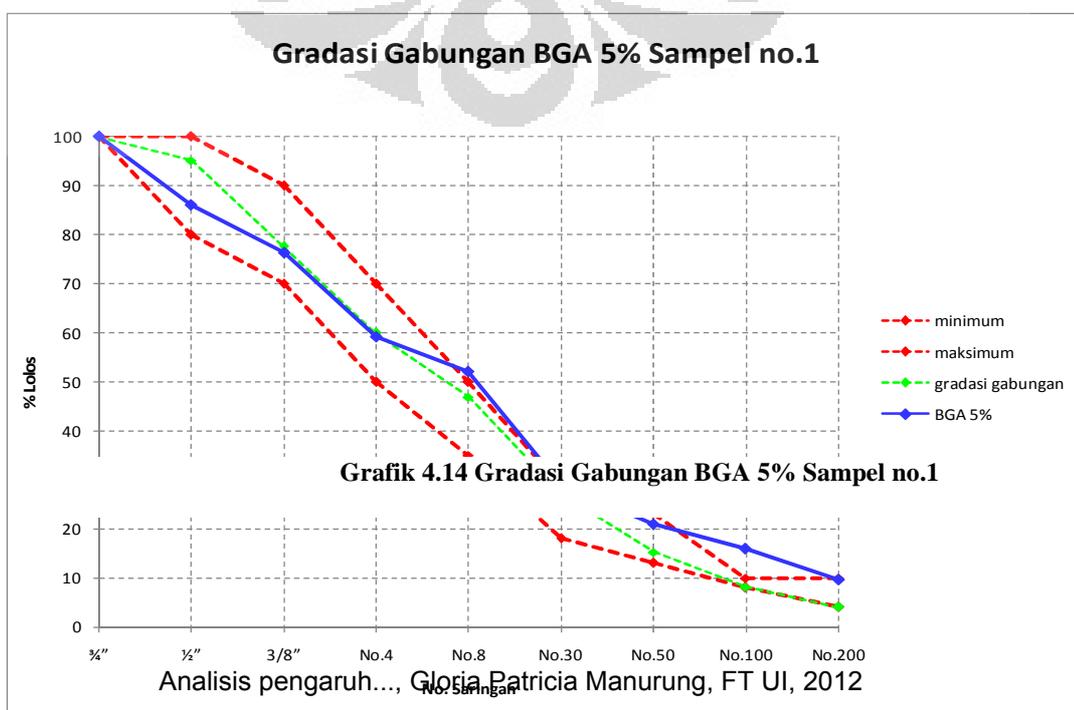
- BGA 5% Polimer 0% sampel no.1

Tabel 4.14 menunjukkan gradasi hasil analisa saringan dari campuran BGA 5 % dari sampel no.1. Hasil analisa saringan menunjukkan jumlah agregat kasar yang dominan pada saringan ½" sehingga memberi pengaruh cukup besar bagi perubahan nilai gradasi. Gradasi di saringan no.4 bernilai negatif, yang disebabkan oleh perubahan ukuran butiran BGA menjadi lebih kecil setelah proses ekstraksi. Dari grafik 4.12 dapat dilihat perubahan gradasi kearah positif untuk ukuran saringan no.8, no.50, no.100, dan no.200. Pada saringan no.30 juga terlihat kenaikan, dimana arah perubahan berbeda dengan sampel no.2. Kenaikan ini disebabkan ketidakseragaman

ukuran butiran BGA dan sebaran butiran dengan ukuran saringan no.30 yang cukup besar untuk sampel no.1 ini.

Tabel 4.32 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 0% Sampel no.1

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0.00	0.00	100.00	99.8	0,18
½"	80	100	145.50	13.87	86.13	95.1	-9,44
3/8"	70	90	104.00	9.91	76.22	77.6	-1,8
No.4	50	70	177.50	16.92	59.29	59.9	-0,93
No.8	35	50	77.00	7.34	51.95	46.8	10,9
No.30	18	29	241.00	22.97	28.98	27.0	7,14
No.50	13	23	83.50	7.96	21.02	15.3	37,44
No.100	8	10	53.50	5.10	15.92	8.1	95,58
No.200	4	10	65.00	6.20	9.72	4.0	144,58



Grafik 4.12 Gradasi Gabungan BGA 5 % Sampel no.1

Arah pengaruh BGA terhadap gradasi adalah pada agregat halus, dengan jumlah terbesar pada saringan no.200 yaitu 144,58%. Gradasi melewati batas maksimum spesifikasi pada ukuran saringan no.8 dan no.100, dimana untuk saringan no.100 melewati spesifikasi sebesar 59,2 %.

BGA 5 % POLIMER 2 %

Sampel yang diuji untuk campuran BGA 5 % dan polimer 2 % adalah sampel no.1 dan no.3. Analisa saringan dilakukan terhadap campuran dengan penambahan polimer untuk dapat melihat kecenderungan arah gradasi campuran dengan BGA 5 % secara lebih akurat.

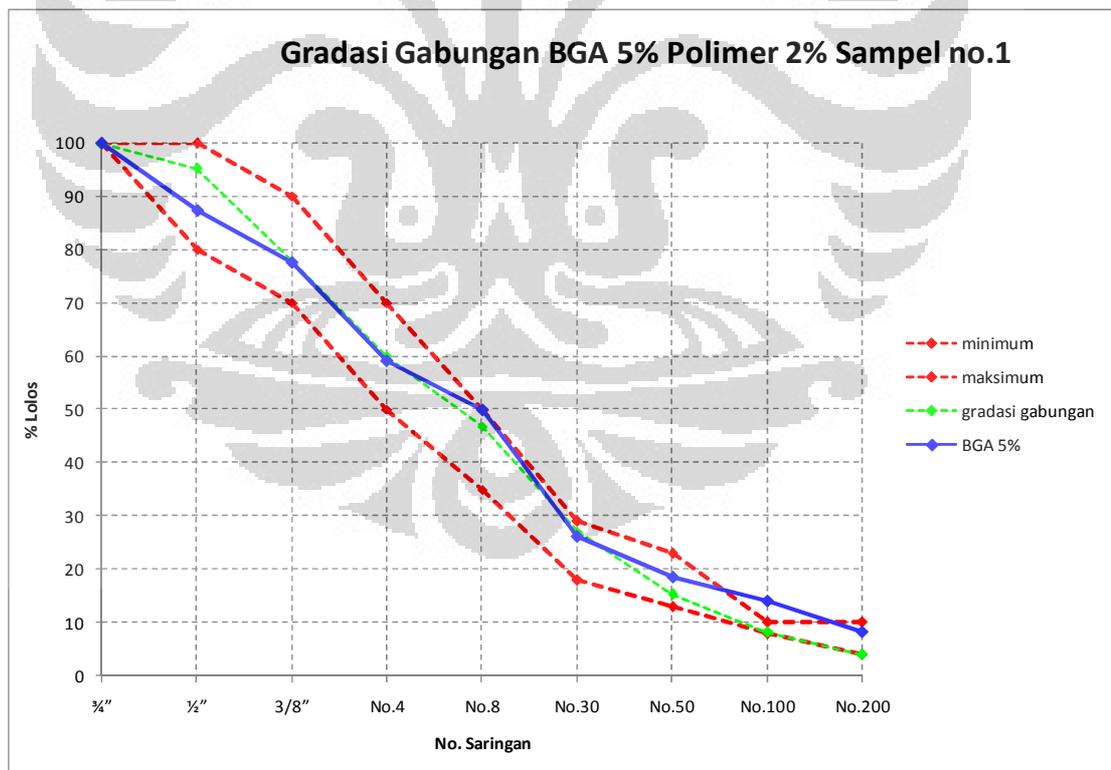
- BGA 5 % Polimer 2 % Sampel no.1

Tabel 4.33 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 2% Sampel no.1

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0	0.00	100.00	99.8	0,18
½"	80	100	147.5	13.92	86.08	95.1	-9,49
3/8"	70	90	79	7.45	78.63	77.6	1,32

No.4	50	70	206	19.43	59.20	59.9	-1,09
No.8	35	50	123.5	11.65	47.55	46.8	1,49
No.30	18	29	251	23.68	23.87	27.0	-11,76
No.50	13	23	72.5	6.84	17.03	15.3	11,34
No.100	8	10	43	4.06	12.97	8.1	59,36
No.200	4	10	53	5.00	7.97	4.0	100,51

Grafik 4.13 menunjukkan penambahan jumlah gradasi lolos saringan no.8, no.50, no.100, dan no.200 akibat pengaruh BGA. Pengaruh BGA terhadap gradasi di saringan no. 4 adalah bernilai negatif, disebabkan oleh perubahan ukuran BGA menjadi lebih kecil/halus setelah proses ekstraksi. Sementara pada tabel 4.15 saringan no.30 persen agregat lolos menurun sebesar 11,76 %. Penambahan BGA berpengaruh pada agregat halus campuran, dengan pengaruh terbesar pada ukuran butiran saringan no.200 yaitu 100,51 %. Gradasi yang melewati batas maksimum spesifikasi adalah pada saringan no.100 sebesar 29,7 %.

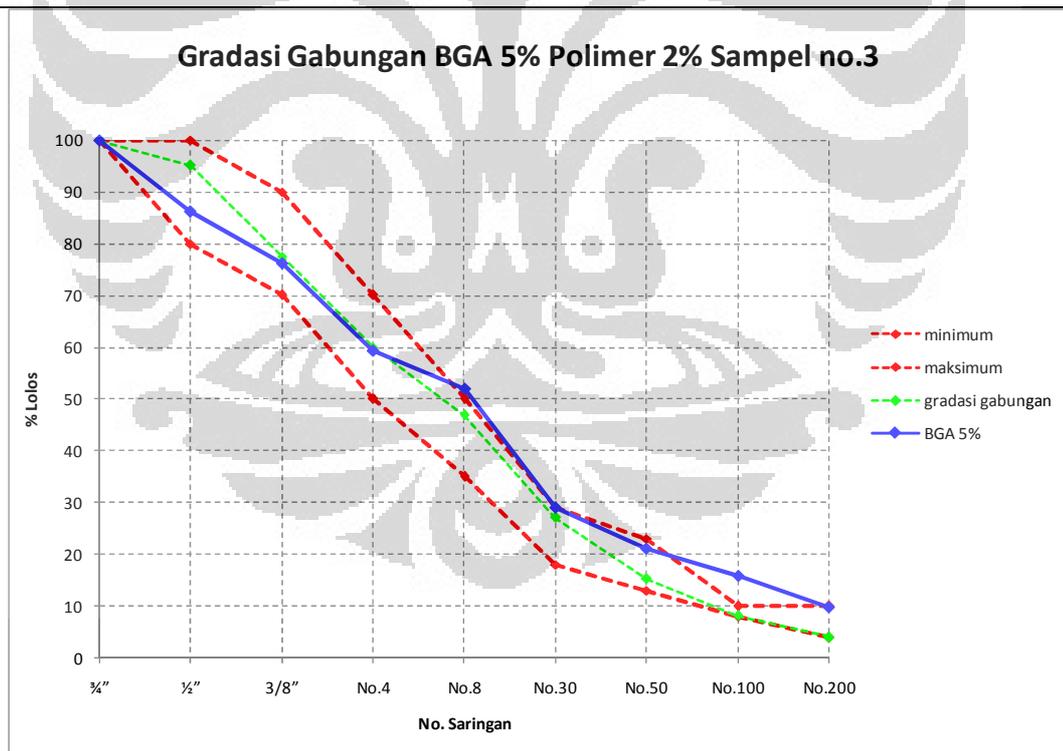


Grafik 4.13 Gradasi Gabungan BGA 5% Polimer 2 % Sampel no.1

- BGA 5% Polimer 2 % Sampel no. 3

Tabel 4.34 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 2% Sampel no.3

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0	0	100	99.8	0.18
½"	80	100	94	8.88468809	91.1153	95.1	-4.20
3/8"	70	90	160	15.1228733	75.9924	77.6	-2.08
No.4	50	70	185	17.4858223	58.5066	59.9	-2.25
No.8	35	50	78	7.37240076	51.1342	46.8	9.15
No.30	18	29	258.5	24.4328922	26.7013	27.0	-1.28
No.50	13	23	80.5	7.60869565	19.0926	15.3	24.84
No.100	8	10	48.5	4.58412098	14.5085	8.1	78.24
No.200	4	10	60.5	5.71833648	8.79017	4.0	121.10



Grafik 4.14 Gradasi Gabungan BGA 5% Polimer 2 % Sampel no.3

Dari grafik 4.16 dapat dilihat pengaruh BGA yang cukup besar terhadap gradasi dengan nomor saringan no.8, no.50, no.100, dan no.200. Gradasi di ukuran saringan no.4 terlihat menurun karena perubahan ukuran butiran BGA menjadi lebih kecil/halus. Terdapat penambahan jumlah agregat lolos saringan no. 30 sebanyak 1,28 %. Perubahan terbesar terlihat pada ukuran saringan no. 100 dengan penambahan agregat sebanyak 121,1 %. Gradasi pada saringan no.8 dan no.100 melewati batas maksimum spesifikasi. Kenaikan gradasi saringan no.100 terhadap batas maksimum spesifikasi adalah 45,08 %.

BGA 5 % POLIMER 4 %

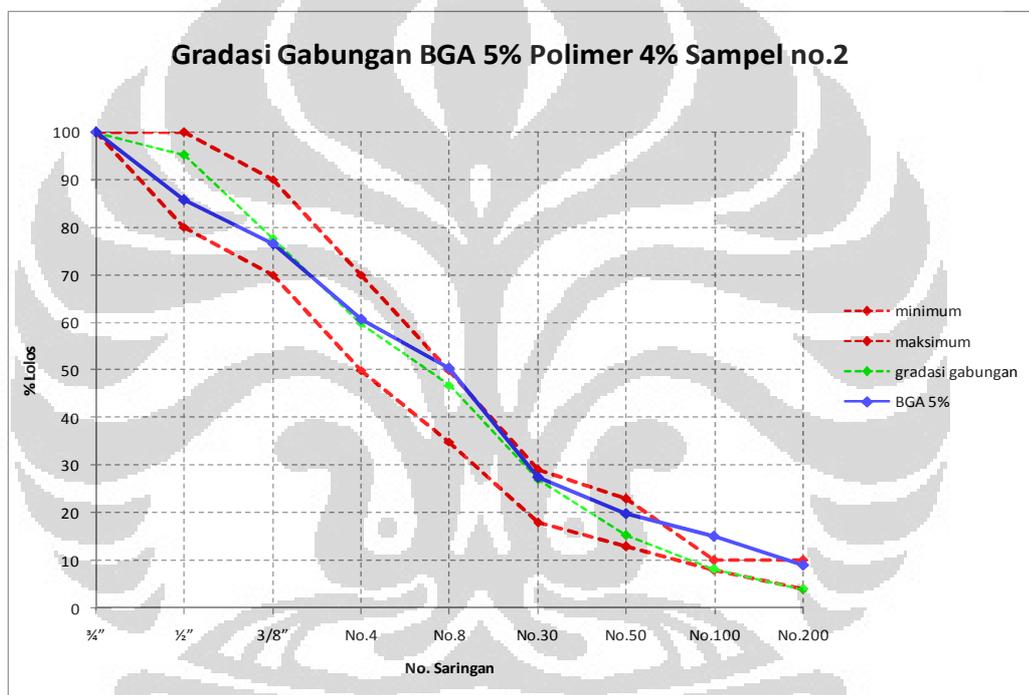
Sampel yang diuji dari campuran BGA 5 % Polimer 4 % adalah sampel no.2 dan no.1.

- BGA 5 % Polimer 4 % Sampel no.2

Tabel 4.35 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 4% Sampel no.2

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0	0.00	100.00	99.8	0.18
½"	80	100	150	14.34	85.66	95.1	-9.94
3/8"	70	90	97	9.27	76.39	77.6	-1.58
No.4	50	70	164	15.68	60.71	59.9	1.43
No.8	35	50	108	10.33	50.38	46.8	7.54
No.30	18	29	238.5	22.80	27.58	27.0	1.97
No.50	13	23	79.5	7.60	19.98	15.3	30.65
No.100	8	10	51	4.88	15.11	8.1	85.57
No.200	4	10	63.5	6.07	9.03	4.0	127.24

Dari tabel 4.17 dan grafik sebaran gradasi 4.15 dapat dilihat pengaruh BGA dominan ke arah positif dengan perubahan cukup signifikan dari saringan no.8 sampai dengan saringan no.200. Sampel no.2 dari campuran BGA 5 % Polimer 4 % ini menunjukkan kenaikan gradasi lolos saringan no.30 sebesar 1,97 %. Kenaikan ini dinilai karena pengaruh ketidakseragaman butiran BGA yang memberi kontribusi jumlah butiran pada ukuran saringan no.4. Pengaruh BGA adalah terhadap agregat halus dengan pengaruh terbesar pada ukuran saringan no.200. Gradasi pada saringan no.100 melewati batas maksimum spesifikasi sebesar 51,05 %.



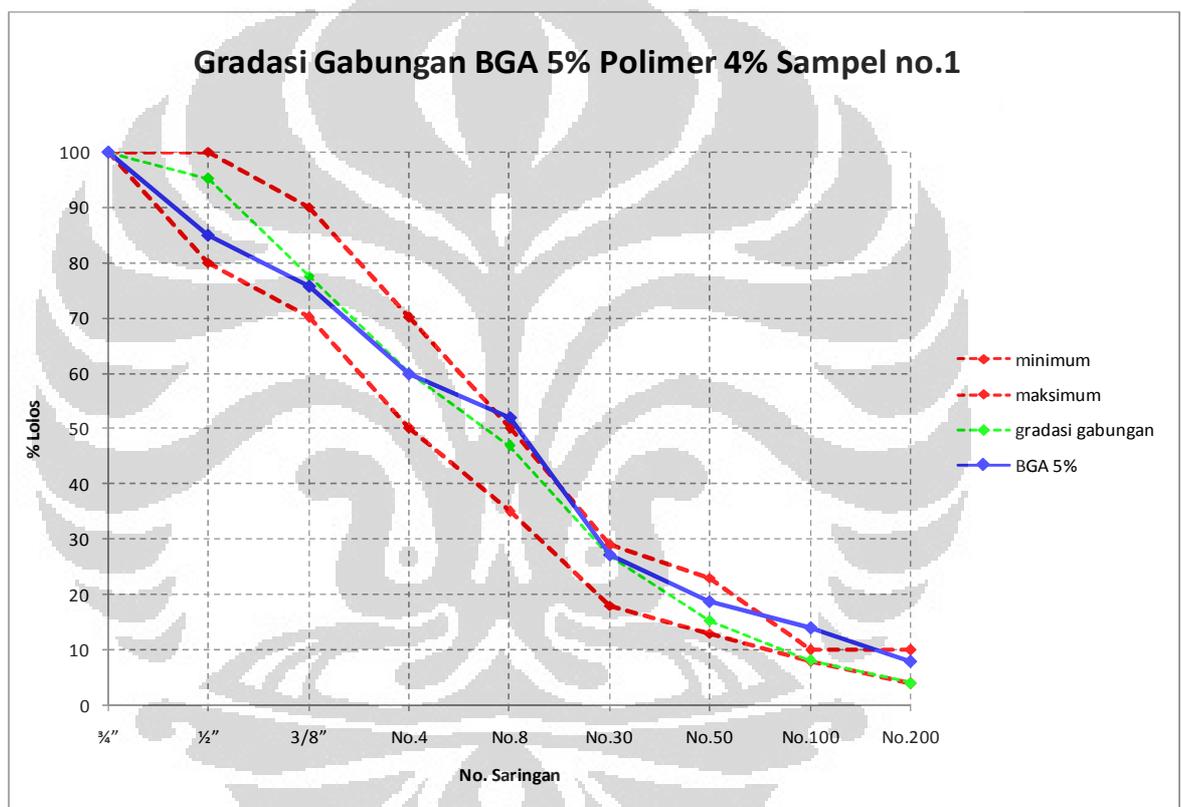
Grafik 4.15 Gradasi Gabungan BGA 5% Polimer 4 % Sampel no.2

- **BGA 5 % Polimer 4 % Sampel no.1**

Tabel 4.36 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 5% Polimer 4% Sampel no.1

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0	0.00	100.00	99.8	0.18
½"	80	100	156.5	15.01	84.99	95.1	-10.64

3/8"	70	90	97.5	9.35	75.64	77.6	-2.54
No.4	50	70	164	15.73	59.90	59.9	0.09
No.8	35	50	83.5	8.01	51.89	46.8	10.77
No.30	18	29	257	24.65	27.24	27.0	0.72
No.50	13	23	89	8.54	18.71	15.3	22.31
No.100	8	10	50.5	4.84	13.86	8.1	70.28
No.200	4	10	61.5	5.90	7.96	4.0	100.26



Grafik 4.16 Gradasi Gabungan BGA 5% Polimer 4 % Sampel no.1

Hasil analisa saringan ditunjukkan pada tabel 4.18 dan secara grafis pada grafik 4.16. Perubahan cukup signifikan terlihat pada gradasi di ukuran saringan no.8, no.50, no.100, dan no.200. Pada gradasi campuran ini perubahan gradasi di saringan no.30 bernilai positif atau bertambah. Pengaruh BGA terlihat pada agregat halus dengan penambahan dominan di ukuran saringan no.200 yaitu sebanyak 100,26 %.

Gradasi pada saringan no.8 dan saringan no.100 melewati batas maksimum spesifikasi dengan selisih terbesar pada saringan no.200 yaitu 38,6 %.

BGA 7 % POLIMER 0 %

Analisa saringan terhadap campuran menggunakan BGA dengan kadar 7 % adalah untuk melihat pengaruh peningkatan kadar BGA terhadap gradasi agregat . Sampel yang diuji untuk jenis campuran BGA 7 % polimer 0 % adalah sampel no.3 dan no.2.

- BGA 7 % Polimer 0 % Sampel no.3

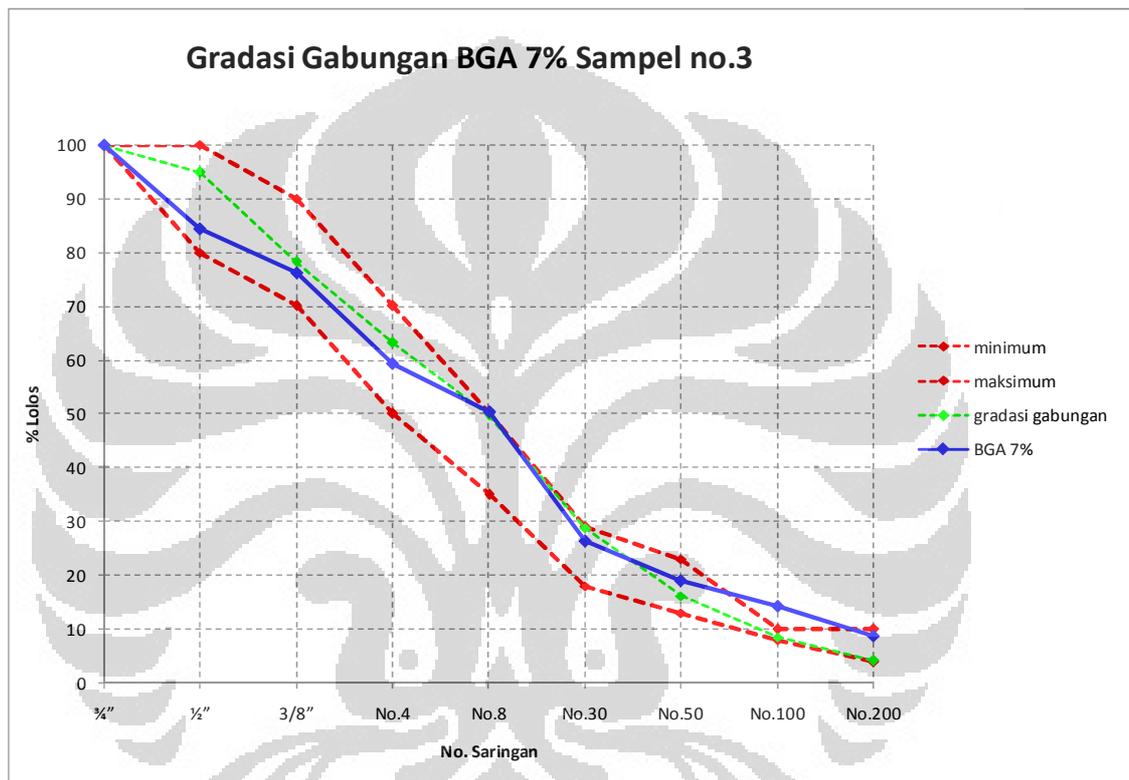
Tabel 4.37 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 0% Sampel no.3

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0	0	100	99.80	0.20
½"	80	100	161.5	15.58	84.41	94.85	-11.01
3/8"	70	90	85	8.20	76.20	78.23	-2.59
No.4	50	70	174.5	16.84	59.36	63.23	-6.12
No.8	35	50	94	9.073	50.28	49.79	1.00
No.30	18	29	248.5	23.98	26.30	28.80	-8.67
No.50	13	23	77	7.43	18.87	16.15	16.85
No.100	8	10	47.5	4.58	14.28	8.50	68.07
No.200	4	10	59	5.69	8.59	4.13	108.01

Berdasarkan analisa saringan, didapatkan gradasi agregat yang tertera pada tabel 4.19. Nilai negatif pada saringan ½" disebabkan ukuran agregat kasar yang dominan tertahan pada saringan ½" sehingga menyebabkan %lolos yang merupakan selisih % lolos (saringan ¾") dengan % tertahan (saringan ½") menjadi lebih kecil dari nilai gradasi gabungan pada saringan ½".

Perubahan nilai gradasi pada saringan no.4 terlihat cukup besar yaitu 6,12 %, yang disebabkan oleh perubahan ukuran butiran BGA menjadi lebih kecil/halus

setelah proses ekstraksi. Pengurangan nilai gradasi juga terlihat di saringan no.30. Sementara nilai gradasi bertambah pada ukuran saringan no.8, no.50, no.100, dan no.200 dengan jumlah terbesar pada saringan no.200 yaitu 108,01 %. Pada grafik 4.17 dapat dilihat bahwa gradasi di saringan no.8 dan no.100 melewati batas maksimum spesifikasi dengan selisih terbesar pada saringan no.100 yaitu 42,85 %.



Grafik 4.17 Gradasi Gabungan BGA 7% Polimer 0 % Sampel no.3

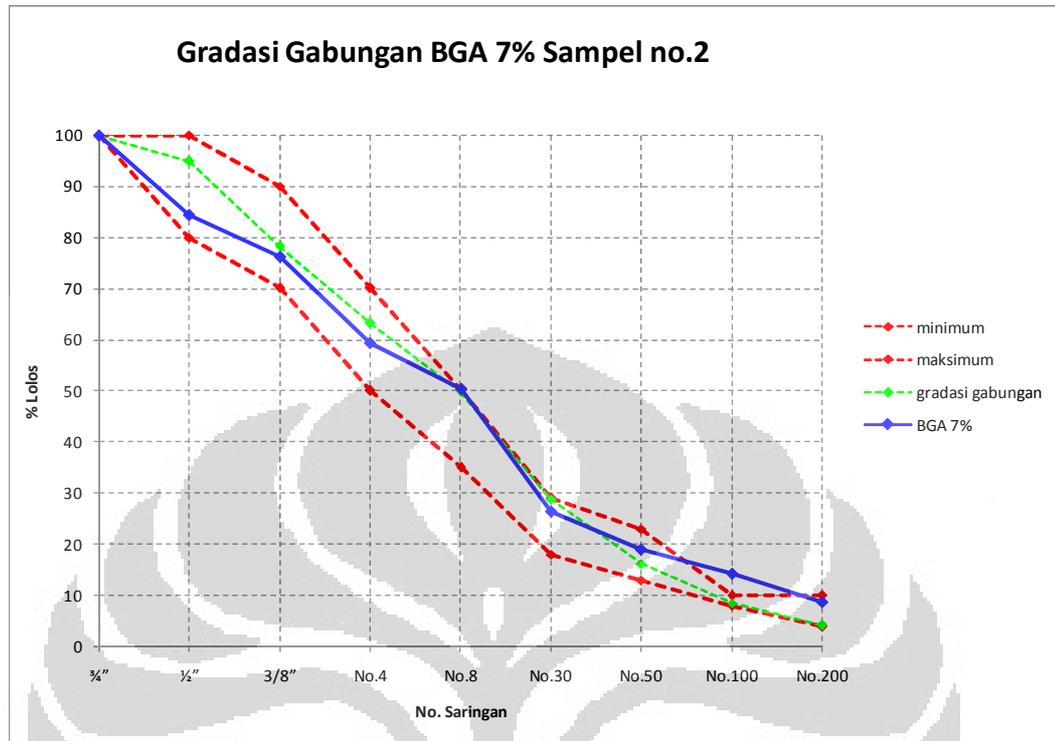
- BGA 7 % Polimer 0 % Sampel no.2

Hasil analisa saringan campuran BGA 7% polimer 0 % dapat dilihat pada tabel 4.20. Agregat kasar yang dominan berukuran tertahan saringan ½" menyebabkan nilai gradasi saringan no.½" berkurang dari rencana gradasi gabungan. Pengurangan nilai gradasi juga terlihat pada saringan no.4 sebanyak 3,62 % dan no.30 sebanyak 5,76 %, yang disebabkan oleh perubahan ukuran butiran BGA menjadi lebih kecil/halus setelah proses ekstraksi. Penambahan nilai gradasi terlihat pada saringan no.8, no.50, no.100, dan no.200, sehingga pengaruh BGA terlihat pada

gradasi halus dengan nilai dominan pada saringan no.200 yaitu 119,07 %. Gradasi pada saringan no.8 dan no.100 melewati batas maksimum spesifikasi dengan selisih terbesar pada saringan no.100 sebesar 45,5 %.

Tabel 4.38 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 0% Sampel no.2

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0	0	100	99.80	0.20
½"	80	100	80.5	7.70	92.29	94.85	-2.70
3/8"	70	90	152	14.55	77.74	78.23	-0.63
No.4	50	70	175.5	16.80	60.93	63.23	-3.62
No.8	35	50	95	9.095	51.84	49.79	4.12
No.30	18	29	258	24.70	27.14	28.80	-5.76
No.50	13	23	82.5	7.89	19.24	16.15	19.16
No.100	8	10	49	4.69	14.55	8.50	71.20
No.200	4	10	57.5	5.50	9.04	4.13	119.07



Grafik 4.18 Gradasi Gabungan BGA 7% Polimer 0 % Sampel no.2

BGA 7 % POLIMER 2 %

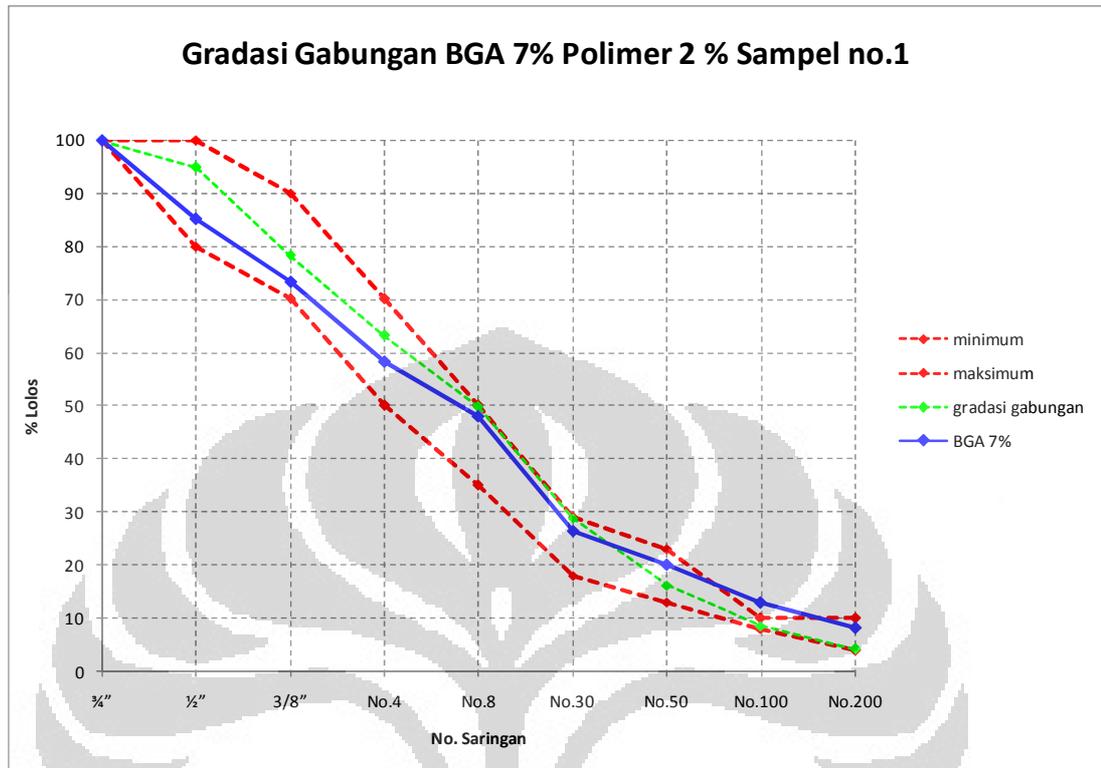
Uji analisa saringan dilakukan pada sampel dengan campuran polimer untuk dapat melihat kecenderungan arah gradasi campuran dengan BGA 5 % secara lebih akurat. Sampel yang diuji adalah sampel no.1 dan no.2.

- BGA 7 % Polimer 2 % Sampel no.1

Tabel 4.39 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 2% Sampel no.1

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0	0	100	99.80	0.20
½"	80	100	154.5	14.9564376	85.0436	94.85	-10.34
3/8"	70	90	122.5	11.8586641	73.1849	78.23	-6.45
No.4	50	70	154.5	14.9564376	58.2285	63.23	-7.91
No.8	35	50	105	10.1645692	48.0639	49.79	-3.47
No.30	18	29	224.5	21.732817	26.3311	28.80	-8.57
No.50	13	23	65	6.29235237	20.0387	16.15	24.08
No.100	8	10	74	7.16360116	12.8751	8.50	51.47
No.200	4	10	49	4.74346563	8.13166	4.13	96.89

Hasil analisa saringan dari campuran BGA 7 % polimer 2 % sampel no.2 dapat dilihat pada tabel 4.21. Penurunan gradasi terjadi dari saringan no. ½" sampai dengan no.30, dan mulai terlihat penambahan gradasi pada saringan no. 50 sampai dengan no.200. Pengurangan gradasi pada saringan no.4, no.8, dan no.30 disebabkan perubahan ukuran butiran BGA melalui proses ekstraksi sehingga menjadi lebih kecil/halus, dan mempengaruhi pertambahan nilai gradasi di saringan no.50, no.100, dan no.200. Gradasi melewati batas maksimum spesifikasi terlihat pada grafik 4.19 yaitu sebesar 28,75 %.

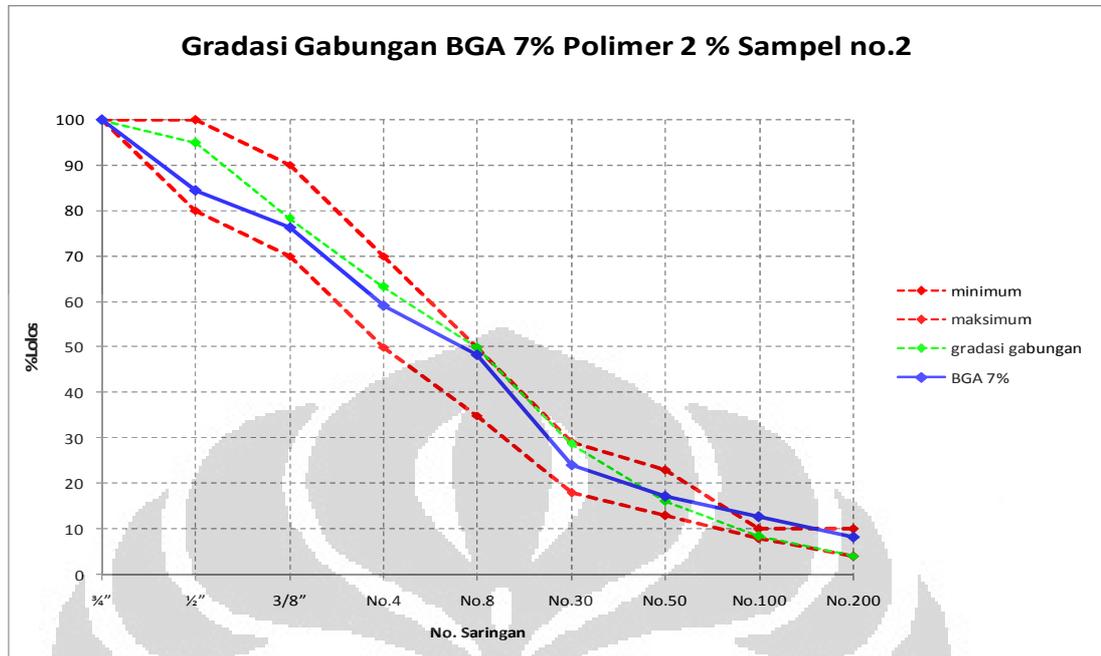


Grafik 4.19 Gradasi Gabungan BGA 7% Polimer 2 % Sampel no.1

- BGA 7 % Polimer 2 % Sampel no.2

Tabel 4.40 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 2% Sampel no.2

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¼"	100	100	0	0	100	99.80	0.20
½"	80	100	161	15.56	84.43	94.85	-10.98
3/8"	70	90	86	8.31	76.12	78.23	-2.69
No.4	50	70	177	17.10	59.04	63.23	-6.67
No.8	35	50	112	10.82	48.18	49.79	-3.22
No.30	18	29	248.5	24.02	24.16	28.80	-16.09
No.50	13	23	72	6.95	17.20	16.15	6.54
No.100	8	10	45	4.34	12.86	8.50	51.25
No.200	4	10	48	4.63	8.216	4.13	98.95



Grafik 4.20 Gradasi Gabungan BGA 7% Polimer 2 % Sampel no.2

Hasil analisa saringan campuran BGA 7 % polimer 2 % sampel no.2 dapat dilihat pada tabel 4.22. Penurunan gradasi terlihat dari saringan no ½" sampai dengan no.30. Penurunan ukuran butiran BGA akibat proses ekstraksi menyebabkan bertambahnya konten agregat halus mulai dari ukuran butiran saringan no.50 sampai dengan no.200. Gradasi pada saringan no.100 memiliki selisih terbesar dengan batas maksimum spesifikasi yaitu 28,5 %.

BGA 7 % POLIMER 4 %

Pemeriksaan analisa saringan terhadap campuran BGA 7 % polimer 4 % dilakukan terhadap sampel no.1 dan sampel no.3.

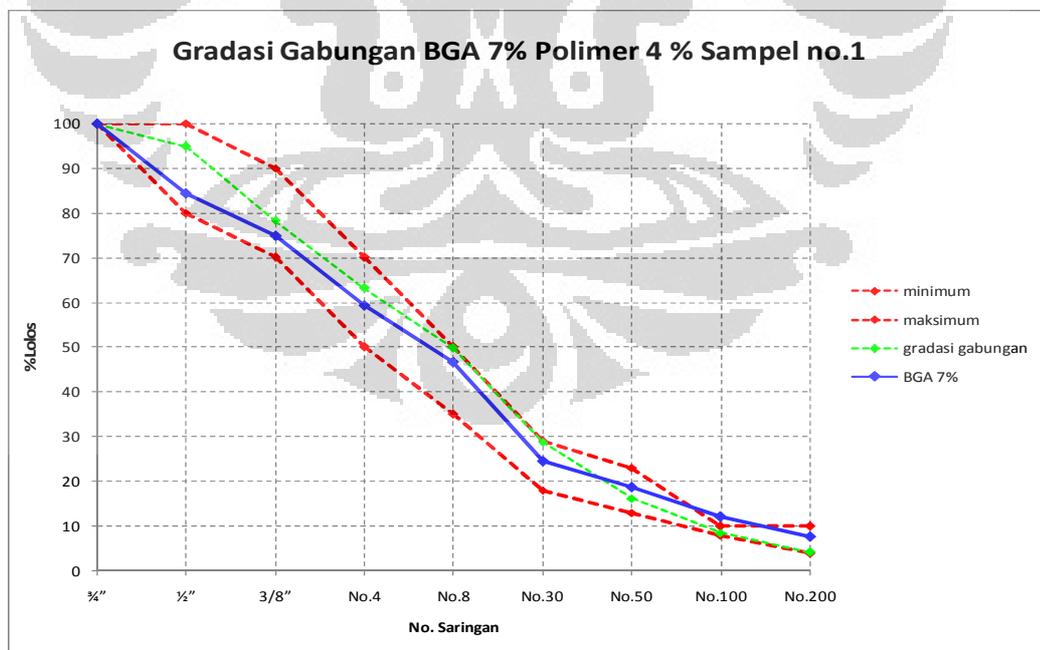
- BGA 7 % Polimer 4 % Sampel no.1

Pada tabel 4.23 terlihat penurunan gradasi dari saringan no. ½" sampai dengan no.30 yang disebabkan perubahan ukuran butiran menjadi lebih kecil/halus, dengan penurunan gradasi terbesar pada ukuran agregat saringan no.30 sebesar 14,4 %. Perubahan ukuran agregat ke arah agregat halus ini menyebabkan penambahan gradasi

yang terdapat di ukuran saringan no.50, no.100, dan no.200. Penambahan gradasi terbesar adalah pada ukuran saringan no.200. Gradasi saringan no.100 melewati batas maksimum spesifikasi dengan selisih sebesar 21,09 %.

Tabel 4.41 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 4% Sampel no.1

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0	0	100	99.80	0.20
½"	80	100	163.5	15.71	84.28	94.85	-11.14
3/8"	70	90	97	9.32	74.96	78.23	-4.17
No.4	50	70	161.5	15.52	59.44	63.23	-5.99
No.8	35	50	133.5	12.83	46.61	49.79	-6.38
No.30	18	29	228.5	21.96	24.65	28.80	-14.40
No.50	13	23	62.5	6.00	18.64	16.15	15.45
No.100	8	10	68	6.53	12.10	8.50	42.47
No.200	4	10	45	4.32	7.78	4.13	88.49

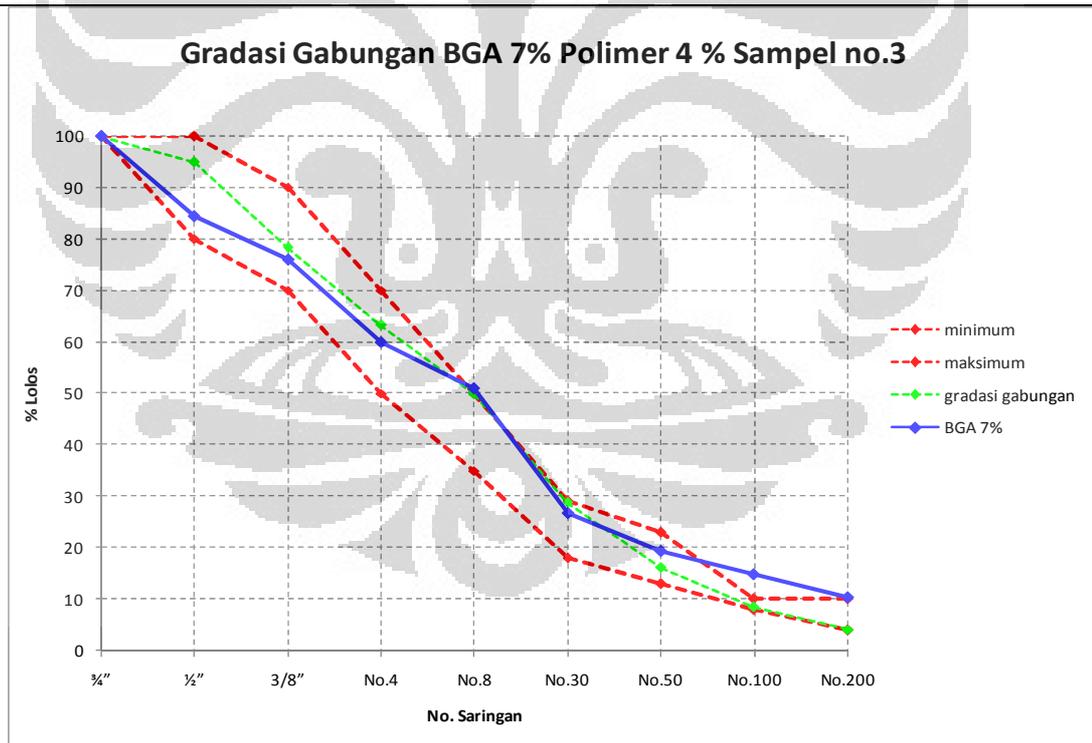


Grafik 4.21 Gradasi Gabungan BGA 7% Polimer 4 % Sampel no.1

- BGA 7 % Polimer 4 % Sampel no.3

Tabel 4.42 Gradasi Hasil Ekstraksi Gabungan BGA 7% Polimer 4% Sampel no.3

No. Saringan	Spec Minimum	Spec Maksimum	Hasil Ekstraksi			Gradasi Awal	Perubahan Gradasi (%)
			Tertahan (gr)	%Tertahan	%Lolos		
¾"	100	100	0	0	100	99.80	0.20
½"	80	100	163	15.53	84.46	94.85	-10.95
3/8"	70	90	88	8.38	76.07	78.23	-2.76
No.4	50	70	168.5	16.06	60.00	63.23	-5.09
No.8	35	50	95	9.056	50.95	49.79	2.34
No.30	18	29	254.5	24.26	26.69	28.80	-7.32
No.50	13	23	78.5	7.48	19.20	16.15	18.94
No.100	8	10	47	4.48	14.72	8.50	73.27
No.200	4	10	45.5	4.33	10.39	4.13	151.59



Grafik 4.22 Gradasi Gabungan BGA 7% Polimer 4 % Sampel no.3

Pada tabel 4.24 terlihat penurunan gradasi pada saringan no. 1/2", 3/8", no.4, dan no.30. Penurunan gradasi merupakan pengaruh dari perubahan ukuran butiran BGA menjadi lebih kecil/halus sehingga mempengaruhi gradasi untuk ukuran saringan no.8, no.50, no.100, dan no.200. Penambahan gradasi terbesar terdapat pada saringan no.200 sebesar 151,59 %. Penambahan gradasi di ukuran saringan no.8 dan no.100 menyebabkan gradasi melewati batas maksimum spesifikasi dengan selisih terbesar pada saringan no.100 yaitu 47,28 %.

4.4.2 PERUBAHAN GRADASI TERHADAP UKURAN SARINGAN

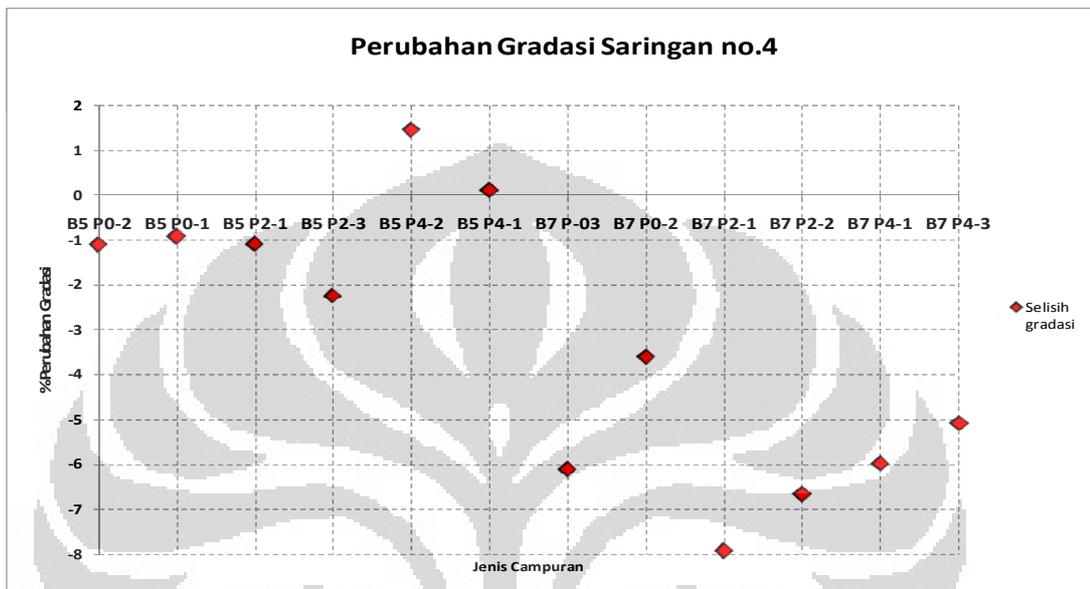
Berdasarkan data perubahan gradasi yang didapatkan dari setiap jenis campuran, dapat dilihat perubahan gradasi untuk setiap ukuran saringan dari jenis campuran yang diekstraksi. Data perubahan gradasi disajikan dalam bentuk titik sebaran yang bernilai negatif untuk pengurangan gradasi, dan bernilai positif untuk penambahan gradasi. Ukuran saringan yang dianalisa adalah saringan no.4, no.8, no.30, no.50, no.100, dan no.200. Analisa terhadap ukuran saringan ini disesuaikan dengan hasil pemeriksaan analisa saringan BGA (tabel 4.4), dimana perubahan gradasi BGA sebelum dan setelah proses ekstraksi dimulai pada saringan no.4. Sehingga perubahan gradasi di saringan no. 1/2" dan 3/8" dinilai disebabkan pengaruh dominasi ukuran agregat kasar di nomor saringan tersebut.

- Perubahan Gradasi Saringan no.4

Perubahan gradasi dipengaruhi oleh BGA dan tidak dipengaruhi polimer. Hal ini disebabkan karena polimer terlarut dalam aspal sehingga tidak memberi pengaruh bagi gradasi agregat. Oleh karena itu, titik sebaran perubahan gradasi seperti yang tertera pada grafik 4.23 dapat dilihat dalam 2 kelompok yaitu campuran dengan kadar BGA 5 % dan campuran dengan kadar BGA 7 %.

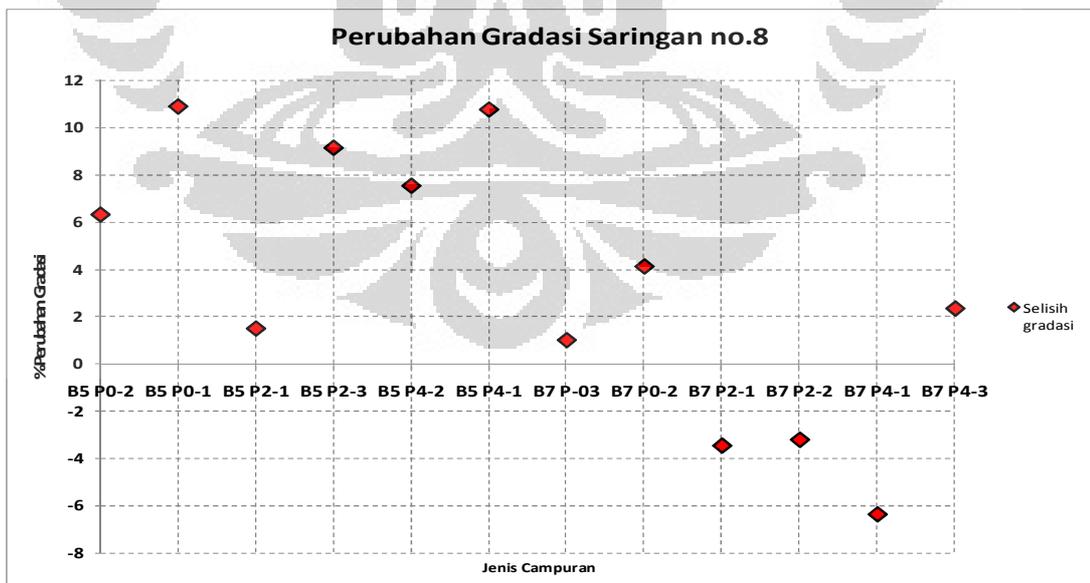
Pada kelompok BGA 5 %, terdapat 2 titik bernilai positif. Akan tetapi, perubahan gradasi dominan bernilai negatif. Sehingga dapat disimpulkan kecenderungan gradasi campuran dengan penambahan BGA 5 % untuk ukuran saringan no.4 atau maksimum diameter 4,76 mengalami penurunan jumlah butiran

sebanyak 0,93 % sampai 2.25 %. Sementara untuk penambahan BGA 7 % pada campuran akan mengalami perubahan ukuran butiran saringan no.4 atau maksimum diameter 4,76 mm dengan penurunan sejumlah 3,62 % sampai 7,91 %.



Grafik 4.23 Perubahan Gradasi Saringan no.4

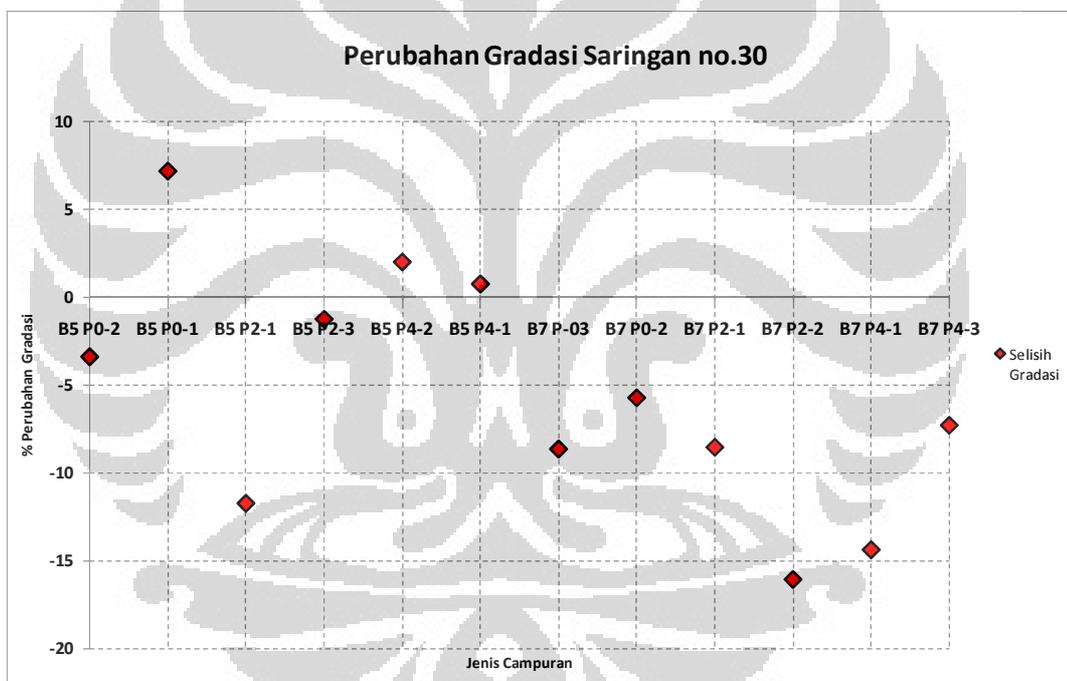
- Perubahan Gradasi Saringan no.8



Grafik 4.24 Perubahan Gradasi Saringan no.8

Untuk penambahan BGA sebanyak 5 % dalam campuran, kecenderungan perubahan terhadap ukuran agregat diameter maksimum 2,38 mm (saringan no.8) adalah bertambah sejumlah 1,49 % sampai dengan 10,77 %. Sementara untuk penambahan BGA sebanyak 7 % pada campuran, kecenderungan perubahan gradasi bisa bernilai positif/bertambah sejumlah 1 % sampai dengan 4,12 %, dan juga berkurang sejumlah 3,22 % sampai dengan 6,38 %. Hal ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar BGA, variasi ukuran butiran semakin banyak untuk gradasi ukuran saringan no.8.

- Perubahan Gradasi Saringan no.30

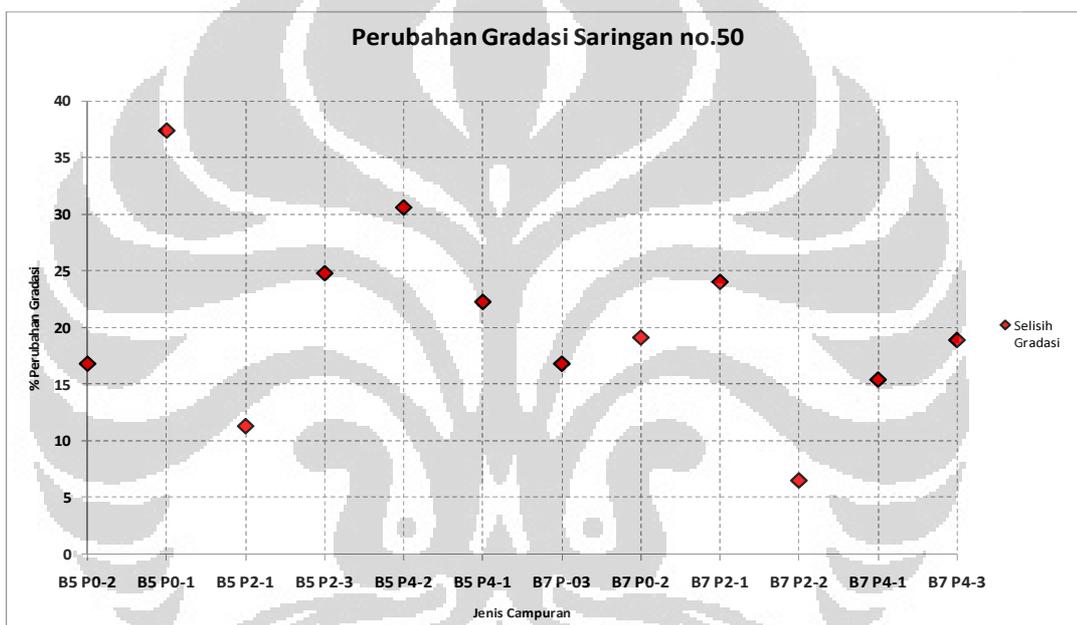


Grafik 4.25 Perubahan Gradasi Saringan no.30

Dari sebaran titik perubahan gradasi pada grafik 4.25 dapat dilihat campuran dengan penambahan BGA 5 dan penambahan BGA 7 % cenderung kearah negatif atau berkurang jumlah agregat dengan ukuran butiran saringan no.30 atau diameter maksimal 0,59 mm. Pada campuran dengan BGA sebanyak 5 % terlihat juga penambahan agregat di beberapa jenis campuran yang disebabkan variasi ukuran

butiran agregat. Kecenderungan perubahan jumlah penambahan agregat berukuran maksimum 0,59 mm adalah 0,72 % sampai 7,14 % dan pengurangan sebanyak 1,28 % sampai 3,42 %. Gradasi untuk campuran dengan BGA sebanyak 7 % menurun pada no. saringan 30 sebanyak 5,76 % sampai 16,09 %. Semakin bertambah kadar BGA, semakin besar kemungkinan penurunan jumlah gradasi ukuran saringan no.30 akibat penurunan ukuran butiran.

- Perubahan Gradasi Saringan no. 50

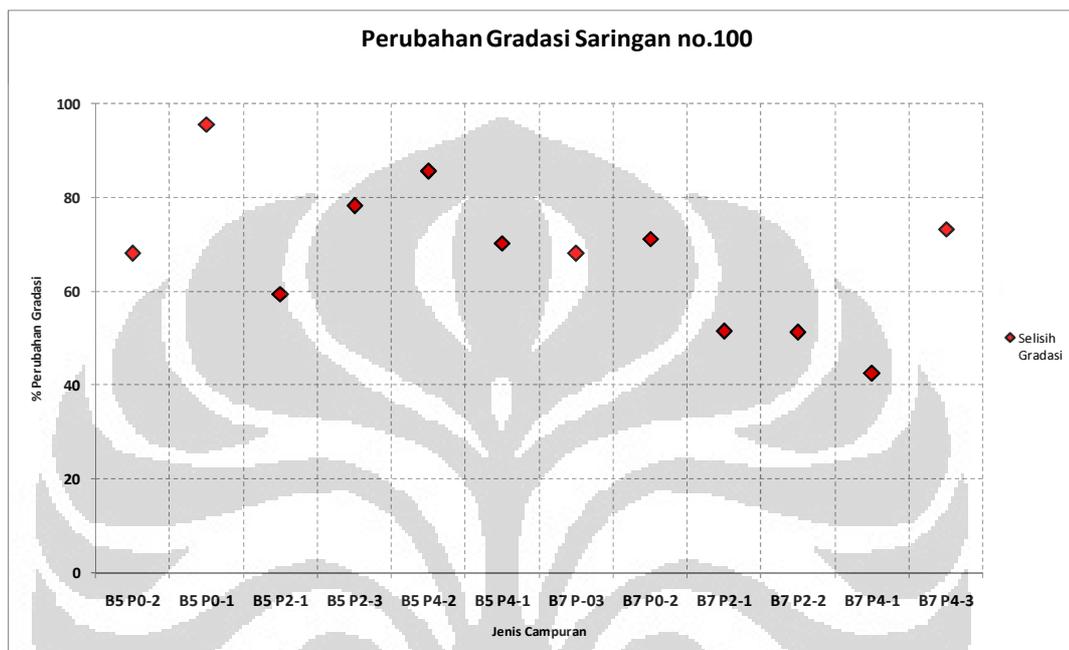


Grafik 4.26 Perubahan Gradasi Saringan no.50

BGA memberikan pengaruh gradasi terhadap ukuran agregat halus. Sehingga perubahan yang cukup besar mulai terlihat pada no. saringan 50 atau diameter maksimum 0,279 mm. Untuk campuran dengan BGA 5 % kecenderungan penambahan jumlah butiran bediameter maksimum 0,279 adalah 11,34 % sampai dengan 37,44 %. Sementara untuk campuran dengan BGA 7 % penambahan butiran sejumlah 6,54 % sampai 24,08 %. Penambahan gradasi untuk campuran BGA 7 % lebih kecil daripada campuran BGA 5 %. Hal tersebut dipengaruhi oleh proporsi agregat halus pada gradasi gabungan BGA 7 % yaitu 55 %, lebih besar daripada

proporsi agregat halus gradasi gabungan BGA 5 % yaitu 53 %, sehingga selisih atau penambahan agregat halus menjadi lebih kecil.

- Perubahan Gradasi Saringan no.100



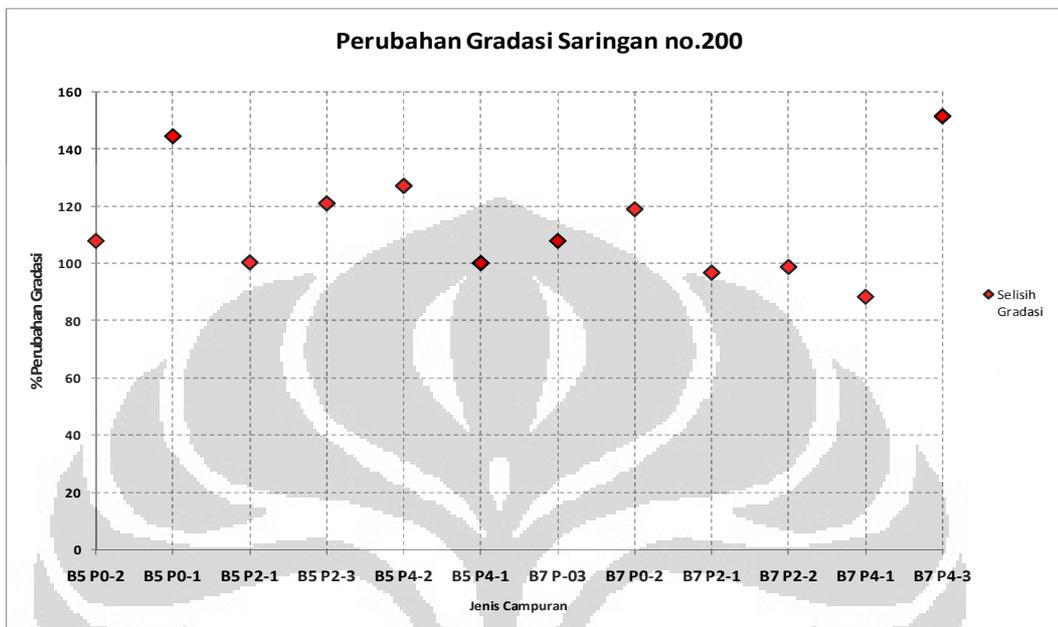
Grafik 4.27 Perubahan Gradasi Saringan no.100

Gradasi pada saringan no.100 atau diameter 0,149 mm juga menunjukkan penambahan jumlah yang besar. Grafik gradasi analisa saringan hasil uji ekstraksi dari setiap jenis campuran menunjukkan gradasi pada saringan no.100 melewati batas maksimum spesifikasi. Penambahan gradasi untuk campuran BGA 5 % adalah 59,36 % sampai 95,58 %. Sementara untuk campuran dengan BGA 7 % mengalami penambahan butiran berukuran saringan no.100 sebanyak 42,47 % sampai 73,27 %.

- Perubahan Gradasi Saringan no.200

Pengaruh gradasi BGA terhadap agregat paling banyak terdapat pada saringan no.200 atau diameter maksimum 0,074 mm. Dari grafik 4.30 dapat dilihat bahwa BGA 5 % dalam campuran menambah butiran agregat berukuran saringan no.200

sebanyak 108,01 % sampai 144,58 %. Sementara campuran dengan BGA 7 % mengalami penambahan agregat sebanyak 88,49 % sampai dengan 151,59 %.



Grafik 4.28 Perubahan Gradasi Saringan no.200

Berdasarkan hasil seluruh pemeriksaan agregat hasil ekstraksi campuran BGA, dapat dilihat arah pergeseran gradasi BGA akibat pelepasan aspal dari butiran BGA. Pergeseran ini kearah gradasi agregat halus dengan dominasi pada ukuran saringan no.50, no.100, dan no.200.

4.4.3 DATA PEMERIKSAAN ASPAL

4.4.3.1 DATA PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

- Pemeriksaan Aspal BGA
Standar pemeriksaan aspal BGA menggunakan standar SNI 06-2490-1991. Nilai rata-rata 19,6 (0,1 mm).
- Pemeriksaan Aspal Polimer 2 %

Penetrasi (0,1 mm)					Rata-rata	Syarat	Keterangan
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5			

52	56	51	55	50	52,8	50-80	<i>Memenuhi</i>
----	----	----	----	----	------	-------	-----------------

Standar pemeriksaan yang digunakan adalah Persyaratan Aspal Polimer SNI 06-2456-1991 dengan persyaratan nilai penetrasi 50-80 (0,1 mm).

- Pemeriksaan Aspal Polimer 4 %

Standar pemeriksaan yang digunakan adalah Persyaratan Aspal Polimer SNI 06-2456-1991 dengan persyaratan nilai penetrasi 50-80 (0,1 mm). Data hasil penetrasi terhadap kelima titik uji aspal polimer 4 % tertera pada tabel berikut.

Penetrasi (0,1 mm)					Rata-rata	Syarat	Keterangan
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5			
51	50	52	51	53	51,4	50-80	<i>Memenuhi</i>

Standar pemeriksaan yang digunakan adalah Persyaratan Aspal Dimodifikasi Dengan Asbuton SNI 06-2456-1991 dengan persyaratan nilai penetrasi 40-55 dmm. Data hasil penetrasi terhadap kelima titik uji aspal BGA 5 % tertera pada tabel berikut.

Penetrasi (0,1 mm)					Rata-rata	Syarat	Keterangan
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5			
32	38	32	25	28	31	40-55	<i>Tidak Memenuhi</i>

Nilai penetrasi dari aspal dengan BGA 5 % ini dibawah syarat minimum penetrasi aspal modifikasi asbuton. Sehingga kekerasan/kekakuan asbuton BGA dari PT. Utama Prima ini dapat dinilai lebih besar daripada spesifikasi aspal modifikasi asbuton umum.

- Pemeriksaan Aspal BGA 7 %

Standar pemeriksaan yang digunakan adalah Persyaratan Aspal Dimodifikasi Dengan Asbuton SNI 06-2456-1991 dengan persyaratan nilai penetrasi 40-55 dmm.

Penetrasi (0,1 mm)					Rata-rata	Syarat	Keterangan
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5			
25	26	28	29	25	26,6	40-55	<i>Tidak Memenuhi</i>

Nilai penetrasi dari aspal dengan BGA 7 % ini dibawah syarat minimum penetrasi aspal modifikasi asbuton. Sehingga kekerasan/kekakuan asbuton BGA dari PT. Hutama Prima ini dapat dinilai lebih besar daripada spesifikasi aspal modifikasi asbuton umum.

- Pemeriksaan Aspal BGA 5 % Polimer 2 %

Nilai penetrasi yang didapatkan dari pengujian kelima titik penetrasi dari aspal dengan campuran BGA 5 % dan polimer 2 tertera pada table berikut.

Penetrasi (0,1 mm)					Rata-rata
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
29	33	30	28	36	31,2

- Pemeriksaan Aspal BGA 5 % Polimer 4 %

Nilai penetrasi yang didapatkan dari pengujian kelima titik penetrasi dari aspal dengan campuran BGA 5 % dan polimer 4 % tertera pada table berikut.

Penetrasi (0,1 mm)					Rata-rata
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
28	34	30	29	30	30,2

- Pemeriksaan Aspal BGA 7 % Polimer 2 %

Nilai penetrasi yang didapatkan dari pengujian kelima titik penetrasi dari aspal dengan campuran BGA 7 % dan polimer 2 % tertera pada table berikut.

Penetrasi (0,1 mm)					Rata-rata
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
25	25	25	25	26	25,2

- Pemeriksaan Aspal BGA 7 % Polimer 4 %

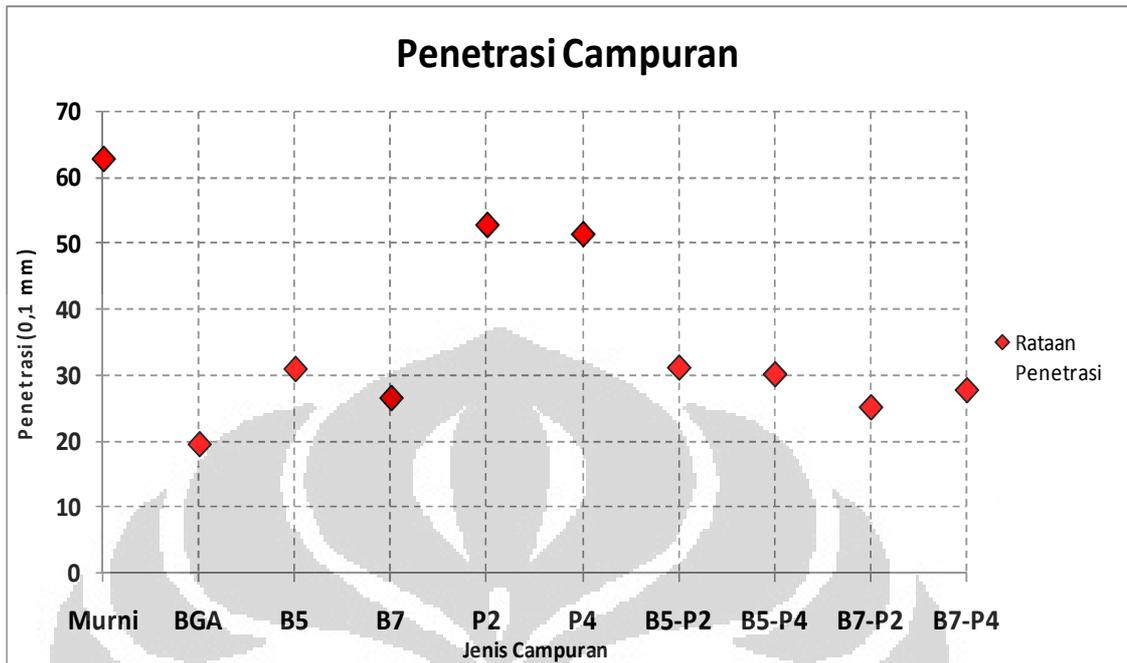
Nilai penetrasi yang didapatkan dari pengujian kelima titik penetrasi dari aspal dengan campuran BGA 7 % dan polimer 4 % tertera pada table berikut.

Penetrasi (0,1 mm)					Rata-rata
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
26	28	24	32	29	27,8

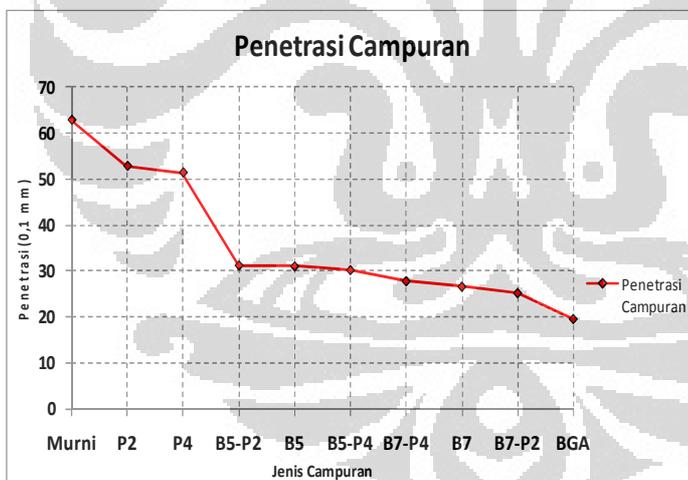
Rekapitulasi data rata-rata penetrasi dari seluruh jenis campuran dapat dilihat pada tabel 4.25

Tabel 4.24 Penetrasi Campuran

Jenis Campuran	Nilai Rataan Penetrasi (0,1 mm)
Aspal murni	62,8
Aspal BGA	19,6
Aspal BGA 5 %	31
Aspal BGA 7 %	26,6
Aspal Polimer 2 %	52,8
Aspal Polimer 4 %	51,4
Aspal BGA 5 % Polimer 2 %	31,2
Aspal BGA 5 % Polimer 4 %	30,2
Aspal BGA 7 % Polimer 2 %	25,2
Aspal BGA 7 % Polimer 4 %	27,8



Grafik 4.29 Penetrasi Campuran



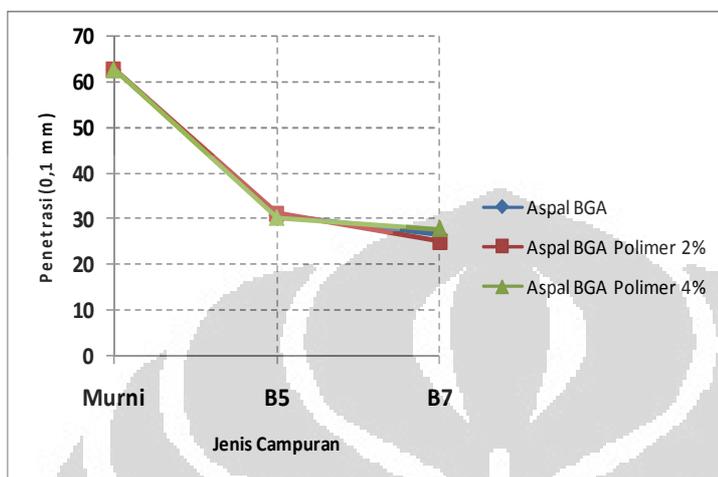
Grafik 4.30 Penetrasi Campuran

Grafik 4.31

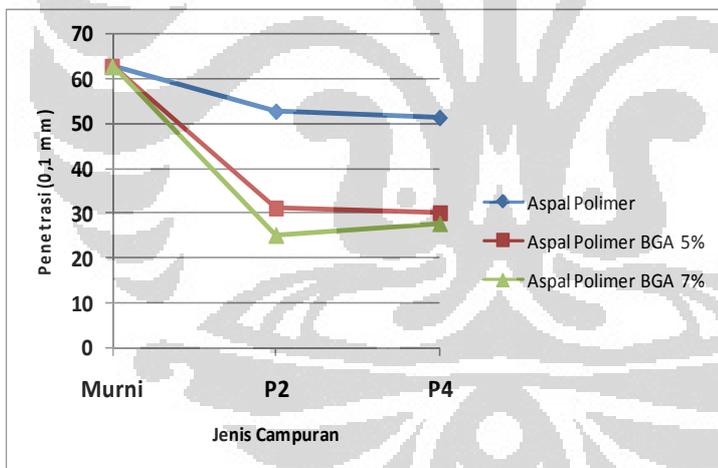
menunjukkan rekapitulasi nilai rata-rata penetrasi secara grafis. Nilai penetrasi tertinggi adalah pada aspal murni. Penambahan polimer pada campuran menurunkan nilai penetrasi dari aspal murni sekitar 15 %.

Sementara penambahan polimer sebanyak 4 % pengaruhnya sedikit terhadap perubahan nilai penetrasi dari aspal polimer 2 % yaitu menurun sebanyak 2,65 %. Kenaikan kekakuan aspal ini disebabkan sifat aspal polimer yang kaku pada suhu rendah atau dibawah titik lelehnya.

Grafik 4.31 menunjukkan urutan penurunan nilai penetrasi terhadap jenis campuran.



Grafik 4.32 Pengaruh Polimer Terhadap Aspal BGA



Grafik 4.31 Pengaruh BGA Terhadap Penetrasi Aspal Polimer

nilai penetrasi 52,27 % untuk aspal polimer 2 % dan 46 % untuk aspal polimer 4 %. Dari angka tersebut dapat dilihat bahwa perubahan nilai penetrasi untuk aspal campuran BGA dan polimer lebih dipengaruhi oleh BGA. Pengaruh penambahan polimer terhadap campuran aspal BGA secara grafis dapat dilihat pada grafik 4.33. Terlihat pengaruh yang tidak signifikan dari penambahan polimer terhadap nilai

Grafik 4.32 menunjukkan pengaruh penambahan kadar BGA terhadap nilai penetrasi dari aspal dengan polimer 2 % dan aspal dengan polimer 4 %. Penurunan nilai penetrasi yang cukup besar terjadi dengan penambahan BGA dalam campuran aspal polimer. Dengan penambahan BGA sebesar 5 % terhadap campuran aspal polimer 2 %, penurunan nilai penetrasi mencapai 41 %, dan penurunan sebesar 41,2 % untuk campuran aspal polimer 4 %.

Sementara penambahan BGA 7 % menurunkan

penetrasi dari campuran aspal BGA. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai penetrasi dari campuran aspal modifikasi BGA dan polimer lebih dipengaruhi oleh BGA.

Nilai penetrasi menunjukkan kekakuan atau kekerasan aspal terhadap beban. Sehingga dengan menurunnya nilai penetrasi oleh penambahan BGA menaikkan nilai kekerasan aspal terhadap beban.

4.4.3.2 DATA PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

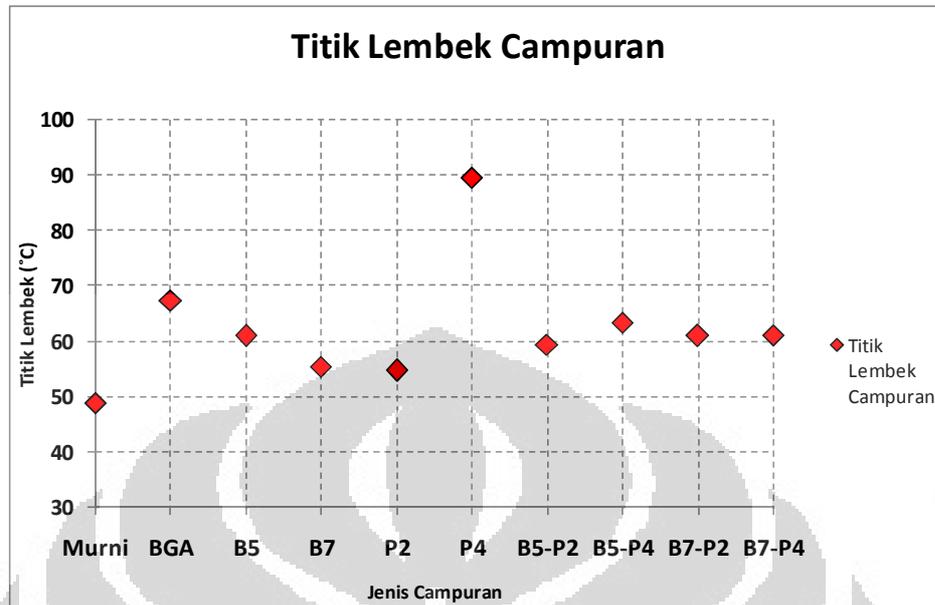
- **Pemeriksaan Aspal BGA**
Standar yang digunakan dalam pemeriksaan titik lembek asbuton adalah SNI 06-2432-1991 dengan syarat minimal 60 °C. Hasil pemeriksaan menunjukkan rataan titik lembek asbuton yang tinggi yaitu 67,5 °C.
- **Pemeriksaan Aspal BGA 5 %**
Standar yang digunakan dalam pemeriksaan titik lembek asbuton adalah Persyaratan Aspal Dimodifikasi Dengan Asbuton SNI 06-2434-1991 dengan syarat minimal 55 °C. Hasil pemeriksaan menunjukkan rataan titik lembek aspal BGA sebesar 61 °C.
- **Pemeriksaan Aspal BGA 7 %**
Standar yang digunakan dalam pemeriksaan titik lembek asbuton adalah Persyaratan Aspal Dimodifikasi Dengan Asbuton SNI 06-2434-1991 dengan syarat minimal 55 °C. Hasil pemeriksaan menunjukkan rataan titik lembek aspal BGA sebesar 55,5 °C.
- **Pemeriksaan Aspal Polimer 2 %**
Standar yang digunakan dalam pemeriksaan titik lembek asbuton adalah Persyaratan titik lembek Aspal Polimer SNI 06-2434-1991 dengan nilai minimum 54 °C. Hasil pemeriksaan rataan titik lembek yang didapatkan adalah 54,75 °C.

- Pemeriksaan Aspal Polimer 4 %
Standar yang digunakan dalam pemeriksaan titik lembek asbuton adalah Persyaratan titik lembek Aspal Polimer SNI 06-2434-1991 dengan nilai minimum 54 °C. Hasil pemeriksaan rata-rata titik lembek yang didapatkan adalah 89,5 °C.
- Pemeriksaan Aspal Polimer 2 % BGA 5 %
Hasil pemeriksaan rata-rata titik lembek yang didapatkan adalah 59,5 °C.
- Pemeriksaan Aspal Polimer 2 % BGA 7 %
Hasil pemeriksaan rata-rata titik lembek yang didapatkan adalah 61 °C.
- Pemeriksaan Aspal Polimer 4 % BGA 5 %
Hasil pemeriksaan rata-rata titik lembek yang didapatkan adalah 63,5 °C.
- Pemeriksaan Aspal Polimer 4 % BGA 7 %
Hasil pemeriksaan rata-rata titik lembek yang didapatkan adalah 61,2 °C.

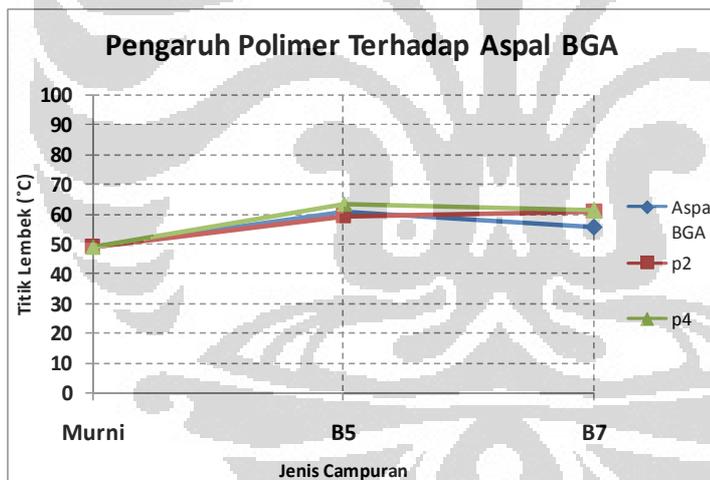
Rekapitulasi data titik lembek campuran tertera pada tabel 4.34.

Tabel 4.25 Titik Lembek Campuran

Jenis Campuran	Titik Lembek (°C)
Aspal murni	49
Aspal BGA	67.5
Aspal BGA 5 %	61
Aspal BGA 7 %	55.5
Aspal Polimer 2 %	54.75
Aspal Polimer 4 %	89.5
Aspal BGA 5 % Polimer 2 %	59.5
Aspal BGA 5 % Polimer 4 %	63.5
Aspal BGA 7 % Polimer 2 %	61
Aspal BGA 7 % Polimer 4 %	61.2



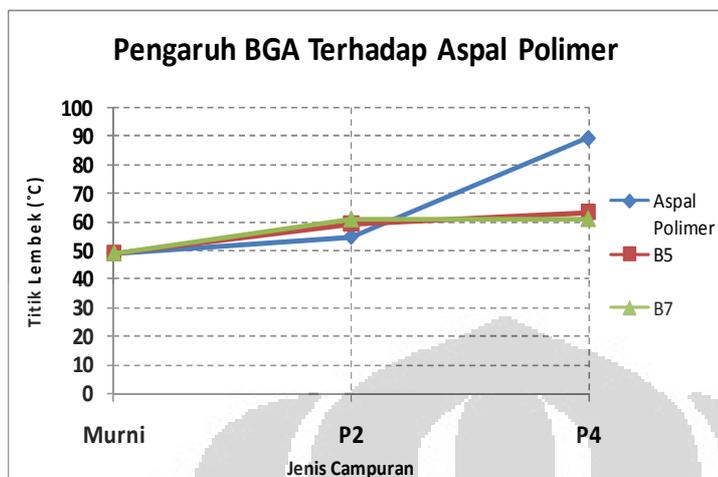
Grafik 4.33 Titik Lembek Campuran



Grafik 4.34 Pengaruh Polime Terhadap Titik Lembek Aspal BGA

Berdasarkan data titik lemek campuran pada tabel 4.34 didapatkan pengaruh penambahan polimer dan BGA terhadap campuran secara grafis yang tertera pada grafik 4.34. Suhu titik lemek terendah yang didapatkan adalah aspal murni yaitu 49 °C.

Titik lemek aspal dengan kadar polimer 2 % memiliki selisih terkecil dengan aspal murni dan hanya menaikkan titik lemek aspal sebesar 11 %. Sementara penambahan polimer sebesar 4 % mencapai titik lemek tertinggi dan menaikkan titik lemek aspal murni sebesar 82,6 %. Titik lemek BGA adalah titik lemek tertinggi setelah campuran aspal polimer 4 % yaitu 67,5 °C.



Grafik 4.35 Pengaruh BGA Terhadap Titik Lembek Aspal Polimer

Nilai pengaruh bahan BGA dan polimer dapat terlihat pada grafik 4.35 dan grafik 4.36. Pada grafik 4.35 terlihat bahwa titik leleh campuran aspal dengan polimer maupun campuran aspal dengan polimer dan BGA mengalami kenaikan suhu titik leleh dibandingkan

dengan aspal murni. BGA terlihat menaikkan titik leleh aspal polimer 2 % sebesar 11,4 %. Aspal polimer 4 % memiliki titik leleh yang sangat tinggi. Saat dicampur dengan BGA, terlihat penurunan titik leleh sekitar 42 %. Hal ini menunjukkan pengaruh BGA yang cukup besar dalam perubahan titik leleh campuran aspal.

Pada grafik 4.36 terlihat bahwa campuran aspal BGA 5 % mengalami penurunan saat dicampur dengan kadar polimer 2 % yang disebabkan oleh titik leleh aspal polimer 2 % sendiri yang rendah, dan meningkat untuk pencampuran polimer 4 % oleh pengaruh titik leleh aspal polimer 4 % yang lebih tinggi dari titik leleh aspal BGA 5 % sendiri. Pengaruh polimer ini mencapai 4 % terhadap campuran aspal BGA. Campuran aspal dengan BGA 7 % juga mengalami kenaikan dengan penambahan polimer 2 % dan 4 %. Perubahan pada campuran aspal BGA mencapai 9,9 %. Dengan demikian dapat dinilai bahwa polimer menunjukkan pengaruh terhadap campuran aspal BGA.

Titik leleh menyatakan hubungan deformasi aspal dengan suhu. Semakin tinggi suhu titik leleh, semakin tahan campuran aspal terhadap deformasi pada suhu yang tinggi. Akan tetapi titik leleh juga berpengaruh terhadap workabilitas campuran aspal. Titik leleh yang terlalu tinggi akan menyulitkan dalam pengerjaan pencampuran dan pemadatan nantinya. Campuran aspal dengan pencampuran BGA dan polimer menyatakan nilai titik leleh baik.

Dari nilai pengaruh BGA terhadap aspal polimer dan pengaruh polimer terhadap aspal BGA yang didapatkan, dapat dinilai bahwa BGA memiliki pengaruh yang lebih besar dari polimer dalam perubahan titik leleh campuran. Sementara pengaruh polimer sangat besar pada kadar 4 % bagi aspal murni, akan tetapi dengan penurunan cukup besar akibat penambahan BGA, dapat dinilai pengaruh BGA lebih besar daripada polimer dalam perubahan titik leleh campuran aspal. Penambahan kadar BGA sendiri tidak menunjukkan pengaruh terhadap perubahan titik leleh yang signifikan.

4.4.3.3 DATA PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL

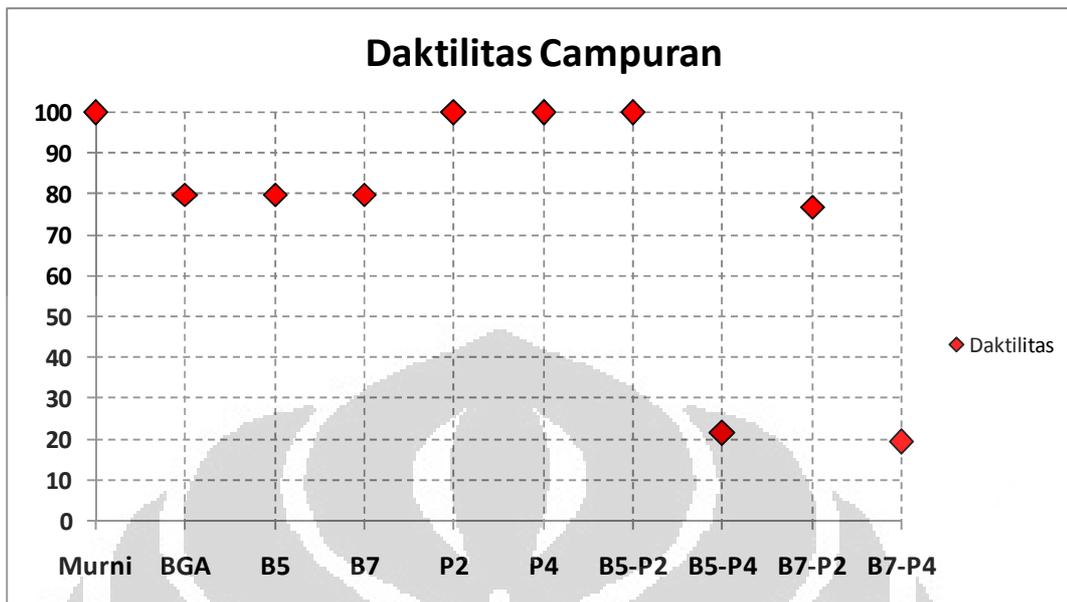
- **Pemeriksaan Aspal BGA**
Hasil pemeriksaan menunjukkan daktilitas asbuton sebesar 80 cm. Nilai daktilitas ini lebih rendah daripada daktilitas aspal murni yang didapatkan yaitu 100 cm. Sehingga aspal BGA dinilai memiliki elastisitas ulur yang lebih rendah dari aspal murni.
- **Pemeriksaan Aspal BGA 5 %**
Standar yang digunakan untuk Persyaratan Aspal Dimodifikasi Dengan Asbuton adalah SNI 06-2432-1991 dengan syarat 50 cm. Hasil pemeriksaan menunjukkan daktilitas sebesar 80 cm, sehingga hasil pemeriksaan memenuhi.
- **Pemeriksaan Aspal BGA 7 %**
Standar yang digunakan untuk Persyaratan Aspal Dimodifikasi Dengan Asbuton adalah SNI 06-2432-1991 dengan syarat minimal 50 cm. Hasil pemeriksaan menunjukkan daktilitas aspal 80 cm. Hasil pemeriksaan memenuhi standar.
- **Pemeriksaan Aspal Polimer 2 %**
Hasil pemeriksaan menunjukkan daktilitas aspal 100 cm. Hasil pemeriksaan memenuhi standar. Nilai daktilitas tergolong baik.
- **Pemeriksaan Aspal Polimer 4 %**
Hasil pemeriksaan menunjukkan daktilitas aspal 100 cm. Hasil pemeriksaan memenuhi standar. Nilai daktilitas tergolong baik.

- Pemeriksaan Aspal Polimer 2 % BGA 5 %
Hasil pemeriksaan menunjukkan daktilitas aspal 100 cm. Hasil pemeriksaan memenuhi standar. Nilai daktilitas tergolong baik.
- Pemeriksaan Aspal Polimer 2 % BGA 7 %
Hasil pemeriksaan menunjukkan daktilitas aspal 77 cm.
- Pemeriksaan Aspal Polimer 4 % BGA 5 %
Hasil pemeriksaan menunjukkan daktilitas aspal 21.5 cm. Nilai daktilitas tergolong rendah.
- Pemeriksaan Aspal Polimer 4 % BGA 7 %
Hasil pemeriksaan menunjukkan daktilitas aspal 19,4 cm. Nilai daktilitas tergolong rendah.

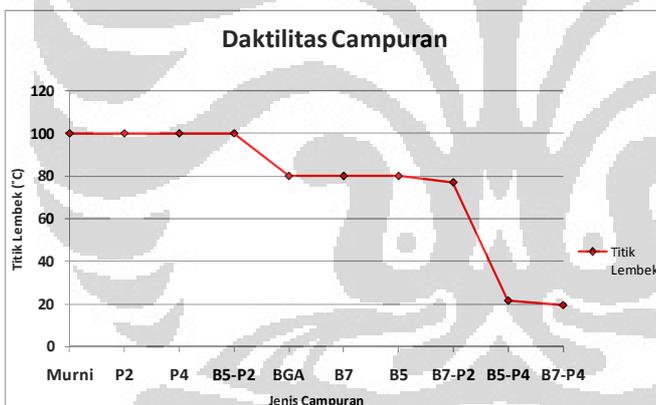
Rekapitulasi data daktilitas campuran tertera pada tabel 4.35.

Tabel 4.26 Daktilitas Campuran

Jenis Campuran	Daktilitas (cm)
Aspal murni	100
Aspal BGA	80
Aspal BGA 5 %	80
Aspal BGA 7 %	80
Aspal Polimer 2 %	100
Aspal Polimer 4 %	100
Aspal BGA 5 % Polimer 2 %	100
Aspal BGA 5 % Polimer 4 %	21.5
Aspal BGA 7 % Polimer 2 %	77
Aspal BGA 7 % Polimer 4 %	19.4



Grafik 4.36 Daktalitas Campuran



Grafik 4.37 Daktalitas Campuran

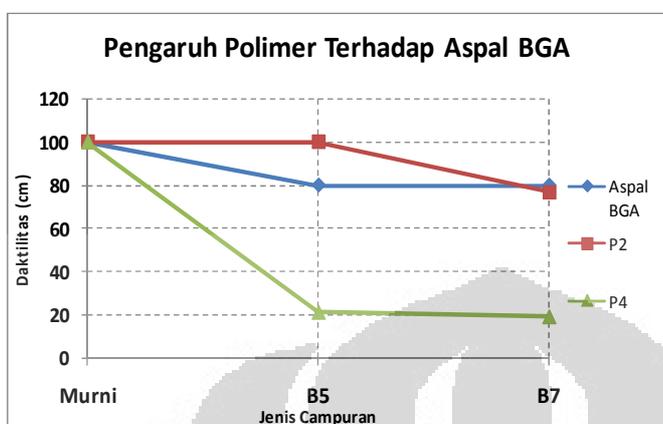
Grafik 4.37

menunjukkan nilai daktalitas campuran dengan penambahan polimer dan BGA. Pada grafik 4.38, terlihat nilai daktalitas yang tinggi dicapai oleh campuran aspal murni, aspal polimer 2 %, aspal polimer 4

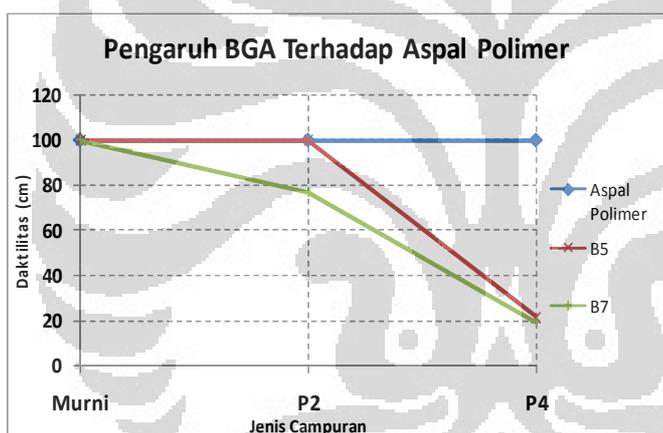
%, dan campuran aspal polimer 2 % BGA 5 % dengan nilai 100 cm. Pencampuran aspal dengan BGA 5 % dan BGA 7 % meurunkan nilai daktalitas menjadi 80 cm. Daktalitas terendah dicapai oleh campuran aspal BGA 5 % polimer 4 % dan campuran aspal BGA 7 % polimer 4 %. Untuk dapat menilai besar pengaruh BGA dan polimer terhadap campuran aspal dapat dilihat pada grafik 4.40 dan grafik 4.41.

Pada grafik 4.40, polimer 2 % yang memiliki nilai daktalitas tinggi (100 cm) mempengaruhi daktalitas aspal BGA 5 % sebesar 25 %. Sementara, penambahan

polimer 4 % pada aspal BGA 5 % mengurangi nilai daktilitas sebesar 73 %.



Grafik 4.38 Pengaruh Polimer Terhadap Daktilitas Aspal BGA



Grafik 4.39 Pengaruh BGA Terhadap Daktilitas Aspal Polimer

Sementara untuk penambahan BGA, BGA sangat mempengaruhi campuran dengan kadar 7 %. Dapat dilihat juga bahwa penggabungan nilai BGA dan polimer yang tinggi yaitu BGA 7 % dan polimer 4 % akan membentuk aspal dengan karakteristik yang sangat kaku terhadap beban tarik. Campuran aspal dengan penggabungan BGA dan polimer dengan kadar BGA 5 % dan polimer 2 % dinilai memiliki nilai daktilitas yang baik.

Sementara pengaruh polimer terhadap aspal BGA 7 % terlihat jelas pada kadar polimer 4 % yaitu sebesar 75 %.

Pada grafik 4.41 terlihat daktilitas polimer 2 % yang menurun pada penambahan BGA dengan kadar 7 % sebesar 23 %. Sementara pada penambahan BGA sebesar 7 %, aspal polimer 4 % mengalami penurunan nilai daktilitas sebesar 80 %.

Dari perubahan yang terjadi, dapat dilihat bahwa polimer mulai member pengaruh cukup tinggi bagi nilai daktilitas pada kadar 4 %.

Dari seluruh hasil pemeriksaan aspal yang dilakukan, dapat dilihat sifat dominan setiap bahan pencampur yaitu BGA dan polimer terhadap penetrasi, titik lembek, serta daktilitas aspal.

Dapat disimpulkan bahwa BGA bersifat menurunkan nilai penetrasi aspal murni, dan memiliki pengaruh dominan dalam perubahan titik lembek aspal murni menjadi lebih tinggi. Penambahan BGA mengurangi nilai daktilitas aspal karena elastisitas asbuton yang rendah.

Polimer tidak memberi pengaruh yang besar terhadap penetrasi aspal murni, akan tetapi bersifat menaikkan titik lembeknya. Pengaruh polimer terhadap titik lembek aspal murni cukup besar saat kadar polimer 4 %. Nilai daktilitas aspal murni campuran polimer cukup tinggi. Namun saat aspal modifikasi polimer dicampur dengan asbuton khususnya untuk kadar polimer 4 %, angka penurunan daktilitas menjadi sangat besar.

Berdasarkan ketiga jenis pemeriksaan yang dilakukan pada aspal campuran, jenis campuran yang menunjukkan nilai penetrasi, titik lembek, dan daktilitas optimum adalah aspal campuran polimer 2 % dan BGA 5 %.

4.4.4 PEMERIKSAAN PERUBAHAN VOLUME ASPAL

VOLUME ASPAL

Pemeriksaan volume adalah untuk melihat pengaruh kadar aspal dari BGA terhadap volume aspal murni. Perhitungan menggunakan data hasil ekstraksi campuran. Pemeriksaan dilakukan terhadap sampel dengan campuran BGA. Jenis campuran yang diuji adalah BGA 5 %, BGA 5 % polimer 2 %, BGA 5 % polimer 4 %, BGA 7 %, BGA 7 % polimer 2 %, dan BGA 7 % polimer 4 %. Masing-masing jenis campuran yang diperiksa berjumlah 2 sampel. Hal ini dilakukan untuk melihat nilai kecenderungan dan keakuratan perubahan volume aspal.

- Aspal BGA 5 %

Pemeriksaan dan Perhitungan	BGA 5 % (sampel 2)	BGA 5 % (sampel 1)
Berat contoh sebelum ekstraksi (1)	1136	1132
Berat kertas saring sebelum ekstraksi (2)	8,12	8,1
Berat contoh setelah ekstraksi (3)	1045	1049
Berat kertas saring setelah ekstraksi (4)	9,7	10,48
Berat mineral (agregat) = (5) = (3)+(4)-(2)	1046,58	1051,38
Berat aspal+BGA = (6) = (1)-(5)	89,42	80,62
% Kadar aspal = (7) = (6)/(1)x100%	7,87	7,12
Kadar aspal murni (8)	6 %	6 %
Berat aspal murni (gram) (9)	69	69
Berat BGA (gram) (10)	54,05	54,05
% Perubahan Volume Aspal = ((7)-(8))/(8)x100%	31,167 %	18,67 %
Kadar Asbuton BGA = ((6)-(9))/(10)*100%	37,7 %	21,5

- Aspal BGA 5 % Polimer 2 %

Pemeriksaan dan Perhitungan	BGA 5 % Polimer 2 % (sampel 1)	BGA 5 % Polimer 2 % (sampel 3)
Berat contoh sebelum ekstraksi (1)	1143	1148,5
Berat kertas saring sebelum ekstraksi (2)	7,905	8,05
Berat contoh setelah ekstraksi (3)	1063,5	1058,5
Berat kertas saring setelah ekstraksi (4)	10	9,99
Berat mineral (agregat) = (5) = (3)+(4)-(2)	1065,595	1060,44
Berat aspal+BGA = (6) = (1)-(5)	77,405	88,06
% Kadar aspal = (7) = (6)/(1)x100%	6,77	7,67
Kadar aspal murni (8)	6 %	6 %
Berat aspal murni (gram) (9)	69	69
Berat BGA (gram) (10)	54,05	54,05
% Perubahan Volume Aspal = ((7)-(8))/(8)x100%	12,83 %	27,83 %
Kadar Asbuton BGA = ((6)-(9))/(10)*100%	15,55 %	35,26 %

- Aspal BGA 5 % Polimer 4 %

Pemeriksaan dan Perhitungan	BGA 5 % Polimer 4 % (sampel 2)	BGA 5 % Polimer 4 % (sampel 1)
Berat contoh sebelum ekstraksi (1)	1145,5	1151,5
Berat kertas saring sebelum ekstraksi (2)	7,62	7,89
Berat contoh setelah ekstraksi (3)	1047	1046,5
Berat kertas saring setelah ekstraksi (4)	9,9	14,78
Berat mineral (agregat) = (5) = (3)+(4)-(2)	1049,28	1053,39
Berat aspal+BGA = (6) = (1)-(5)	96,22	98,11
% Kadar aspal = (7) = (6)/(1)x100%	8,39	8,52
Kadar aspal murni (8)	6 %	6 %
Berat aspal murni (gram) (9)	69	69
Berat BGA (gram) (10)	54,05	54,05
% Perubahan Volume Aspal = ((7)-(8))/(8)x100%	39,83 %	42 %
Kadar Asbuton BGA = ((6)-(9))/(10)*100%	50,36 %	53,85 %

- Aspal BGA 7 %

Pemeriksaan dan Perhitungan	BGA 7 % (sampel 3)	BGA 7 % (sampel 2)
Berat contoh sebelum ekstraksi (1)	1143,5	1151
Berat kertas saring sebelum ekstraksi (2)	7,85	7,66
Berat contoh setelah ekstraksi (3)	1036,5	1045
Berat kertas saring setelah ekstraksi (4)	9,75	10,55
Berat mineral (agregat) = (5) = (3)+(4)-(2)	1038,4	1047,89
Berat aspal+BGA = (6) = (1)-(5)	105,1	103,11
% Kadar aspal = (7) = (6)/(1)x100%	9,19	8,96
Kadar aspal murni (8)	6 %	6 %
Berat aspal murni (gram) (9)	69	69
Berat BGA (gram) (10)	75,7	75,7
% Perubahan Volume Aspal = ((7)-(8))/(8)x100%	53,167 %	49,3
Kadar Asbuton BGA = ((6)-(9))/(10)*100%	47,6 %	45

- Aspal BGA 7 % Polimer 2 %

Pemeriksaan dan Perhitungan	BGA 7 % Pominer 2 % (sampel 3)	BGA 7 % Polimer 2 % (sampel 2)
Berat contoh sebelum ekstraksi (1)	1131	1135,5
Berat kertas saring sebelum ekstraksi (2)	7,73	8,33
Berat contoh setelah ekstraksi (3)	1034,5	1033
Berat kertas saring setelah ekstraksi (4)	10,35	9,55
Berat mineral (agregat) = (5) = (3)+(4)-(2)	1037,12	1034,22
Berat aspal+BGA = (6) = (1)-(5)	93,88	101,28
% Kadar aspal campuran = (7) = (6)/(1)x100%	8,3	8,91
Kadar aspal murni (8)	5,5 %	5,5 %
Berat aspal murni (gram) (9)	69	69
Berat BGA (gram) (10)	76,1	76,1
% Perubahan Volume Aspal = ((7)-(8))/(8)x100%	50,9 %	56,4 %
Kadar Asbuton BGA = ((6)-(9))/(10)*100%	32,7 %	42,4 %

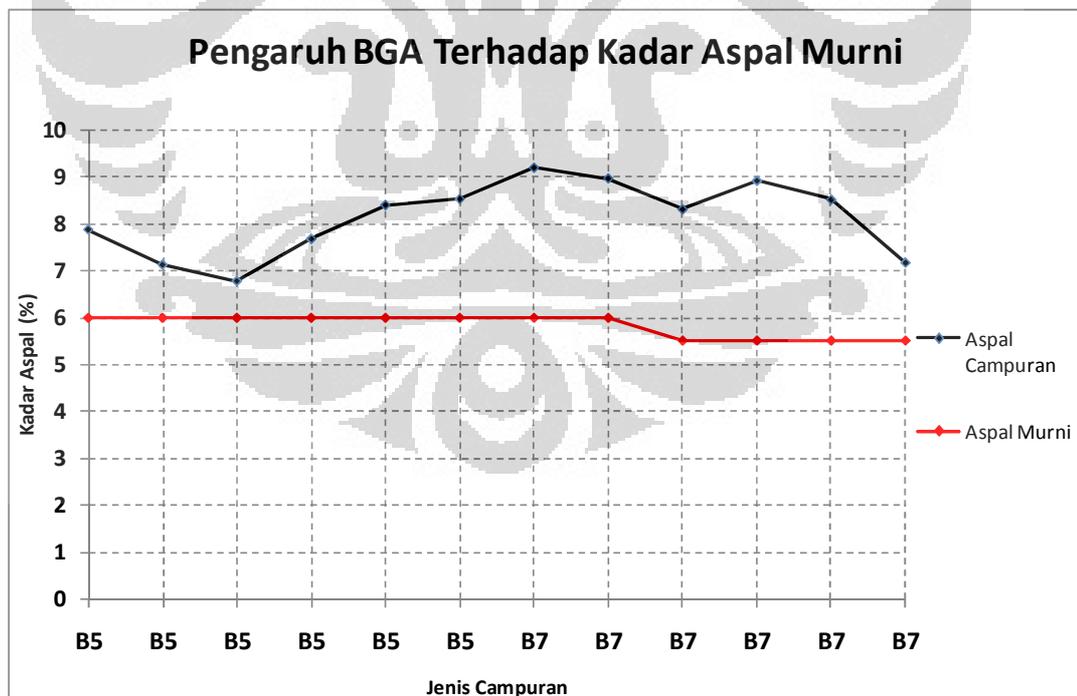
- Aspal BGA 7 % Polimer 4 %

Pemeriksaan dan Perhitungan	BGA 7 % Polimer 4 % (sampel 1)	BGA 7 % Polimer 4 % (sampel 3)
Berat contoh sebelum ekstraksi (1)	1141	1134
Berat kertas saring sebelum ekstraksi (2)	8,025	8,2
Berat contoh setelah ekstraksi (3)	1041	1050
Berat kertas saring setelah ekstraksi (4)	10,85	10,96
Berat mineral (agregat) = (5) = (3)+(4)-(2)	1043,825	1052,76
Berat aspal+BGA = (6) = (1)-(5)	97,175	81,24
% Kadar aspal = (7) = (6)/(1)x100%	8,51	7,16
Kadar aspal murni (8)	5,5 %	5,5 %
Berat aspal murni (gram) (9)	69	69
Berat BGA (gram) (10)	76,1	76,1
% Perubahan Volume Aspal = ((7)-(8))/(8)x100%	54,9 %	30,18 %
Kadar Asbuton BGA = ((6)-(9))/(10)*100%	37 %	16,084 %

Rekapitulasi kadar aspal dari campuran tertera pada Tabel 4.28.

Tabel 4.27 Kadar Aspal Campuran

Jenis Campuran		% Kadar Aspal Murni	% Kadar Aspal Campuran
BGA	Polimer		
5 %	0 %	6	7.87
	0 %	6	7.12
	2 %	6	6.77
	2 %	6	7.67
	4 %	6	8.39
	4 %	6	8.52
	0 %	6	9.19
7 %	0 %	6	8.96
	2 %	5.5	8.3
	2 %	5.5	8.91
	4 %	5.5	8.51
	4 %	5.5	7.16

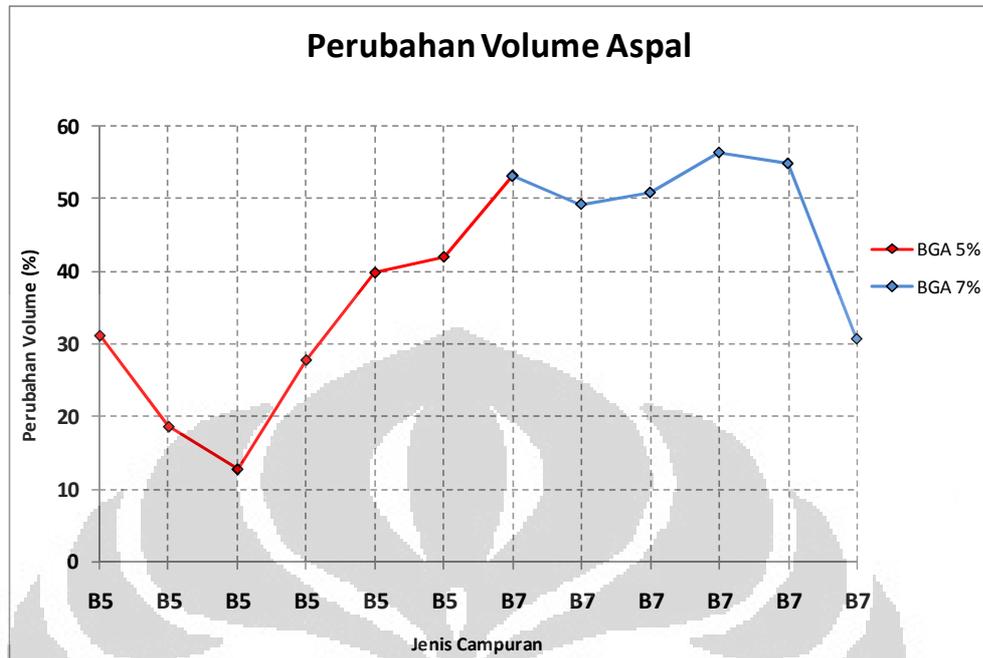


Grafik 4.40 Pengaruh BGA Terhadap Kadar Aspal Murni

Grafik 4.41 menunjukkan kenaikan kadar aspal dari setiap campuran, baik campuran aspal BGA, campuran aspal polimer, dan juga campuran aspal BGA dan polimer. Kenaikan kadar aspal ini merupakan pengaruh dari aspal yang berasal dari BGA. Untuk mendapatkan nilai kecenderungan besar pengaruh aspal BGA terhadap volume aspal campuran, perhitungan dilakukan dengan membandingkan kadar aspal campuran terhadap kadar aspal murni. Besar kadar aspal murni untuk setiap jenis campuran, serta besar perubahannya tertera pada Tabel 429.

Tabel 4.28 Perubahan Volume Aspal

Jenis Campuran		% Kadar Aspal Murni	% Perubahan Volume Aspal
BGA	Polimer		
5 %	0 %	6	31.167
	0 %	6	18.67
	2 %	6	12.83
	2 %	6	27.83
	4 %	6	39.83
	4 %	6	42
	4 %	6	42
7 %	0 %	6	53.167
	0 %	6	49.3
	2 %	5.5	50.9
	2 %	5.5	56.4
	4 %	5.5	54.9
	4 %	5.5	54.9
	4 %	5.5	30.8



Grafik 4.41 Perubahan Volume Aspal

Grafik 4.42 menunjukkan perubahan volume aspal akibat penambahan aspal BGA. B5 mewakili seluruh campuran dengan kadar BGA 5 %, dan B7 mewakili seluruh campuran dengan kadar BGA 7 %.

BGA 5 % menambah volume aspal sebesar 12,83 % sampai 42 %. Semetara dengan penambahan BGA sebesar 7 % terhadap campuran aspal dapat menambah konten aspal murni sebesar 30,8 % sampai dengan 56,4 %. Dari nilai selisih nilai penambahan aspal pada campuran aspal BGA 5 % dan campuran aspal BGA 7 %, dapat disimpulkan bahwa penambahan kadar BGA pada campuran aspal sebesar 2 % dapat menambah kadar aspal sebesar 17.97 % sampai dengan 43.57 %.

HUBUNGAN VOLUME ASPAL DENGAN GRADASI CAMPURAN BGA

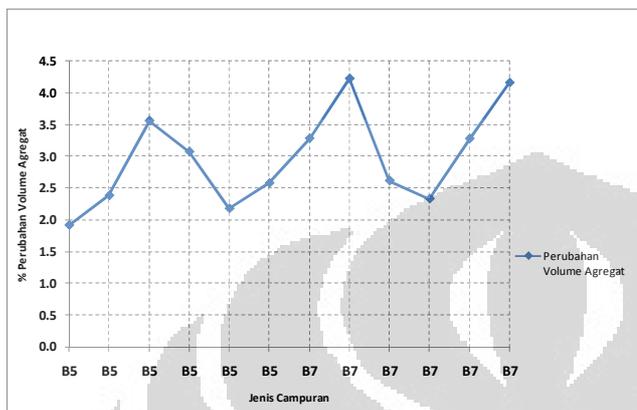
Peningkatan kadar aspal dari campuran dengan BGA 5 % dan campuran dengan BGA 7 % ini dapat dihubungkan dengan gradasi dari agregat dengan campuran BGA.

Dari data perubahan volume aspal yang didapatkan dapat dibuat rekapitulasi berat agregat setelah ekstraksi. Berat agregat setelah ekstraksi ini dibandingkan dengan berat agregat sebelum ekstraksi yang tertera pada Tabel 4.9 Berat Material Campuran BGA 5 % dan Tabel 4.11 Berat Material Campuran BGA 7 % untuk melihat besar perubahan volume agregat yang terjadi. Data dan perhitungan perubahan berat agregat untuk campuran dengan kategori campuran BGA % dan campuran BGA 7 % tertera pada Tabel 4.30.

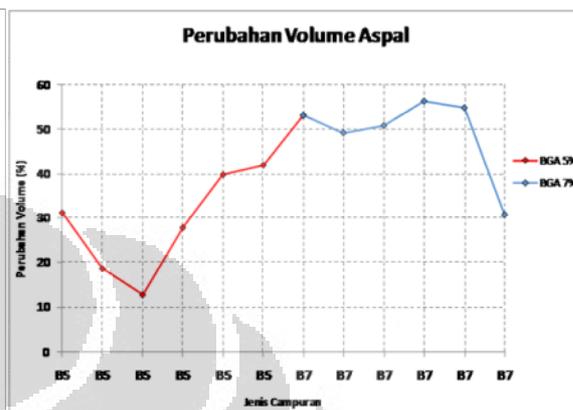
Tabel 4.29 Perubahan Berat Agregat

Jenis Campuran		Berat Mineral Agregat Setelah Ekstraksi (gram)	Berat Mineral Agregat Sebelum Ekstraksi (gram)	% Perubahan Berat Agregat
BGA	Polimer			
5 %	0 %	1046.58	1026.95	1.9
	0 %	1051.38	1026.95	2.4
	2 %	1063.5	1026.95	3.6
	2 %	1058.5	1026.95	3.1
	4 %	1049.28	1026.95	2.2
	4 %	1053.39	1026.95	2.6
7 %	0 %	1038.4	1005.4	3.3
	0 %	1047.89	1005.4	4.2
	2 %	1037.12	1010.7	2.6
	2 %	1034.22	1010.7	2.3
	4 %	1043.825	1010.7	3.3
	4 %	1052.76	1010.7	4.2

Berat mineral agregat sebelum ekstraksi merupakan berat agregat kasar, agregat medium dan agregat halus tanpa penambahan komposisi BGA didalamnya. Sedangkan berat mineral agregat setelah ekstraksi menunjukkan nilai total agregat



Grafik 4.42 Perubahan Berat Agregat



Grafik 4.41 Perubahan Volume Aspal

yang didapatkan yang berasal dari agregat kasar, agregat medium, agregat halus, serta mineral BGA yang terekstraksi. Perubahan agregat secara grafis tertera pada Grafik 4.43.

Perbandingan perubahan volume agregat dan volume aspal menunjukkan besar pengaruh variasi kadar aspal dari BGA terhadap campuran. Pada grafik ..., sampel ke-3 dari campuran dengan BGA 5 % menunjukkan titik tertinggi dari besar perubahan jumlah agregat yang merupakan pengaruh dari BGA. Sementara pada grafik perubahan volume terlihat titik terendah dari campuran dengan BGA 5 %. Dapat dilihat bahwa kadar aspal dari BGA yang diambil dan dicampurkan dalam campuran dengan BGA 5 % untuk sampel ke-3 memiliki kadar aspal yang terendah dibandingkan campuran lainnya. Sebaliknya, pada sampel ke-4 dari campuran aspal dengan BGA 7 %, jumlah perubahan agregat menunjukkan titik terendah pada campuran aspal dengan kadar BGA 7 %. Pada grafik perubahan volume aspal, sampel ke-4 tersebut menunjukkan perubahan volume aspal terbesar untuk campuran dengan BGA 7 %. Sehingga dapat dikatakan untuk sampe ke-4 campuran aspal BGA 7 %, BGA yang dicampurkan memiliki kadar aspal terbanyak dibandingkan dengan campuran lainnya.

Volume aspal untuk campuran dengan BGA 7 % cenderung meningkat dibandingkan dengan campuran dengan BGA 5 %. Akan tetapi terdapat 1 titik yang perubahan volumenya berada dibawah perubahan volume campuran BGA 5 % (sampel ke-6 campuran dengan BGA 7 %). Bila dibandingkan dengan grafik perubahan jumlah agregat pada grafik 4.43, dapat dilihat bahwa BGA yang dicampurkan pada sampel ke-6 tersebut didominasi oleh mineral BGA. Sehingga dapat disimpulkan bahwa besar kadar asbuton yang menyelimuti butiran/mineral dari BGA sangat menentukan sebaran gradasi agregat serta besar perubahan konten aspal pengikat campuran. Variasi dari kadar asbuton yang menyelimuti butiran mineral BGA sangatlah besar.

KADAR ASBUTON BGA

Rekapitulasi dari kadar asbuton BGA yang didapatkan tertera pada Tabel 4.31.

Tabel 4.30 Kadar Asbuton BGA

Jenis Campuran		% Kadar Asbuton BGA
BGA	Polimer	
5 %	0 %	37,7
	0 %	21,5
	2 %	15,55
	2 %	35,26
	4 %	50,36
	4 %	53,85
7 %	0 %	47,6
	0 %	45
	2 %	32,7
	2 %	42,4
	4 %	37
	4 %	16,084

Berdasarkan data hasil ekstraksi pada pembahasan 4.4.4.1 Volume Aspal, didapatkan pula nilai kadar asbuton BGA. Pertambahan volume aspal pada campuran dianggap merupakan kontribusi dari asbuton BGA. Sehingga dengan membandingkannya dengan berat BGA murni awal yang ditambahkan pada campuran, akan didapatkan kadar aspal dari BGA yang digunakan.

Perhitungan kadar asbuton BGA telah dibandingkan dengan berat BGA yang dicampurkan untuk masing-masing campuran. Sehingga tidak dibedakan lagi antara kadar asbuton BGA 5 %, dan kadar asbuton BGA 7 %. Kisaran kadar asbuton BGA yang didapatkan adalah 15,5 % sampai dengan 53,85 %. Nilai ini berada diluar Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum 2007 tentang kadar aspal BGA sebesar 23-27 %. Nilai spesifikasi sebesar 23 - 27 % ini berada di dalam kisaran kadar asbuton BGA yang didapatkan dalam penelitian ini. Akan tetapi, hasil pemeriksaan terhadap BGA yang berasal dari PT. Hutama Prima menunjukkan rentang kisaran yang lebih besar yaitu 15,5 - 53,85 %.

Dengan demikian dapat dinilai bahwa komposisi kadar asbuton dari BGA masih sangat bervariasi.

BAB 5

PENUTUP

5.1 PEMERIKSAAN MUTU MATERIAL

Dari hasil pemeriksaan mutu material campuran, didapatkan kesimpulan sebagai berikut;

1. Pemeriksaan Mutu Material

- a. Seluruh hasil pemeriksaan mutu aspal pertamina penetrais 60/70 memenuhi spesifikasi.
- b. Seluruh hasil pemeriksaan mutu agregat kasar, agregat medium, dan agregat halus memenuhi spesifikasi.
- c. Pemeriksaan asbuton hasil ekstraksi dari BGA murni untuk nilai penetrasi, titik lembek, serta daktilitas memenuhi spesifikasi.

Pemeriksaan gradasi BGA murni tidak memenuhi spesifikasi, disebabkan oleh inkonsistensi kadar aspal yang menyelimuti permukaan butiran BGA.

Pemeriksaan kadar asbuton BGA murni tidak memenuhi spesifikasi.

2. Pemeriksaan Gradasi Agregat Setelah Ekstraksi

Pemeriksaan gradasi agregat dibagi terhadap 2 kelompok, yaitu agregat campuran BGA 5 %, dan agregat campuran BGA 7 %.

Hasil pemeriksaan menunjukkan pergeseran gradasi dominan menurut ukuran saringan sebagai berikut:

- a. Ukuran Saringan no.4

Konten agregat berukuran maksimal saringan no.4 dominan mengalami penurunan 0,93 % sampai 2,25 % untuk campuran BGA 5 %, dan penurunan 3,62 % sampai 7,91 % untuk campuran BGA 7 %.

- b. Ukuran Saringan no.8

Konten agregat berukuran maksimal saringan no.8 mengalami penurunan 1,49 % sampai dengan 10,77 % untuk campuran BGA 5 %, dan kecenderungan bertambah sejumlah 1 % sampai dengan 4,12 %, dan juga berkurang sejumlah

3,22 % sampai dengan 6,38 % untuk campuran BGA 7 %. Kecenderungan penambahan dan pengurangan agregat menunjukkan variasi yang masih besar pada butiran granular BGA untuk ukuran ini.

c. Ukuran Saringan no.30

Konten agregat berukuran maksimal saringan no.30 mengalami penambahan 0,72 % sampai 7,14 % dan pengurangan sebanyak 1,28 % sampai 3,42 %. Gradasi untuk campuran dengan BGA sebanyak 7 % menurun sebanyak 5,76 % sampai 16,09 %. Kecenderungan penambahan dan pengurangan agregat menunjukkan variasi yang masih besar pada butiran granular BGA untuk ukuran ini.

d. Ukuran Saringan no.50

Konten agregat berukuran maksimal saringan no.50 mengalami penambahan 11,34 % sampai dengan 37,44 % untuk campuran BGA 5 %, dan penambahan 6,54 % sampai 24,08 % untuk campuran BGA 7 %.

e. Ukuran Saringan no.100

Gradasi pada saringan no.100 melewati batas maksimum spesifikasi. Penambahan gradasi untuk campuran BGA 5 % adalah 59,36 % sampai 95,58 %. Sementara untuk campuran dengan BGA 7 % penambahan sebanyak 42,47 % sampai 73,27 %.

f. Ukuran Saringan no.200

Konten agregat berukuran maksimal saringan no.200 mengalami penambahan 108,01 % sampai 144,58 % untuk campuran BGA 5 %, dan penambahan 88,49 % sampai 151,59 % untuk campuran BGA 7 %.

3. Pemeriksaan Aspal Setelah Ekstraksi

a. Tes Penetrasi Aspal

Bahan yang dominan menurunkan nilai penetrasi adalah BGA, menurunkan nilai penetrasi sampai 41,2 % untuk penambahan BGA 5 %, dan 52 % untuk penambahan BGA 7 %.

b. Tes Titik Lembek Aspal

Bahan polimer dan BGA menaikkan nilai titik lembek aspal. Akan tetapi bahan yang lebih dominan menaikkan titik lembek dalam campuran aspal polimer BGA adalah BGA.

c. Tes Daktilitas Aspal

Campuran aspal BGA menunjukkan nilai daktilitas lebih rendah dari campuran lainnya yaitu 80 cm. Penambahan polimer terhadap campuran BGA menurunkan nilai elastisitas aspal dalam jumlah yang besar, khususnya pada penambahan polimer 4 %. Nilai daktilitas campuran BGA 5 % polimer 4 % adalah 21,5 cm, dan nilai daktilitas campuran BGA 7 % polimer 4 % adalah 19,4 cm.

Berdasarkan hasil pemeriksaan aspal, aspal dengan kualitas terbaik dari campuran aspal modifikasi polimer dan BGA adalah aspal campuran BGA 5 % polimer 2 % dengan nilai penetrasi 31,2 (0,1 mm), titik lembek 59,5 °C, dan daktilitas 100 cm.

4. Pemeriksaan Volume Aspal

Perubahan volume aspal diasumsikan berasal dari kontribusi asbuton yang menyelimuti BGA. Penambahan BGA 5 % menambah volume aspal campuran 12,8 % sampai 42 %. Penambahan BGA 7 % menambah volume aspal 30,8 % sampai dengan 56,4 %.

5. Pemeriksaan Kadar Asbuton BGA

Berdasarkan asumsi penambahan volume aspal berasal dari BGA, didapatkan kadar asbuton dari BGA sesungguhnya yang dipakai dalam penelitian ini. Kisaran kadar asbuton yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15,5 % sampai 53,85 %. Kisaran kadar asbuton ini berada diluar spesifikasi.

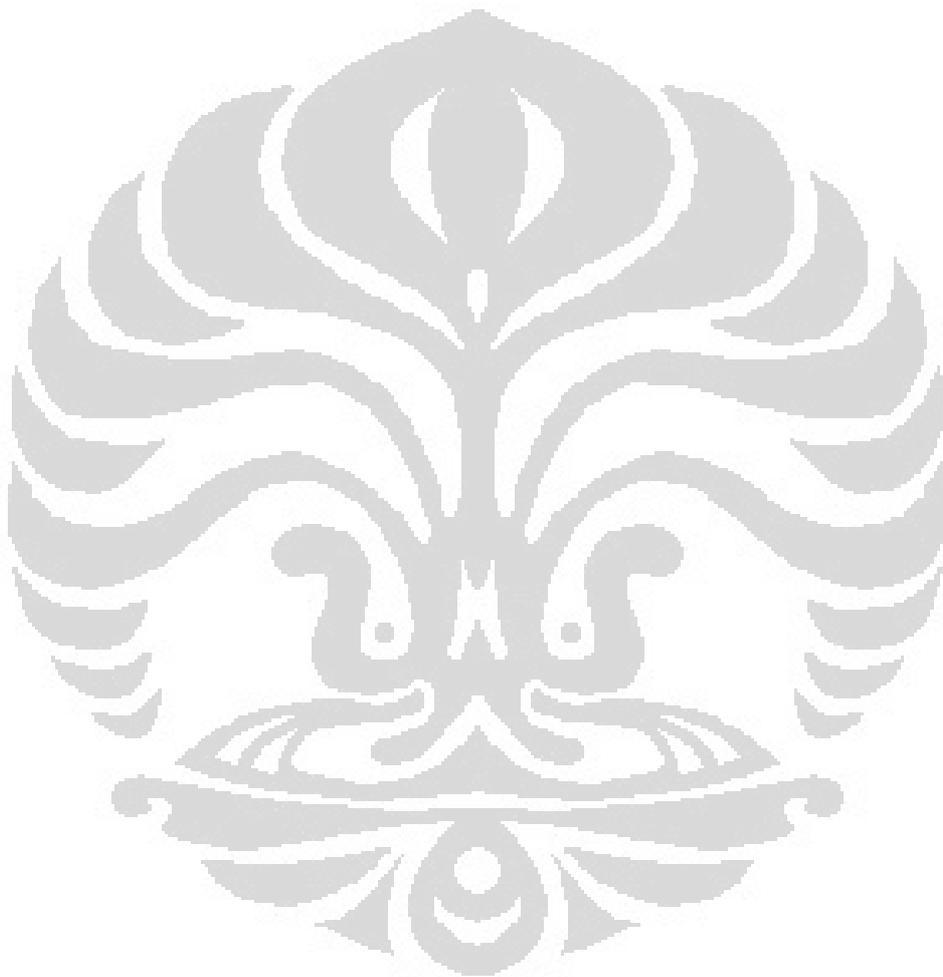
5.2 SARAN

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

1. Pelepasan asbuton dari butiran BGA mengakibatkan pergeseran gradasi campuran. Untuk mendapatkan gradasi agregat ideal, maka perencanaan

komposisi agregat disesuaikan dengan hasil pemeriksaan gradasi setelah proses ekstraksi.

2. Rentang kisaran dari kadar asbuton BGA yang didapatkan masih sangat besar. Sehingga pengolahan BGA lebih dikhususkan lagi pada konsistensi kadar asbuton.



DAFTAR REFERENSI

- Affandi, Furqon. (2009). Sifat Campuran Beraspal Panas Dengan Asbuton Butir. *Jurnal Jalan dan Jembatan*, vol.26, No.2.
- Balitbang Departemen Pekerjaan Umum. (2007). *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*.
- Balitbang Departemen Pekerjaan Umum. (2009). *ASBUTON*.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*.
- Young, J.Francis., Mindess, Sidney, Gray, Robert J., & Bentur, Arnon. (1998). *The Science and Technology of Civil Engineering Materials*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.
- The Asphalt Institute (1983), *Mix Design Method for Asphalt Concrete and other Plant Mix Types, Manual Series No.2 (MS-2), 6th Edition*.
- Shell Bitumen, (1990), *Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen, U.K.
- Sukirman, Silvia. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Airey G.D. (2002), "Rheological Evaluation of EVA Polymer Modified Bitumens", *J. Construction & Building Materials*, v16, n 8, p473-487.
- Howardy, Latif Budi Suparma, Iman Satyarno. Perancangan Laboratorium Campuran HRS-WC dengan Penggunaan *Buton Granular Asphalt* (BGA) sebagai Bahan Additif. *Forum Teknik Sipil No. XVIII/3-September 2008*.
- Dairi, Gompul 1992, Konferensi Tahunan Teknik Jalan ke-4, Vol 2, Road Maintenance, Mikro Asbuton Sebagai Lapis Permukaan Jalan Bandung-Rancabali, Puslitbang Jalan, Jakarta.
- Kurniaji, dkk. "Penggunaan Buton Lake Asphalt Dalam Campuran Aspal Panas". *Puslitbang Prasarana Transportasi*, Desember (2002).
- Tjijtjik Wasiah Suroso, (1995), Hasil Penelitian Pendahuluan pengaruh penambahan Syntetic Rubber (polimer) terhadap ketahanan Aspal Pen 60 dan

80 terhadap suhu (P_i) dan Pelapaukan (Aging Index). *Jurnal Pusat Litbang Jalan* 3.

Faisal A., 2003, "Prospek Pemasaran Aspal Pertamina dan Kebijakannya". Pertamina Bid. Pemasaran dan Niaga, Maret (2003).

Bambang Ismanto, 2004, "Pengaruh Kualitas Aspal Terhadap Kekuatan dan Ketahanan Perkerasan Lentur". Institut Teknologi Bandung, Maret (2004).

Toki Sugianto, 2004, "Modifikasi Aspal Buton di Jabotabek". PT. Sarana Karya, Maret (2004).

BGA, Buton Granular Asphalt, Aspal Alam Mutu Tinggi untuk Kinerja Jalan yang lebih baik, PT. Sarana Karya, 2001.

