



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH VARIASI GRADASI DAN KOMPOSISI
AGREGAT PADA PROSES PEMADATAN CAMPURAN
ASPAL BETON**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**SATABRASYAH DIN PARLAUNGAN HUTABARAT
0606072692**

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

990/FT.01/SKRIP/01/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH VARIASI GRADASI DAN KOMPOSISI
AGREGAT PADA PROSES PEMADATAN CAMPURAN
ASPAL BETON**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**SATABRASYAH DIN PARLAUNGAN HUTABARAT
0606072692**

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

990/FT.01/SKRIP/01/2011



UNIVERSITY OF INDONESIA

**ANALYSIS OF INFLUENCE OF VARIATION AND
COMPOSITION OF AGGREGATE GRADATION ON
ASPHALT CONCRETE COMPACTION**

UNDERGRADUATE THESIS

Proposed as a requirement to get bachelor degree

**SATABRASYAH DIN PARLAUNGAN HUTABARAT
0606072692**

**ENGINEERING FACULTY
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
DEPOK
JANUARY 2011**

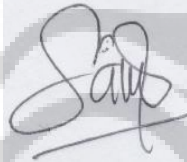
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Satabrasyahdin Parlaungan Hutabarat

NPM : 0606072692

Tanda Tangan :



Tanggal : 05 January 2011

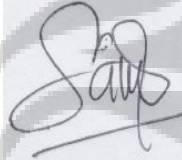
ORISINALITY PAGE

**This undergraduate thesis report is my own creation, and
all sources that are referred and quoted are true**

Name : Satabrasyahdin Parlaungan Hutabarat

NPM : 0606072692

Signature :



Date : January 05, 2011




HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Satabrasyahdin Parlaungan Hutabarat
NPM : 0606072692
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Analisa Pengaruh Variasi Gradasi Dan Komposisi Agregat Pada Proses Pematatan Campuran Aspal Beton

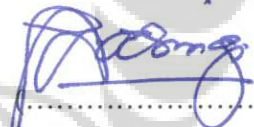
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

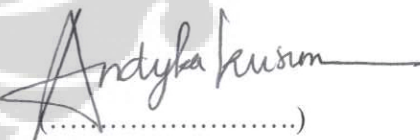
Pembimbing : Ir. Heddy R Agah, M.Eng


(.....)

Penguji : Dr. Ir. Sigit P Hadiwardoyo, DEA


(.....)

Penguji : Andyka Kusuma ST, M.Sc


(.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : January 05, 2011

APPROVAL PAGE

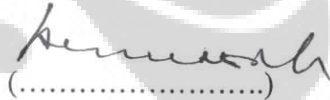
This Undergraduate thesis is submitted by :

Name : Satabrasyahdin Parlaungan Hutabarat
NPM : 0606072692
Study Programme : Civil Engineering
Title : Analysis of Influence of Variation and
Composition of Aggregate Gradation on Asphalt
Concrete Compaction

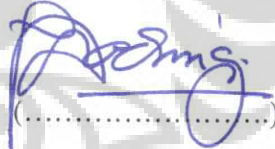
Has been successfully defended in front of the board of examiners and has been accepted as part of the requirements necessary to obtain a Bachelor of Engineering at Civil Engineering Program Faculty of Engineering, University of Indonesia.

BOARD OF EXAMINERS

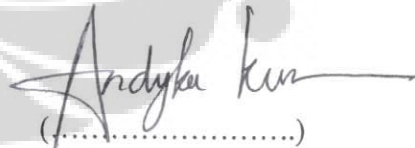
Supervisor : Ir. Heddy R Agah, M.Eng


(.....)

Examiner : Dr. Ir. Sigit P Hadiwardoyo, DEA


(.....)

Examiner : Andyka Kusuma ST, M.Sc


(.....)

Defined in : Depok

Date : January 05, 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas limpahan hidayah-Nya penulisan skripsi dengan judul “**ANALISA PENGARUH VARIASI GRADASI DAN KOMPOSISI AGREGAT PADA PROSES PEMADATAN CAMPURAN ASPAL BETON** “ dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari semua perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir.Heddy R.AGAH, M.eng sebagai pembimbing dalam penulisan seminar skripsi ini.
2. DR.Ir. Sigit Hadiwardoyo,DEA dan Andyka Kusuma S.T,Msc
3. Dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang sudah mendidik penulis.
4. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan material dan moral; serta
5. Semua pihak yang sudah membantu pelaksanaan saat penelitian dan penulisan skripsi ini

Saya menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kesalahan karena keterbatasan pengetahuan penulis. Oleh karena itu dimohon saran untuk perbaikan skripsi ini agar lebih baik lagi kedepannya.

Depok, 3 Januari 2011

Penulis

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

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

Nama : SATABRASYAHDIN PARLAUNGAN HUTABARAT
NPM : 0606072692
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

“Pengaruh Variasi Gradasi Dan Komposisi Agregat Pada Proses Pematangan Campuran Aspal Beton”

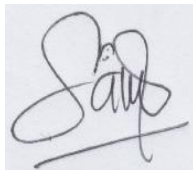
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 5 Januari 2011

Yang menyatakan



(SATABRASYAHDIN PARLAUNGAN HUTABARAT)

ABSTRAK

Nama : Satabrasyahdin Parlaungan Hutabarat

Program Studi : Teknik Sipil

Judul : Analisa Pengaruh Variasi Gradasi dan Komposisi Agregat Pada Proses Pencampuran Aspal Beton

Proses perencanaan campuran aspal sangat bergantung pada proporsi material yang ditentukan oleh jenis gradasi agregat serta jenis dan kadar aspal yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan 2 sampel gradasi sebagai pembandingan yaitu gradasi menerus (Spek IV laston Binamarga) dan gradasi senjang (Spek Lataston HRS-WC). Sampel diuji pada suhu 90 dengan 50 tumbukan, 110 dengan 2x50 tumbukan, serta 90 dengan 2x120 tumbukan. Hasil penelitian menunjukkan untuk nilai deformasi dan kecepatan deformasi pada sampel dengan gradasi menerus nilainya lebih besar daripada sampel dengan gradasi senjang hampir di semua variasi. Nilai VIM dan VMA pada gradasi senjang Lebih besar daripada gradasi menerus, sedangkan untuk nilai stabilitas sampel dengan gradasi senjang memiliki nilai yang lebih besar daripada sampel dengan gradasi menerus

Kata kunci:

Gradasi senjang, Gradasi menerus, Nilai deformasi, Kecepatan deformasi, Nilai VIM, VMA, Nilai stabilitas

ABSTRACT

Name : Satabrasyahdin Parlaungan Hutabarat
Study Program : Civil Engineering
Title : Analysis of Influence of Variation and Composition of Aggregate Gradation on Asphalt Concrete Compaction

Asphalt mix design process is dependent on the proportion of material that is determined by the type of aggregate gradation and the type and asphalt content used. In this research 2 samples used for comparison of gradation. gradation Continuous(Spek IV Laston Binamarda) and gap graded (Spek Laston HRS-WC). Samples were tested at 90⁰C 2x50 blows, 110⁰C with 2x75 blows, and 90⁰C with 2x120 blows. The results showed for the deformation and deformation rate on the sample with continuous gradation have greater value than sample with a graded gap in almost every variation. VIM and VMA values in graded gap Bigger than continuous gradation, whereas for the stability of the sample with a graded gap has a greater value than the sample with continuous gradation

Keywords:

Gap gradation, gradation continuous, values of deformation, deformation rate, value of VIM, VMA, stability Values

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
PAGE OF ORIGINALIT PRONOUNCEMENT.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
APPROVAL PAGE	vi
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.3 Ruang Lingkup penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB 2 STUDI LITERATUR	6
2.1 Material Pemebentuk Perkerasan Jalan	6
2.1.1 Agregat	6
2.1.2 Aspal.....	12
2.1.3 Teori gradasi.....	15
2.1.4 Sifat-sifat fisik Aspal	19

2.2 Perencanaan Campuran Aspal	23
2.2.1 Sifat dan karekteristik campuran aspal.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Rencana penelitian	30
3.2 Tahapan Percobaan	31
3.2.1 Perumusan Sampel Percobaan	31
3.2.2 Bagan Alir.....	34
3.2.3 Spesifikasi bahan baku penelitian	36
3.2.4 Standar pengujian Material	36
3.3 Perancangan dan pembuatan sampel uji	38
3.4 Pengujian benda uji.....	42
3.5 Analisis hasil pengujian.....	43
BAB IV DATA DAN ANALISA PENELITIAN	44
4.1 Pemeriksaan Material Aspal dan Agregat	44
4.1.1 Pengujian Aspal	44
4.1.2 Pengujian Agregat	46
4.2 Rencana campuran aspal untuk mencari kadar aspal optimum.....	50
4.2.1 Analisa gradasi menerus	51
4.2.2 Analisa sebaran butiran gabungan agregat pada sampel dengan jenis gradasi senjang/ gap (HRS-WC).	54
4.2.3 penentuan kadar aspal optimum	56
4.2.4 Pemadatan campuran aspal beton dengan variasi gradasi	65
4.3 Hasil deformasi campuran aspal	68
4.3.1 Deformasi 90 ⁰ C , 2x 50 tumbukan gradasi menerus dan senjang	68
4.3.2 Deformasi 110 ⁰ C , 2x 75 tumbukan gradasi menerus dan senjang	71
4.3.3 Deformasi 120 ⁰ C , 2 x 90 tumbukan gradasi menerus dan senjang	74

4.4 Pengujian dengan alat marshall	77
4.4.1 Hasil marshall untuk gradasi menerus	78
4.4.2 Hasil marshaall untuk gradasi senjang	78
4.5 Analis grafik marshall	79
4.5.1 Grafik VMA pada Sampel Gradasi Menerus dan Gradasi Senjang HRS ..	79
4.5.2 Grafik VIM pada Sampel Gradasi Menerus dan Gradasi Senjang HRS ...	80
4.5.3 Grafik Stabilitas pada Sampel Gradasi Menerus dan Gradasi Senjang HRS	82
4.5.4 Grafik Flow pada Sampel Gradasi Menerus dan Gradasi Senjang HRS.....	83
4.5.5 Grafik MQ pada Sampel Gradasi Menerus dan Gradasi Senjang HRS.....	85
 BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	90

DAFTAR GAMBAR

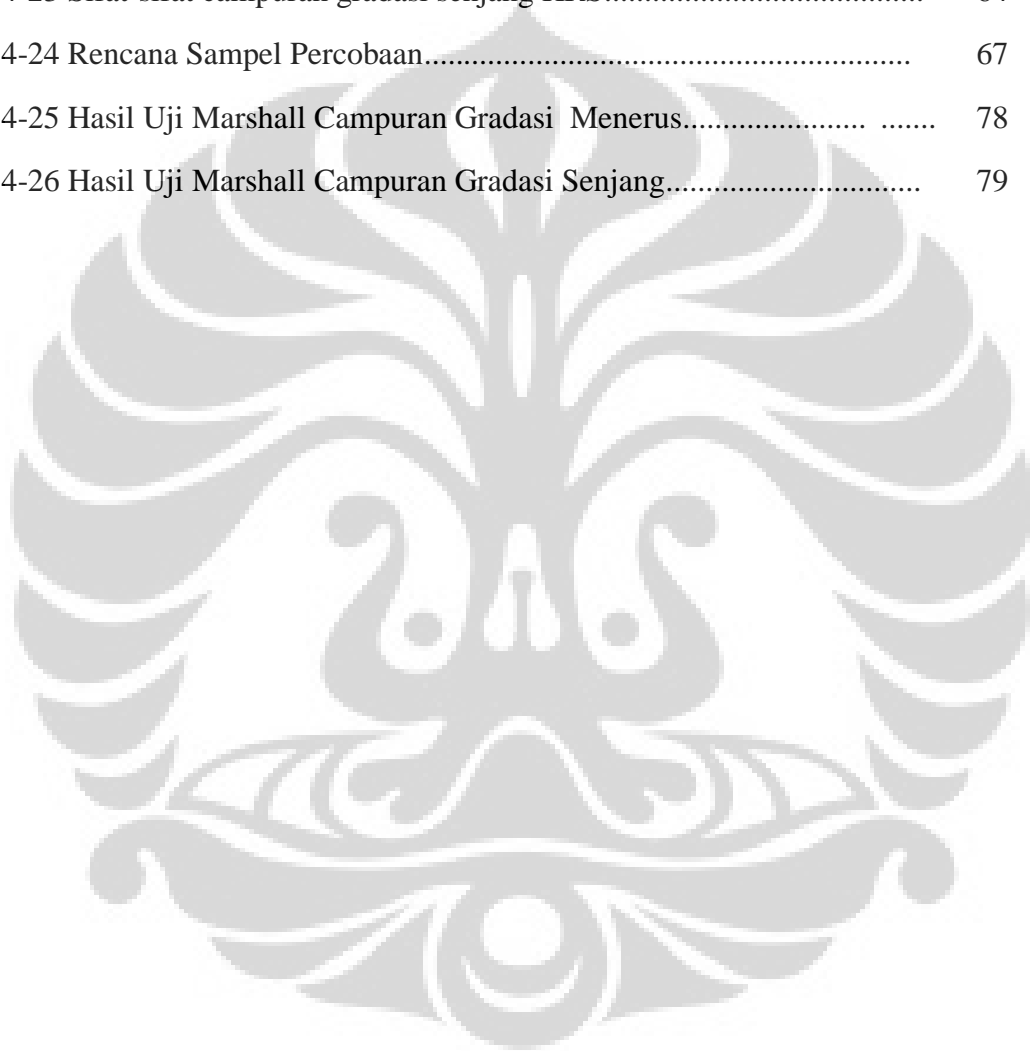
Gambar 2-1 deskripsi agregat berdasarkan bentuknya.....	9
Gambar 2-2 jenis agregat berdasarkan ukuran butiran	10
Gambar 2-3 ilustrasi ukuran butiran pada berbagai gradasi.....	12
Gambar 2-4 Bilangan Q dan Perbandingan ukuran Jari-jari Gradasi	16
Gambar 2-5 Susunan paling berongga & susunan paling rapat	17
Gambar 2-6 Grafik dari hasil perbandingan antara rumus teori gradasi dgn rumus Rouchfus pada batu pecah	19
Gambar 3.1 gradasi menerus (atas), gradasi senjang (bawah)	39
Gambar 3.2 Band heater	40
Gambar 3.3 Thermostat.....	40
Gambar 3.4 Jangka Sorong	41
Gambar 4-1 Grafik sebaran agregat kasar	47
Gambar 4-2 Grafik sebaran agregat medium ..	48
Gambar 4-3 Grafik sebaran agregat halus	49
Gambar 4-4 Grafik sebaran gradasi gabungan.	49
Gambar 4-5 Grafik sebaran agregat kasar, medium, dan halus ..	52
Gambar 4-6 Grafik Gradasi gabungan	52
Gambar 4-7 Grafik Gradasi gabungan ditambah Filler 2% ..	54
Gambar 4-8 Grafik sebaran gradasi senjang ...	59
Gambar 4-9 Grafik hasil marshall test gradasi menerus	53
Gambar 4-10 Penentuan batas kadar aspal optimum sampel gradasi menerus	60
Gambar 4-11 Grafik hasil marshall test gradasi senjang.	64
Gambar 4-12 penghitungan kadar aspal optimum	59
Gambar 4-13 Prosedur pengujian Aspal... ..	68
Gambar 4-14 Grafik deformasi sampel 90 ⁰ C, 2x 50 tumbukan, gradasi menerus	69
Gambar 4-15 Grafik deformasi sampel 90 ⁰ C, 2x 50 tumbukan, gradasi senjang	

.....	69
Gambar 4-16 Grafik Deformation Rate 90 ⁰ C, 2x 50	70
Gambar 4-17 Grafik Pengaruh kenaikan suhu akhir pada nilai deformasi sampel 90 ⁰ C, 2x 50 tumbukan	71
Gambar 4-18 Grafik deformasi sampel 110 ⁰ C, 2x 75 tumbukan, gradasi menerus	72
Gambar 4-19 Grafik deformasi sampel 110 ⁰ C, 2x 75 tumbukan, gradasi senjang	72
Gambar 4-20 Grafik Deformation Rate 110 ⁰ C, 2x 75 Tumbukan	73
Gambar 4-21 Grafik Pengaruh kenaikan suhu akhir pada nilai deformasi sampel 110 ⁰ C, 2x 75 tumbukan	74
Gambar 4-22 Grafik deformasi sampel 120 ⁰ C, 2x 90 tumbukan, gradasi menerus	75
Gambar 4-23 Grafik deformasi sampel 120 ⁰ C, 2x 90 tumbukan, gradasi senjang	75
Gambar 4-24 Grafik Deformation Rate 120 ⁰ C, 2x 90 Tumbukan	76
Gambar 4-25 Grafik Pengaruh kenaikan suhu akhir pada nilai deformasi sampel 120 ⁰ C, 2x 90 tumbukan	77
Gambar 4-26 Grafik VMA pada Gradasi Menerus	79
Gambar 4-27 Grafik VMA pada Gradasi Senjang	80
Gambar 4-28 Grafik VIM pada Gradasi Menerus	81
Gambar 4-29 Grafik VIM pada Gradasi Senjang	81
Gambar 4-30 Grafik Stabilitas pada Gradasi Menerus	82
Gambar 4-31 Grafik Stabilitas pada Gradasi senjang	83
Gambar 4-32 Grafik Flow pada Gradasi Menerus	84
Gambar 4-33 Grafik Flow pada Gradasi senjang	84
Gambar 4-34 Grafik MQ pada Gradasi Menerus	85
Gambar 4-35 Grafik MQ pada Gradasi senjang	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.12 syarat gradasi untuk filler.....	10
Tabel 2.2 tabel perbandingan sifat gradasi agregat.....	10
Tabel 2.3 syarat pemeriksaan aspal keras.....	14
Tabel 2.4 kriteria umum perencanaan marshall	26
Tabel 2.5 kriteria umum VMA marshall minimum.....	27
Tabel 3.1 jumlah seluruh benda uji yang dibutuhkan	33
Tabel 4-1 Hasil pemeriksaan aspal.....	44
Tabel 4-2 Persentase lolos dan tertahan agregat kasar.....	46
Tabel 4-3 persentase lolos dan tertahan agregat medium.....	47
Tabel 4-4 Persentase lolos dan tertahan agregat Halus	48
Tabel 4-5 Hasil pemeriksaan agregat	50
Tabel 4-6 Spesifikasi Gradasi Binamarga	51
Tabel 4-7 Sebaran Persentase agregat kasar, Medium, Halus pada Spek IV	51
Tabel 4-8 Perhitungan Persentase agregat Menerus dengan Filler 2%	53
Tabel 4-9 Spek Gradasi Senjang Binamarga.....	54
Tabel 4-10 Spek gradasi Lataston.....	55
Tabel 4-11 Proporsi Masing-masing Agregat pada Kadar Aspal 5 %, 5.5%, 6%,6.5%	56
Tabel 4-12 jumlah Sampel untuk mencari kadar aspal optimum.....	56
Tabel 4-13 Hasil Pengujian Sampel Aspal	57
Tabel 4-14 Hasil Uji Marshall sampel Aspal	57
Tabel 4-15 Hasil Pengujian Marshall Terhadap Campuran Aspal Dengan Gradasi Menerus	58
Tabel 4-16 Persyaratan Marshall test beerdasarkan jumlah tumbukan	58
Tabel 4-17 Kadar aspal vs Berat aspal	60

Tabel 4-18 Persentase Kadar Aspal dan bobot Agregat	61
Tabel 4-19 Jumlah sampel Aspal.....	61
Tabel 4-20 Data Uji Sampel Aspal	61
Tabel 4-21 Hasil Pengujian Marshall Terhadap Campuran Aspal Dengan Gradasi Senjang	62
Tabel 4-22 hasil uji marshall optimum.....	63
Tabel 4-23 Sifat-sifat campuran gradasi senjang HRS.....	64
Tabel 4-24 Rencana Sampel Percobaan.....	67
Tabel 4-25 Hasil Uji Marshall Campuran Gradasi Menerus.....	78
Tabel 4-26 Hasil Uji Marshall Campuran Gradasi Senjang.....	79



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Proses perencanaan campuran aspal sangat bergantung pada proporsi material yang ditentukan oleh penentuan jenis dan gradasi agregat serta jenis dan kadar aspal yang akan digunakan. Pada campuran aspal agregat berfungsi sebagai material utama dan diikat oleh aspal. Pemilihan gradasi agregat dapat memberikan alternatif untuk mendapatkan sifat-sifat campuran aspal yang diinginkan, sehingga campuran tersebut dalam fungsinya sebagai bahan perkerasan mampu menanggulangi efek-efek yang merusak akibat beban lalu lintas, cuaca, dan mempunyai kualitas yang baik.

Material utama pembentuk lapisan perkerasan jalan adalah agregat, yaitu sekitar 90-95% dari berat total campuran perkerasan adalah agregat. Daya dukung suatu lapisan perkerasan ditentukan dari sifat butir-butir agregat, dan gradasi agregatnya. Bahan pengikat seperti aspal dan semen dipergunakan sebagai bahan pengikat agregat agar terbentuk perkerasan kedap air.

Gradasi atau komposisi campuran aspal merupakan hal yang juga menjadi faktor penentu dalam menentukan perilaku campuran beton, perubahan komposisi gradasi agregat dapat mempengaruhi kriteria marshall khususnya rongga udara dalam campuran (Void In Mix / VIM) dan rongga antar butiran agregat (Void in Mineral Agregat/VMA) oleh karena itu perbedaan komposisi gradasi akan menghasilkan nilai VMA dan VIM yang berbeda-beda.

Gradasi agregat yang biasa digunakan dalam suatu desain campuran, terdiri atas 3 jenis yaitu.

- Agregat bergradasi seragam, adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Campuran agregat ini mempunyai pori antar butir yang cukup besar, sehingga sering dinamakan juga agregat bergradasi terbuka. Rentang distribusi ukuran butir yang ada pada agregat bergradasi seragam tersebar pada rentang yang sempit
- Agregat bergradasi terbuka, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali
- Agregat bergradasi senjang, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.

Kekuatan dan stabilitas aspal dipengaruhi oleh gradasi dan komposisi agregat yaitu pada nilai rongga dalam campuran dan tingkat pemadatan, pada uji Marshall akan terlihat nilai optimum dari setiap variabel (nilai rongga dalam campuran dan tingkat pemadatan), ada suatu keadaan optimum dimana nilai rongga pada campuran menghasilkan tingkat pemadatan yang maksimal yang selanjutnya berpengaruh terhadap nilai stabilitas yang dihasilkan, sehingga harus dipelajari lebih lanjut.

1.2 MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dari penulisan karya tulis ini adalah :

1. Mempelajari karakteristik kekuatan campuran terhadap deformasi dan variabel uji Marshall dan bahan pembentuknya.
2. Menganalisis pengaruh variasi komposisi gradasi agregat terhadap campuran aspal beton.
3. Menganalisis variasi tumbukan variasi agregat, variasi agregat terhadap deformasi yang akan digunakan dalam menentukan perilaku aspal.

Tujuan dari penulisan karya tulis ini adalah :

- Menganalisis pengaruh dari perubahan karakteristik komposisi campuran aspal terhadap nilai struktural campuran berdasarkan hasil uji marshall sehingga didapatkan ukuran didalam melakukan perubahan-perubahan komposisi campuran dalam batas toleransi yang diinginkan

1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN

- Menentukan kandungan aspal optimum campuran laston dengan hasil uji marshall dengan aspal pertamina pen 60/70. Untuk mendapatkan aspal optimum dilakukan terhadap beberapa benda uji dengan kandungan aspal yang berbeda
- Menentukan pengaruh variasi dan komposisi gradasi aspal pada campuran laston, yang divariasikan pada percobaan ini adalah sebaran gradasi, yaitu gradasi dengan gradasi menerus dan senjang terhadap perubahan suhu dan jumlah tumbukan.

1.4 BATASAN PENELITIAN

Batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan di laboratorium, tidak dilakukan di lapangan
2. Tidak dilakukan penelitian terhadap perubahan sifat kimia dari bahan
3. Bahan/ material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :
 - a. Aspal minyak pertamina penetrasi 60/70
 - b. Pengujian agregat kasar, agregatt halus, filler, aspal, dan benda uji dilakukan berdasarkan standar bina marga

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah

1. Studi literatur
2. Pengujian di laboratorium
3. Analisa hasil pengujian

Dari studi literatur didapatkan teori-teori dan rumus-rumus yang dibutuhkan untuk menganalisis data-data hasil pengujian, sedangkan dari pengujian di laboratorium didapat nilai-nilai dari hasil uji Marshall. Data-data hasil pengujian dianalisis sesuai dengan spesifikasi perhitungan yang telah dilakukan.

1.6 SISTEMATIKA PENELITIAN

Penulisan ini secara garis besar dibagi dalam lima bab, dimana setiap bab menerangkan permasalahan sebagai kelanjutan dari bab-bab sebelumnya. Adapun bab-babnya adalah sebagai berikut :

1) BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian yang dilakukan, maksud dan tujuan penulisan karya tulis, ruang lingkup penelitian, batasan penelitian, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

2) BAB II : STUDI LITERATUR

Bab ini berisi studi literatur yang digunakan, terdiri atas teori-teori dan hipotesa yang mendukung penelitian.

3) BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode penelitian berupa penyajian prosedur percobaan yang dilakukan dan tata cara pemeriksaan bahan dan pengujian campuran Laston IV.

4) BAB IV : ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisis karakteristik campuran aspal beton berdasarkan hasil pengujian di laboratorium disertakan dengan data-data dari kondisi temperatur yang bervariasi.

5) BAB VI : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan mengenai pendahuluan, landasan teori, dan metodologi penelitian untuk mencapai tujuan.



BAB II

STUDI LITERATUR

2.1 MATERIAL PEMBENTUK PERKERASAN JALAN

Material dasar pembentuk perkerasan jalan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal keras. Agregat merupakan pengisi terbesar campuran aspal, kurang lebih sekitar 85 % dari total campuran aspal. Daya dukung lapisan perkerasan ditentukan dari sifat-sifat, variasi dan komposisi gradasi agregat kasar dan halus. Agregat juga memiliki fungsi menahan dan menyalurkan beban.

Aspal merupakan material pengikat agregat yang bersifat stabil dan dapat mempertahankan bentuknya. Agar agregat dapat memiliki daya dukung yang baik, maka agregat harus diikat dengan aspal

2.1.1 AGREGAT

Menurut Silvia Sukirman, (2003), agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen.

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu sebesar 90-95 % berdasarkan presentase berat dari keseluruhan campuran, atau sebesar 75-85 % berdasarkan persentase volume. Berdasarkan hal tersebut kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan campurannya dengan agregat atau material lainnya.

- **Sifat agregat**

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca.

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah:

- gradasi,
- kebersihan,
- kekerasan
- ketahanan agregat,
- bentuk butir,
- tekstur permukaan,
- porositas,
- kemampuan untuk menyerap air,
- berat jenis, dan
- daya kelekatan terhadap aspal.

Sifat agregat tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis batuanannya

- **Jenis agregat**

Agregat dapat dibedakan berdasarkan kelompok terjadinya, pengolahan dan ukuran butirannya.

Berdasarkan proses terjadinya agregat dapat dibedakan atas agregat beku (*igneous rock*), agregat sedimen (*sedimentary rock*) dan agregat metamorfik (*metamorphic rock*)

- batuan beku (*igneous rock*)

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

- batuan sedimen (*sedimentary rock*)

Agregat sedimen merupakan agregat yang berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Contoh agregat sedimen: batu pasir, batu lempung, batu gamping, batu bara, garam, gips, dan lain-lain.

- batuan metamorf (*metamorphic rock*)

Agregat metamorf adalah agregat sedimen maupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan perubahan temperatur kulit bumi. Contoh agregat metamorf; marmer, kuarsa, batu sabak, filit, sekis, dan lain-lain.

Menurut BS 812 : Part 1: 1975, bentuk partikel agregat dapat dibedakan atas:

- Bulat (*rounded*)

Agregat ini biasanya ditemui di sungai, bentuk bulat terjadi karena agregat tererosi oleh arus sungai sehingga berbentuk bulat dan licin. Bidang kontak agregat berbentuk bulat sangat sempit hanya berupa titik singgung sehingga menghasilkan penguncian antar agregat yang tidak baik dan menghasilkan kondisi kepadatan lapisan perkerasan yang kurang baik.

- Lonjong (*elongated*)

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

- Kubus (*cubical*)

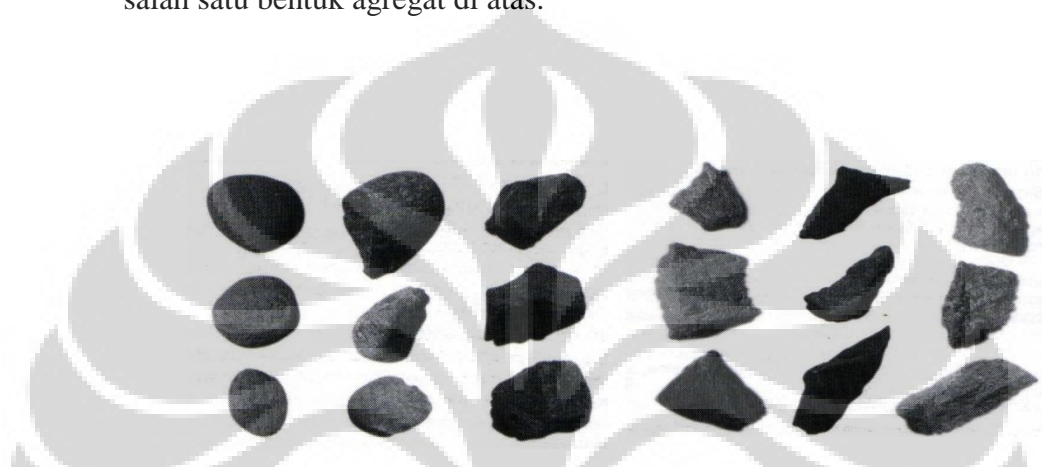
Agregat berbentuk kubus pada umumnya merupakan hasil pemecah batu masif atau hasil pemecahan mesin pemecah batu. Bidang kontak agregat ini luas sehingga mempunyai daya saling mengunci yang baik. Kestabilan yang diperoleh lebih baik dan lebih tahan terhadap deformasi.

- Pipih (*flacky*)

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

- Tidak beraturan (*irregular*)

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



Gambar 2-1 deskripsi agregat berdasarkan bentuknya

Berdasarkan ukuran butirnya, agregat dapat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (filler). Batasan dari masing masing agregat ini bisa saja berbeda-beda, tergantung institusi yang menentukannya.

Pembagian Agregat Berdasarkan Ukuran Butiran Menurut The Asphalt Institut, (1993), dalam Manual Series No. 2 (MS-2),:

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

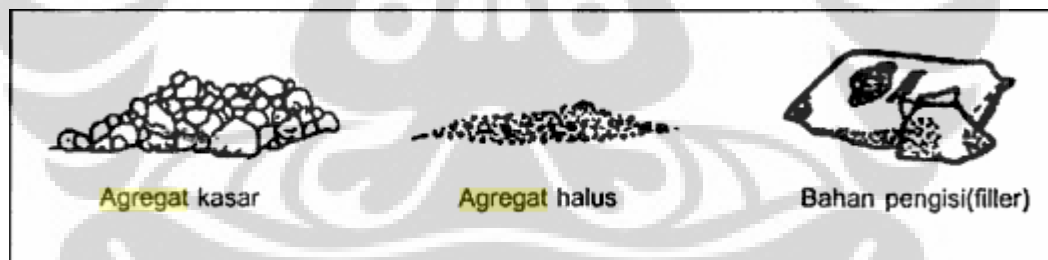
Berdasarkan ASTM C-33, agregat dibedakan menjadi :

- Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.4 (=4,75 mm)
- Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 4 (4, 75 mm)
- Filler merupakan material pengisi yang terdiri dari abu batu, abu batu kapur, semen (pc) atau bahan nonplastis lainnya

Tabel 2-1 Syarat gradasi untuk filler

Ukuran saringan	Persentase 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



Gambar 2-2 : jenis agregat berdasarkan ukuran butiran

- **Gradasi agregat**

Gradasi agregat merupakan hasil susunan butir agregat sesuai dengan ukurannya. Gradasi dan komposisi agregat merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa pemeriksaan dengan menggunakan satu set saringan, dinyatakan dalam persentase lolos atau persentase tertahan yang dihitung

berdasarkan berat agregat. Pengaruh variasi komposisi campuran serta gradasi agregat, akan juga mempengaruhi kekuatan dan nilai dari stabilitas campuran aspal serta mempengaruhi kemudahan pengerjaan serta keawetan.

Jenis gradasi agregat dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk (RSNI 2002)

- Agregat bergradasi baik

Merupakan agregat yang ukuran butirannya terdistribusi dengan baik dan merata dalam suatu rentang ukuran butiran campuran, agregat bergradasi baik mempunyai sedikit pori, mudah dipadatkan dan mempunyai stabilitas yang tinggi. Berdasarkan ukuran butiran yang dominan dalam penyusunan campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas :

- Agregat bergradasi kasar, yaitu agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran kasar
- Agregat bergradasi halus, yaitu agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari halus sampai kasar, tetapi dominan memiliki partikel yang lebih kecil (halus)

- Agregat bergradasi buruk

Merupakan agregat yang tidak memenuhi syarat untuk dapat dikategorikan menjadi agregat gradasi baik. Agregat bergradasi buruk dapat dikelompokkan menjadi :

- Agregat bergradasi seragam, yaitu agregat yang distribusi ukuran butirannya agregat berukuran sama atau hampir sama.
- Agregat bergradasi terbuka, yaitu agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik.



Gambar 2-3 Ilustrasi ukuran butiran pada berbagai gradasi

Sifat agregat campuran dinyatakan pada tabel berikut (Tabel 2.1)

Tabel 2-2: (tabel perbandingan sifat gradasi agregat)

Sifat	Agregat bergradasi buruk	Agregat bergradasi baik
Stabilitas	Buruk	Baik
Permaabilitas	Baik	Buruk
Tingkat kepadatan	Buruk	Baik
Rongga pori	Besar	Sedikit

Gradasi agregat merupakan kondisi agregat yang dapat dibentuk untuk mencapai persyaratan yang diinginkan. Perbaikan dilaksanakan dengan metode pencampuran. Jika agregat yang tersedia terlalu kasar, maka dicampur dengan agregat yang lebih halus, demikian pula sebaliknya.

2.1.2 ASPAL

Aspal adalah material perekat berwarna hitam atau coklat tua dengan unsur penyusun utama bitumen atau hidrokarbon.

komposisi kimia aspal adalah sebagai berikut :

- Karbon : 82% – 88%
- Hidrogen : 8% - 11%
- Sulfur : 0% – 16%
- Nitrogen : 0% - 1%
- Oksigen : 0% - 1,5%

Dari segi molekulnya, aspal terdiri atas *asphalthenes*, *resins*, dan *oils*.

1. *Asphalthenes*, merupakan bagian aspal yang memiliki berat molekul terbesar yang menentukan wujud dari aspal.
2. *Resins*, merupakan bagian yang struktur molekulnya paling labil, sehingga akibat adanya oksidasi, struktur bagian ini akan berubah dan cenderung membentuk molekul yang mempunyai berat yang lebih besar. Jika kandungan resins kurang maka sifat aspal menjadi lebih keras, kurang adhesive dan kurang kenyal.
3. *Oils*, mempunyai berat molekul paling ringan yang mempengaruhi kekentalan aspal.

Berdasarkan asalnya, aspal dikelompokkan menjadi beberapa jenis, yaitu sebagai berikut :

- Aspal alam terbentuk dari penguapan minyak bumi yang mengalir ke permukaan bumi melalui celah-celah bumi oleh matahari sehingga hanya tertinggal residu yang berwarna hitam dan plastis. Macam aspal alam:
 - *Lake asphalt* (aspal danau)
 - *Rock asphalt* (aspal batu)
- Aspal tar merupakan aspal yang diperoleh dari proses destilasi batubara.
- Aspal minyak merupakan residu yang diperoleh dari proses destilasi minyak bumi. Beberapa jenis aspal minyak antara lain :
 - *Asphalt cement/AC/aspal keras*
merupakan jenis aspal minyak yang pada suhu normal dan pada tekanan atmosfer berbentuk padat. Berikut ini adalah persyaratan aspal keras, yaitu :

1. Kadar parafin tidak melebihi 7%
2. Tidak mengandung air dan tidak berbusa jika dipanaskan sampai 175°C, Syarat pemeriksaan aspal keras sebagai berikut :

Tabel 2-3 Syarat pemeriksaan aspal keras

Jenis pemeriksaan	Penetrasi 40/50		Penetrasi 60/70		Penetrasi 80/10	
	min	max	min	max	Min	max
Penetrasi 25°C, 100 gr, 5 detik	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	100 mm
Titik lembek 5°C (<i>Ring and ball</i>)	51	63	48	58	46	54
Titik nyala (<i>cleaveland open cup</i>)	232°C	-	232°C	-	232°C	-
Kehilangan berat (<i>thick film oven test</i>)	-	0,4%	-	0,4%	-	0,4%
Kelarutan dalam CCl ₄	99%	-	99%	-	99%	-
Daktalitas	100 cm	-	100 cm	-	100 cm	-
Penetrasi setelah kehilangan berat	75%	-	75%	-	75%	-
Berat jenis 25°C	1 gr/cc	-	1 gr/cc	-	1 gr/cc	-

Sumber: AASTHO M 20-70 (2004)

○ *Liquid asphalt/cutback asphalt*/aspal cair

Aspal cair adalah aspal minyak yang pada suhu normal dan pada tekanan atmosfer berbentuk cair, terdiri dari aspal keras yang diencerkan dengan bahan pelarut, antara lain :

1. Jika dicairkan dengan benzene dinamakan *Rapid Curing* (RC)
2. Jika dicairkan dengan kerosene dinamakan *Medium Curing* (MC)
3. Jika dicairkan dengan diesel dinamakan *SlowCuring* (SC)

Berikut ini adalah persyaratan aspal cair :

- Kadar parafin tidak lebih dari 2%
- Tidak mengandung air dan jika dipakai tidak menunjukkan pemisahan/pengendapan atau penggumpalan.

Selain kedua jenis aspal minyak di atas, terdapat jenis aspal lain yang digunakan yaitu aspal emulsi.

Aspal Emulsi adalah aspal yang dilarutkan dalam air melalui proses teknologi tertentu, berwarna kehitaman dan encer

Emulsi kationik merupakan aspal emulsi yang partikel-partikel aspalnya bermuatan listrik positif, cara penguraian air dan aspal dengan proses reaksi, mempunyai variabilitas yang luas, baik kelekatan terhadap batuan asam dan dapat disimpan (stock). Aspal emulsi dibagi atas 3 jenis, yaitu :

1. Rapid setting Emulsions

Aspal emulsi ini mempunyai waktu setting yang singkat sehingga hanya cocok untuk pelaburan seperti Burtu, Burda, Buras, Penetrasi Makadam, Lapis Resap Pengikat (Prime Coat) atau Lapis Pengikat (Tack Coat).

2. Medium setting Emulsions

Aspal emulsi ini mempunyai waktu setting yang sedang sesuai untuk digunakan dalam campuran dengan agregat kasar.

3. Slow setting Emulsion

Aspal emulsi ini mempunyai waktu setting yang lambat sehingga memungkinkan untuk digunakan pada pencampuran dengan agregat halus yang tinggi atau agregat ber-gradasi menerus.

2.1.3 Teori Gradasi

- **Teori fraksi-fraksi**

Kelompok ukuran atau fraksi

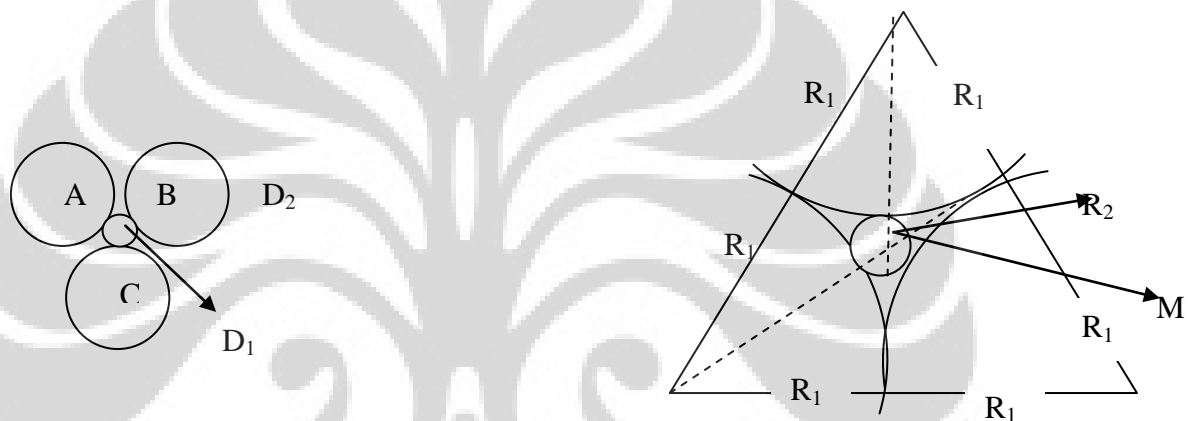
Bahan-bahan berbutir atau agregat, umumnya terdiri dari butiran-butiran (pecahan-pecahan) dengan berbagai macam ukuran mulai dari yang besar sampai

yang halus. Untuk memudahkan analisa butiran-butiran tersebut kita mengasumsikan bahwa bentuk dari setiap butiran agregat adalah bola-bola bulat sempurna yang terdiri dari berbagai macam diameter, kemudian bola-bola tersebut dibagi dalam kelompok-kelompok ukuran (size group) yang disebut fraksi (perhatikan skema berikut ini), I.R D.U Sudarsono 1984

- Bilangan Q

Merupakan perbandingan ukuran secara kuantitatif bisa ditulis sebagai berikut :

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{d_2}{d_3} = \frac{d_3}{d_4} = \dots = \frac{d_{n-1}}{d_n} = \text{konstan} = q$$



Gambar 2-4 Bilangan Q dan Perbandingan ukuran Jari-jari Gradasi

A,B, dan C adalah pusat bola-bola d_1 yang saling bersinggungan. M adalah pusat bola d_2 yang tepat bisa melewati rongga-ronga d_1

- Jumlah fraksi (n)

Bila suatu agregat mempunyai ukuran butir maksimum $d_1 = D$ dan ukuran minimum $d_{\min} = d_n$, maka jumlah fraksi dari agregat tersebut, maka rumusnya adalah sebagai berikut (buku rencana campuran aspal :

$$d_n = \frac{D}{q^{n-1}} \text{ atau } D = q^{n-1} d_n$$

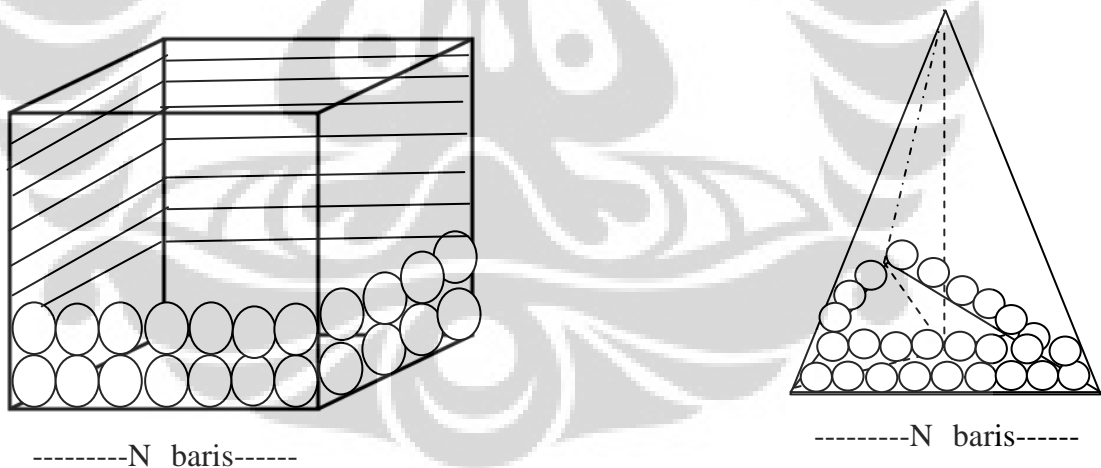
Biasanya d_n ditulis dengan d (d variabel)

$$n = 1 + \frac{\log D - \log d}{0,81}$$

- **Teori rongga –rongga (Voids Theorie)**

Merupakan teori yang menganalogikan agregat berada pada kondisi yang seragam dan disusun dengan susunan yang paling berongga dan susunan yang paling rapat

- Besarnya rongga-rongga pada susunan rongga bola paling berongga didapatkan bila bola-bola yang sama besarnya disusun sedemikian sehingga bila pusat bola-bola yang saling bersinggungan dihubungkan satu sama lain dengan garis-garis lurus, maka garis-garis ini akan membentuk rusuk-rusuk dari sebuah kubus dengan panjang rusuk sama dengan $2R$
- Susunan paking rapat didapat bila bola-bola yang sama besarnya tersebut disusun sedemikian sehingga bila pusat bola-bola yang saling bersinggungan dihubungkan satu sama lain dengan garis-garis lurus maka garis-garis ini akan membentuk rusuk-rusuk dari sebuah bidang empat beraturan dengan panjang $2R$



Gambar 2-5 Susunan paling berongga & susunan paling rapat

- **Teori luas permukaan butiran**

Pada konstruksi beton, baik beton aspal atau beton PC, bahan pengikat dari konstruksi tersebut disyaratkan harus menyelimuti secara rata dan penuh setiap

butir batuanya. Dengan demikian maka banyaknya bahan pengikat ini sangat dipengaruhi oleh jumlah luas permukaan butir-butir batuanya, sehingga seluk beluk tentang luas permukaan butir ini perlu diketahui

- **Teori kekasaran permukaan butir**

Kalau kita meneliti pecahan-pecahan batu maka tampak bahwa permukaan pecahan yang besar relatif lebih kasar bila dibandingkan dengan pecahan batu yang lebih kecil, apalagi bila dibandingkan dengan pecahan batu yang lebih halus. Oleh karena itu untuk menghitung banyaknya aspal yang diperlukan, perlu dimasukkan faktor kekerasan pada tiap-tiap fraksi, kita anggap bahwa faktor kekerasan pada fraksi-fraksi tersebut merupakan sebuah deret hitung sebagai berikut :

Fraksi ke	1	2	3	n-1	n
Faktor kekerasan	1	k	k ²	k ⁿ⁻²	k ⁿ⁻¹

- **Rumus Gradasi Fuller**

Pada Akhir abad ke 19 ROTHFUCH'S menyusun rumus empiris mengenai susunan butir atau gradasi untuk adukan beton. Kemudian pada abad ke-20 rumus tersebut disederhanakan oleh TALBOT yang kemudian terkenal dengan rumus TALBOT atau rumus FULLER, adapun rumus-rumus tersebut bentuknya adalah sebagai berikut :

a. RUMUS GRADASI ROTHFUCH'S

$$Y = \frac{100(d^n - do^n)}{(D^n - do^n)} \%$$

b. RUMUS GRADASI TALBOT/FULLER

$$Y = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n \%$$

Dimana

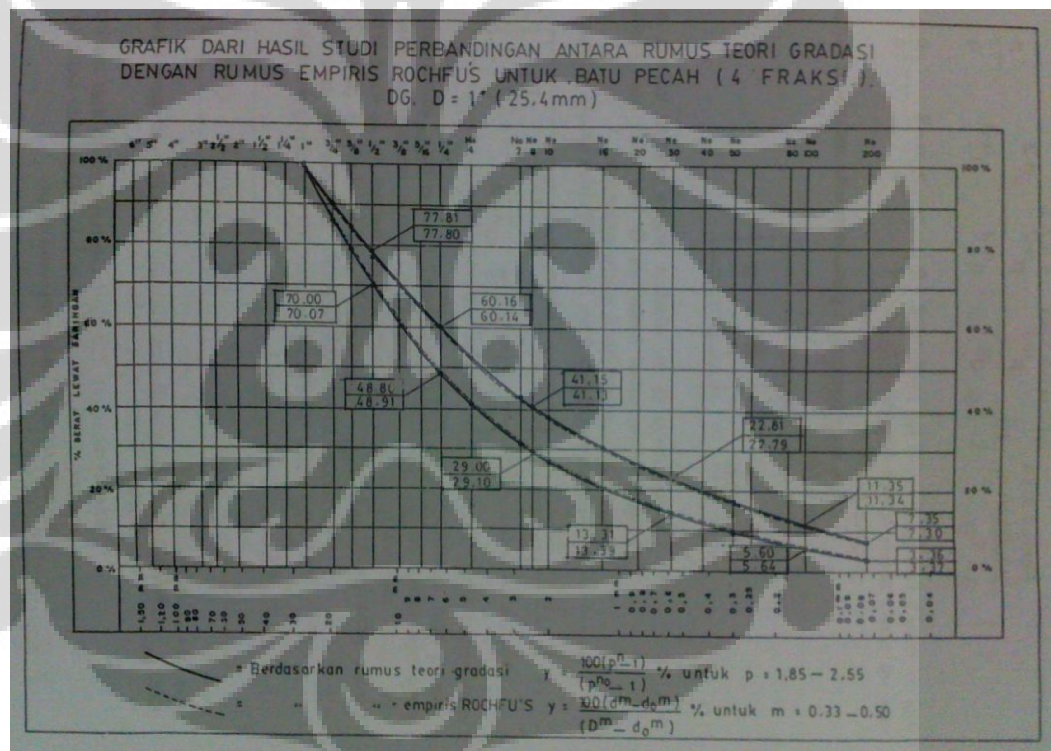
Y = Prosentase berat butiran yang lolos (bisa melewati) suatu saringan berukuran d .

D = ukuran lobang saringan yang ditinjau

D_0 = ukuran terkecil butir batuan yang dipergunakan (untuk rumus TALBOT/FULLER diambil $d_0=0$)

D = ukuran terbesar dari butir batuan yang dipergunakan

n = suatu parameter yang nilainya mempunyai batas toleransi antara $1/3$ (0,33) atau $1/2$ atau (0,5)



Gambar 2-6 Grafik dari hasil perbandingan antara rumus teori gradasi dengan rumus empiris ROCHFUS pada batu pecah

2.1.4 Sifat-sifat fisik Aspal

Sifat fisik aspal sangat berpengaruh terhadap perencanaan, produksi, dan kinerja campuran

beraspal antara lain adalah

1). Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang maka kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Hal ini menghasilkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan :

- Agregat dengan gradasi yang rapat (dense graded) yang akan memberikan rongga antar butiran VMA yang kecil dan menghasilkan stabilitas yang tinggi
- Agregat dengan permukaan yang kasar akan menghasilkan interlocking antar agregat yang baik
- Agregat berbentuk kubus;
- Aspal dengan penetrasi rendah, dan
- Aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir akan menghasilkan stabilitas yang baik.

Void in mineral aggregate (VMA) yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mudah lepas yang mengakibatkan lapis tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapis perkerasan menjadi rusak.

Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik (karena VMA kecil) dan juga menghasilkan rongga antar campuran (voids in mix = VIM) yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar yang disebut bleeding.

2). Durabilitas (Keawetan/Daya Tahan)

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah :

- ❖ VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).
- ❖ VMA besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya bleeding cukup besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.
- ❖ Film (selimut) aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya bleeding menjadi besar.

3). Fleksibilitas (Kelenturan)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan :

- Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
- Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
- Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.

4). Skid Resistance (Kekesatan)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan (basah) maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan. Tingginya nilai tahanan geser ini dipengaruhi oleh :

- Penggunaan agregat dengan permukaan kasar;
- Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi bleeding;
- Penggunaan agregat berbentuk kubus, dan
- Penggunaan agregat kasar yang cukup.

5). Fatigue Resistance (Ketahanan Kelelahan)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (rutting) dan retak. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

- VIM tinggi dan kadar aspal rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
- VMA dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

6). Workability (Kemudahan Pelaksanaan)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Workability ini dipengaruhi oleh :

- Gradasi agregat. Agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan di lapangan daripada agregat bergradasi lain.
- Temperatur campuran yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
- Kandungan bahan pengisi (filler) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit.

Aspal merupakan bahan yang termoplastis, artinya akan menjadi keras dan kental jika temperatur rendah dan menjadi cair (lunak) jika temperatur tinggi. Akibat perubahan temperatur ini viskositas aspal akan berubah seiring dengan perubahan elastisitas aspal tersebut. Oleh sebab itu, aspal juga disebut bahan yang bersifat viskoelastis. Kepekaan terhadap suhu perlu diketahui untuk dapat ditentukan suhu yang baik campuran aspal di campur dan dipadatkan (Leo Sentosa, 2010).

Pengerasan dan penuaan aspal disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (Penuaan jangka panjang dan jangka pendek). Dua faktor utama penuaan tersebut menyebabkan terjadinya pengerasan pada aspal dan akan meningkatkan kekakuan campuran beraspal sehingga akan mempengaruhi kinerja campuran beraspal. Peningkatan kekakuan tersebut akan meningkatkan ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi permanen dan kemampuan menyebarkan beban, tetapi kekakuan juga mengakibatkan campuran beraspal menjadi lebih getas sehingga akan cepat retak (Permana, Rezza dan Aschuri, Imam; 2009).

2.2 Perencanaan campuran aspal

Perancangan campuran (*mix design*) adalah prosedur kegiatan untuk menentukan proporsi (dalam batas-batas spesifikasi) material yang merupakan kompromi campuran supaya tercapai kinerja yang optimum. Perancangan campuran dengan metode Bina Marga dimulai dari kadar aspal efektif yang tetap sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pencampuran agregat yang tersedia di lokasi dapat divariasikan untuk dapat memenuhi syarat rongga udara, tebal film aspal, dan stabilitas aspal. Jenis-jenis campuran aspal dengan durabilitas tinggi yang dihasilkan dengan metode ini adalah HRS (*Hot Rolled Sheet*) kelas B untuk jalan dengan lalu-lintas tinggi, ATB (*Asphalt Treated Base*) dan ATBL (*Asphalt Treated Base Levelling*) sebagai lapis pondasi.

Prosedur perancangan campuran umumnya terdiri dari 6 (enam) tahapan dasar, yaitu :

- 1). Pemilihan agregat dan penentuan sifat-sifatnya harus sesuai dengan spesifikasi material yang mengacu pada standar dan spesifikasi Bina Marga (1989) dan SNI no.1737 - 1989 - F . Standar yang menjadi parameter perencanaan adalah:
 - Berat jenis agregat, yang akan digunakan dalam perhitungan sifat campuran.
 - Nilai absorpsi air dari agregat yang dapat digunakan sebagai indikator penentuan besarnya absorpsi aspal.
 - Sifat-sifat agregat yang umumnya harus dipenuhi untuk lapis perkerasan jalan.
 - Gradasi butir dari masing-masing kelompok agregat kasar, agregat medium, pasir dan abu batu yang biasanya digambarkan dalam amplop gradasi yang ditetapkan.
- 2). Pemilihan aspal pengikat. Pengujian Marshall tidak memiliki pilihan aspal pengikat pada umumnya dan tidak memiliki prosedur pemilihannya. Setiap entitas yang ditetapkan menggunakan metodenya sendiri dengan modifikasi untuk menentukan pengikat yang tepat dan, jika ada, beberapa modifikasi lainnya. Pemilihan pengikat dapat berdasarkan pengalaman sendiri, kinerja percobaan sebelumnya, atau melalui prosedur yang ditetapkan. Prosedur yang paling umum sekarang digunakan adalah berdasarkan sistem pengikat. Namun, sebelum diterapkannya sistem ini tidak ada standar yang diakui secara nasional untuk evaluasi pengikat dan seleksinya. Setelah pengikat dipilih, beberapa tes awal dijalankan untuk menentukan hubungan suhu-viskositas aspal pengikat tersebut.
- 3). Persiapan benda uji. Metode Marshall, seperti metode perencanaan campuran lainnya, menggunakan beberapa percobaan campuran agregat-aspal pengikat (biasanya 5 campuran dengan masing-masing 3 sampel untuk jumlah seluruhnya sebanyak 15 spesimen), masing-masing dengan kadar aspal pengikat yang berbeda. Kemudian, dengan mengevaluasi setiap

percobaan kinerja campuran, kadar aspal optimum aspal dapat dipilih. Agar konsep ini untuk bekerja, campuran percobaan harus berisi rentang kadar aspal baik di atas maupun di bawah kadar aspal optimum. Oleh karena itu, langkah pertama dalam persiapan sampel adalah perkiraan kadar aspal optimum. Kandungan dari hasil percobaan campuran aspal tersebut kemudian ditentukan dari perkiraan ini.

- Metode perencanaan campuran menggunakan metode pada PC-0201 - 1976, AASHTO T-245-82, ASTM D-1559-76 untuk memperkirakan kadar aspal optimum dan biasanya bergantung pada prosedur lokal atau pengalaman.

- Berdasarkan hasil estimasi kadar optimum aspal pengikat, biasanya disiapkan sampel sebesar 0,5 persen kenaikan berat campuran, dengan setidaknya dua contoh di atas perkiraan kadar aspal pengikat dan dua di bawah perkiraan kadar aspal pengikat.

- Setiap sampel kemudian dipanaskan sampai suhu pemadatanantisipasi dan dipadatkan dengan palu Marshall, sebuah perangkat yang memberi tekanan untuk sampel melalui kaki *tamper* . Terdapat beberapa palu yang biasa digunakan berupa palu otomatis dan beberapa lainnya dioperasikan manual dengan tangan. Parameter kunci dari pemadat (*compactor*) yaitu benda uji berbentuk silinder 10 cm dan tinggi 7,5 cm yang dipersiapkan di laboratorium dalam cetakan benda uji dengan menggunakan palu seberat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm) yang dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit.

- 4). Stabilitas Marshall (*Marshall Stability*) dan Uji Aliran (*Flow Test*). Stabilitas Marshall dan uji aliran menyediakan ukuran prediksi kinerja untuk metode perencanaan campuran Marshall. Bagian stabilitas dari pengujian mengukur beban maksimum yang diberikan pada spesimen uji pada tingkat pembebanan 50,8 mm / menit (2 inci / menit). Pada dasarnya, beban meningkat sampai mencapai maksimum proses pembebanan dihentikan dan beban maksimum dicatat. Selama pembebanan, sebuah *dial gauge* yang

terpasang dapat mengukur aliran plastik (*plastic flow*) spesimen sebagai akibat dari pembebanan. Nilai flow dicatat dalam 0,25 mm (0,01 inci) peningkatan pada saat beban maksimum yang sama dicatat.

Tabel 2-4: Kriteria Umum Perencanaan Marshall

Mix Criteria	Light Traffic ($< 10^4$ ESALs)		Medium Traffic ($10^4 - 10^6$ ESALs)		Heavy Traffic ($> 10^6$ ESALs)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Compaction (number of blows on each end of the sample)	35		50		75	
Stability (minimum)	2224 N (500 lbs.)		3336 N (750 lbs.)		6672 N (1500 lbs.)	
Flow (0.25 mm (0.01 inch))	8	20	8	18	8	16
Percent Air Voids	3	5	3	5	3	5

Sumber : Asphalt Institute, 1979

5). Analisa Kerapatan dan Rongga Udara. Semua metode perencanaan campuran menggunakan kerapatan dan rongga udara untuk menentukan sifat-sifat fisik dasar HMA. Terdapat dua pengukuran kerapatan yang berbeda yang banyak digunakan, yaitu :

1. Berat Jenis Curah/*Bulk specific gravity* (G_{mb}).
2. Berat Jenis Maksimum Teoritis/*Theoretical maximum specific gravity* (TMD, G_{mm}).

Kerapatan-kerapatan yang ada digunakan untuk menghitung parameter volume HMA. Pengukuran rongga pada umumnya dilambangkan sebagai berikut :

- *Air voids* (V_a), dapat dinamakan juga sebagai rongga pada campuran total/*voids in the total mix* (VTM)
- *Voids in the mineral aggregate* (VMA)
- *Voids filled with asphalt* (VFA)

Umumnya, nilai-nilai tersebut harus disesuaikan dengan kriteria lokal maupun negara.

Tabel 2-5: Kriteria Umum VMA Marshall Minimum

Nominal Maximum Particle Size		Minimum VMA (percent)
(mm)	(U.S.)	
63	2.5 inch	11
50	2.0 inch	11.5
37.5	1.5 inch	12
25.0	1.0 inch	13
19.0	0.75 inch	14
12.5	0.5 inch	15
9.5	0.375 inch	16
4.75	No. 4 sieve	18
2.36	No. 8 sieve	21
1.18	No. 16 sieve	23.5

Sumber : Asphalt Institute, 1979

- 6). Pemilihan Kadar Aspal Optimum. Karena fungsinya yaitu sebagai perekat dan pengisi, maka jumlah aspal yang digunakan dalam campuran harus tepat atau optimum. Salah satu cara yang dipakai adalah metode *Asphalt Institute*, yang didasarkan kepada hasil dari uji Marshall sehingga kondisi aspal optimum yang ditentukan adalah kadar aspal dalam menahan beban hingga terjadi kelelahan plastis. Selain itu, sebelumnya juga telah dihitung persentase rongga dalam campuran maupun pada agregat karena hal tersebut juga diperhitungkan dalam menentukan KAO. Sebagai ilustrasi penentuan KAO pada suatu campuran sebagai berikut (plot grafik).
- Kadar aspal vs. kerapatan. Kerapatan umumnya akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal, mencapai titik maksimum, lalu menurun. Kerapatan puncak biasanya terjadi pada kadar aspal yang lebih tinggi dari stabilitas puncak.
 - Kadar aspal vs. Stabilitas Marshall. aspal yang memiliki stabilitas optimum akan ditunjukkan pada grafik marshall yang dihasilkan, akan terlihat kadar aspalnya.

2.2.1 Sifat dan karakteristik campuran aspal

Campuran aspal memiliki sifat lentur (*flexure*) karena aspal sendiri memiliki sifat elastis. Akan tetapi terdapat kondisi di mana campuran aspal menjadi bersifat plastis, yaitu pada saat campuran aspal sudah mencapai keadaan *fatigue* akibat dari sudah mencapai batas ketahanan maksimum atau stabilitasnya terhadap beban rencana, atau sudah mencapai kepadatan (*density*) yang maksimum namun masih menerima beban akibatnya campuran mengalami *failure* atau deformasi permanen berupa retakan. Ketahanan (*durability*) dari campuran sendiri dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, di antaranya :

a) Proporsi komposisi campuran antara agregat dan aspal

Komposisi campuran harus ideal, tidak terlalu banyak aspal atau terlalu sedikit. Jika terlalu banyak aspal, maka lapisan selimut aspal atau film yang menyelimuti permukaan agregat menjadi terlalu tebal akibatnya aspal dalam campuran mudah meleleh (*bleeding*). Tetapi jika aspal terlalu sedikit, maka lapisan selimut aspal menjadi lebih tipis akibatnya daya ikat antar agregat menjadi lemah dan agregat dalam campuran rentan tercerai berai.

b) Proses pencampuran, penghamparan, dan pepadatan

Syarat yang paling berpengaruh dalam ketiga tahap tersebut adalah faktor temperatur. Seperti kita ketahui bahwa aspal memiliki sifat elastis-plastis, semakin rendah suhu aspal maka struktur aspal menjadi semakin bersifat plastis menjadi padat dan sebaliknya jika semakin tinggi suhu aspal maka semakin bersifat elastis menjadi cair. Maka dalam ketiga tahapan tersebut harus memperhatikan faktor temperatur. Dalam proses pencampuran dan penghamparan jika suhu aspal rendah dapat menyebabkan penyebaran aspal di dalam campuran tidak merata, dan kemudahan pengerjaan (*workability*) menjadi semakin sulit, begitu juga sebaliknya. Untuk tahapan pepadatan, jika suhu campuran lebih rendah dari syarat yang telah ditetapkan maka campuran menjadi lebih cepat kaku atau mengeras, akibatnya proses pepadatan menjadi lebih sulit dan menyebabkan

banyaknya rongga atau *void* di dalam campuran. Terlalu banyak *void* menyebabkan campuran menjadi lebih rapuh.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 RENCANA PENELITIAN

Semua pengujian yang akan dilakukan untuk membuktikan hipotesa adanya pengaruh variasi komposisi dan ragam gradasi terhadap campuran aspal beton (LASTON), dilakukan di Laboratorium Bahan Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian material standar (agregat dan aspal) dan pengujian marshall yang akan digunakan untuk mendapatkan kadar aspal optimum yang akan di butuhkan untuk variasi komposisi gradasi. Serta dilakukan pengujian untuk menentukan pengaruh dari variasi gradasi terhadap nilai stabilitas aspal dengan nilai tumbukan dan temperatur yang konstan.

Pemeriksaan material dilakukan agar material memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Semua pengujian pemeriksaan material sesuai dengan standar RSNI 2002, yaotu antara lain :

1. Pemeriksaan penetrasi aspal
2. Pemeriksaan titik lembek
3. Pemeriksaan titik nyala
4. Pemeriksaan titik bakar
5. Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal
6. Pemeriksaan kelarutan bitumen
7. Pemeriksan duktilitas bahan-bahan bitumen
8. Pemeriksaan berat jenis bitumen.

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

- Berat jenis dan penyerapan agregat kasar
- Berat jenis dan penyerapan agregat halus

Setelah pemeriksaan terhadap material selesai dilakukan, maka data-data hasil pengujian yang diperoleh akan dibandingkan, apakah sesuai atau tidak dengan spesifikasi yang di butuhkan, jika ternyata tidak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan, maka akan dilakukan pengujian ulang atau penggunaan material dari sumber yang lain. Pengujian dikatakan selesai apabila material yang di uji telah memenuhi spesifikasi.

Jika material telah memenuhi syarat spesifikasi, maka akan dilanjutkan dengan pembuatan benda uji untuk mencari kadar aspal optimum untuk pengujian selanjutnya. Penentuan kadar aspal optimum menggunakan 4 variasi kadar aspal, yaitu 5%, 5.5%, 6%, 6.5%. Kadar aspal optimum didapatkan dengan melakukan uji marshall. Setelah didapat kadar aspal optimum, maka dibuatlah sampel untuk pengujian variasi gradasi dan komposisi agregat dengan menggunakan kadar aspal optimum.

3.2 Tahapan percobaan

3.2.1 Perumusan sampel percobaan

Variasi gradasi dan komposisi agregat yang dipakai adalah agregat dengan gradasi

- Agregat bergradasi senjang
- Agregat bergradasi menerus

Sedangkan jumlah perincian jumlah sampel yang dibutuhkan selama penelitian adalah sebagai berikut :

- i) Untuk mencari kadar aspal optimum untuk gradasi senjang dan menerus
- | | |
|----------------------|------------|
| (1) Kadar aspal 5% | : 3 sampel |
| (2) Kadar aspal 5,5% | : 3 sampel |
| (3) Kadar aspal 6% | : 3 sampel |

(4) Kadar aspal 6,5% : 3 sampel

Subtotal sampel untuk mencari kadar aspal optimum : 24 sampel

ii) Pengujian variasi gradasi dan komposisi agregat

(1) Agregat bergradasi senjang dgn temperatur 90^0 , 100^0 , 110^0 , 120^0 diuji dengan 50 tumbukan : 4 X @3 sampel = 12 sample

(2) Agregat bergradasi menerus dengan temperatur 90^0 , 100^0 , 110^0 , 120^0 duji dengan 50 tumbukan : 4 X @3 sampel = 12 sample

(3) Agregat bergradasi senjang dengan temperatur 90^0 , 100^0 , 110^0 , 120^0 duji dengan 60 tumbukan : 4 X @3 sampel = 12 sample

(4) Agregat bergradasi menerus dengan temperatur 90^0 , 100^0 , 110^0 , 120^0 duji dengan 60 tumbukan : 4 X @3 sampel = 12 sample

(5) Agregat bergradasi senjang dengan temperatur 90^0 , 100^0 , 110^0 , 120^0 duji dengan 75 tumbukan : 4 X @3 sampel = 12 sample

(6) Agregat bergradasi menerus dengan temperatur 90^0 , 100^0 , 110^0 , 120^0 duji dengan 75 tumbukan : 4 X @3 sampel = 12 sample

(7) Agregat bergradasi senjang dengan temperatur 90^0 , 100^0 , 110^0 , 120^0 duji dengan 90 tumbukan : 4 X @3 sampel = 12 sample

(8) Agregat bergradasi menerus dengan temperatur 90^0 , 100^0 , 110^0 , 120^0 duji dengan 90 tumbukan : 4 X @3 sampel = 12 sample

Subtotal sampel pengujian variasi periode pembebanan : 96 sampel

Total sampel yang digunakan untuk seluruh pengujian : 120 sampel

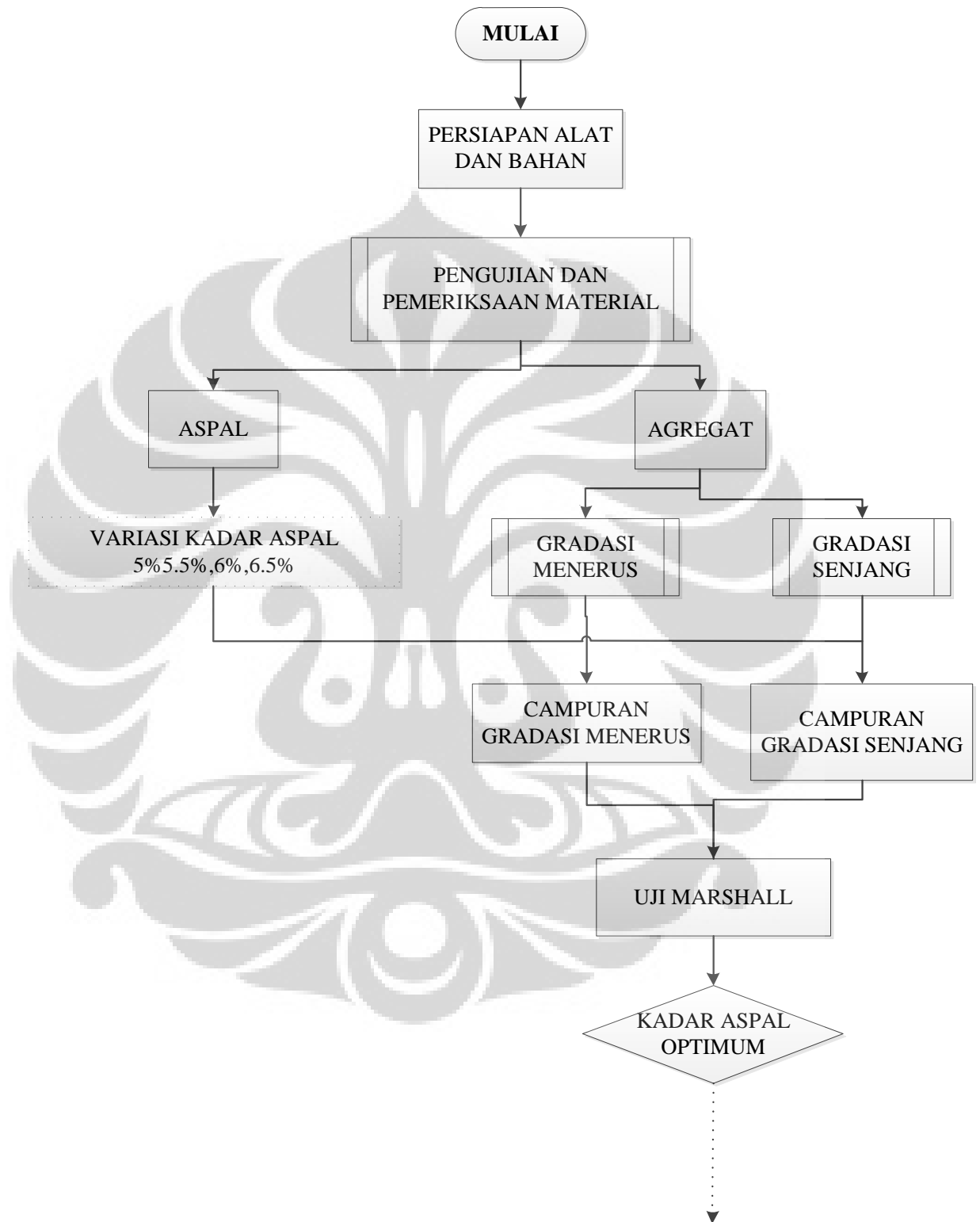
Tabel 3.1. Jumlah seluruh benda uji yang dibutuhkan

Tumbukan (kali) Suhu (°C)	Campuran Gradasi				Campuran HMA Gradasi			
	50	60	75	90	50	60	75	90
90	3	3	3	3	3	3	3	3
100	3	3	3	3	3	3	3	3
110	3	3	3	3	3	3	3	3
120	3	3	3	3	3	3	3	3
Jumlah	12	12	12	12	12	12	12	12

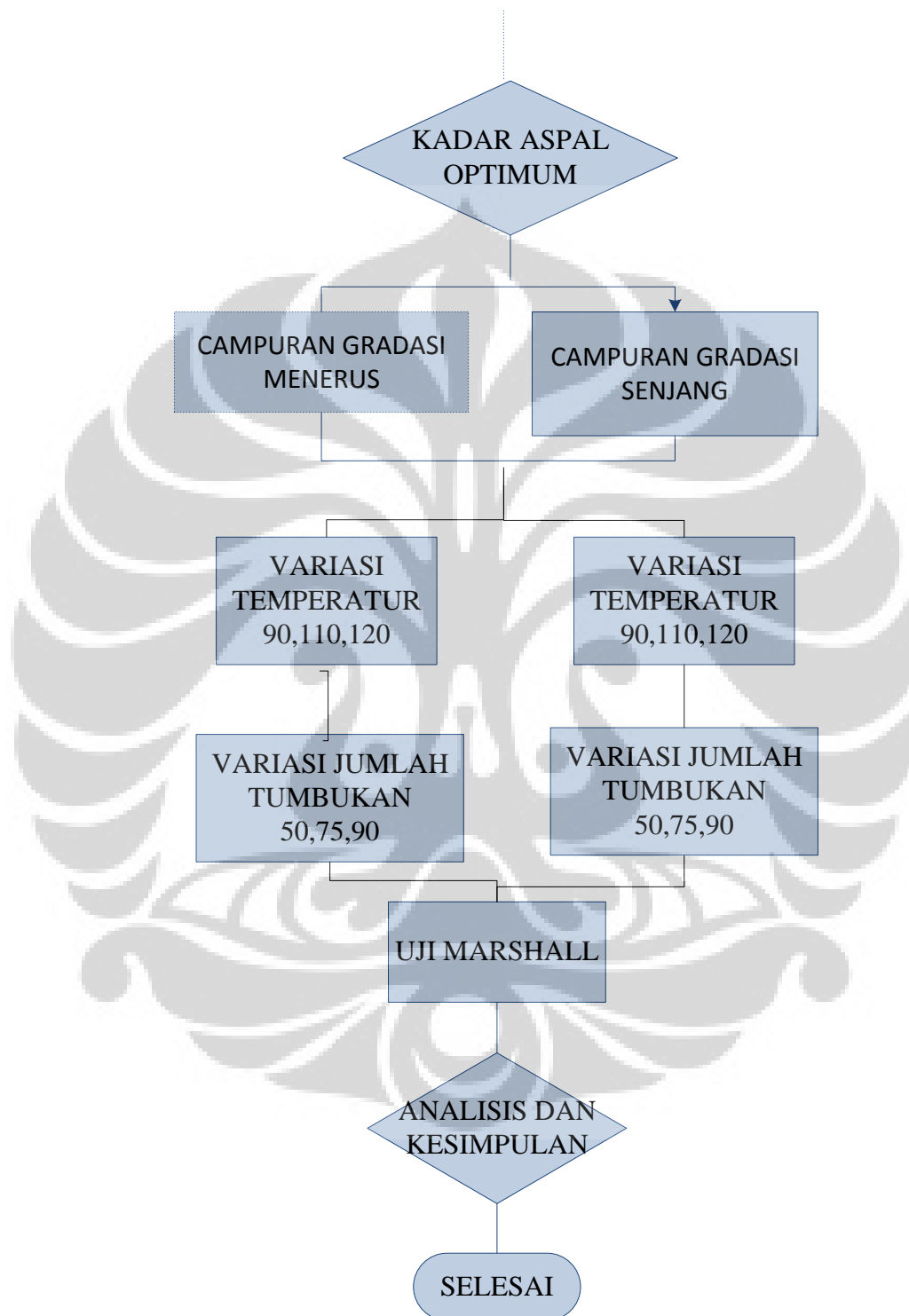
Metode Penelitian	Jumlah sampel yang dibutuhkan
Kadar aspal optimum	24 buah
Penumbukan dengan variasi jumlah tumbukan, temperatur, dan gradasi	96 buah
Jumlah total	120 buah

3.2.2 BAGAN ALIR

Tahap 1 : perencanaan benda uji, variasi gradasi



Tahap II : setelah mendapatkan kadar aspal optimum, maka dilakukan variasi temperatur dan jumlah tumbukan



3.2.3 Spesifikasi bahan baku penelitian

Berikut ini adalah rincian mengenai spesifikasi bahan baku yang digunakan selama penelitian :

a) Aspal

Penetrasi : 60/70

Merk : Aspal Pertamina

b) Agregat halus

Tipe : Abu batu

Ukuran : 0,075 mm – 4,75 mm

Berat Jenis : minimum 2500 kg/m³

c) Agregat kasar

Tipe : Batu pecah (*split*)

Ukuran : maksimum 20 mm

Berat Jenis : minimum 2500 kg/m³

3.2.4 Standar pengujian material

Untuk membuat rencana campuran, maka perlu kiranya ada pengujian-pengujian yang dilakukan untuk memeriksa kelayakan dari material yang akan digunakan. Pengujian ini ditujukan kepada agregat halus, agregat kasar, pengujian terhadap material aspal, serta pengujian terhadap aspal keras/ laston. Apabila pengujian ini memenuhi syarat, maka akan dilakukan perancangan dan pembuatan benda uji. Hasil pengujian akan dilampirkan pada lampiran.

- **Pengujian pemeriksaan untuk aspal**

- Pemeriksaan penetrasi aspal

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

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

- Pemeriksaan titik lembek aspal

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

Tujuan : Menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30°C – 200°C.

- Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar

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

a) Titik nyala adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat pada suatu titik di permukaan aspal.

b) Titik bakar adalah suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada suatu titik di atas permukaan aspal.

Tujuan : Menentukan titik nyala dan titik bakar dari aspal

- Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal

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

Tujuan : Menentukan kehilangan berat minyak dan aspal

- Pemeriksaan kelarutan aspal dalam Karbon Tetraklorida (CCl₄)

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

Tujuan : menentukan kadar bitumen yang larut dalam Karbon Tetra

D = berat kertas penyaring setelah terkena larutan

(gr)

- Pemeriksaan daktilitas aspal

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

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

- Pemeriksaan berat jenis bitumen (aspal)

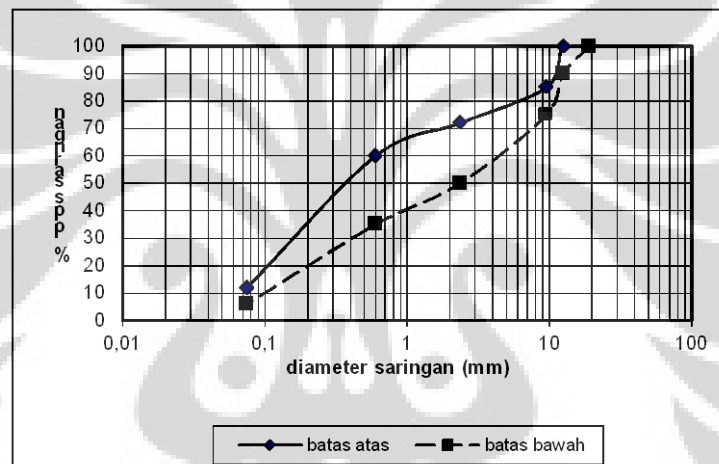
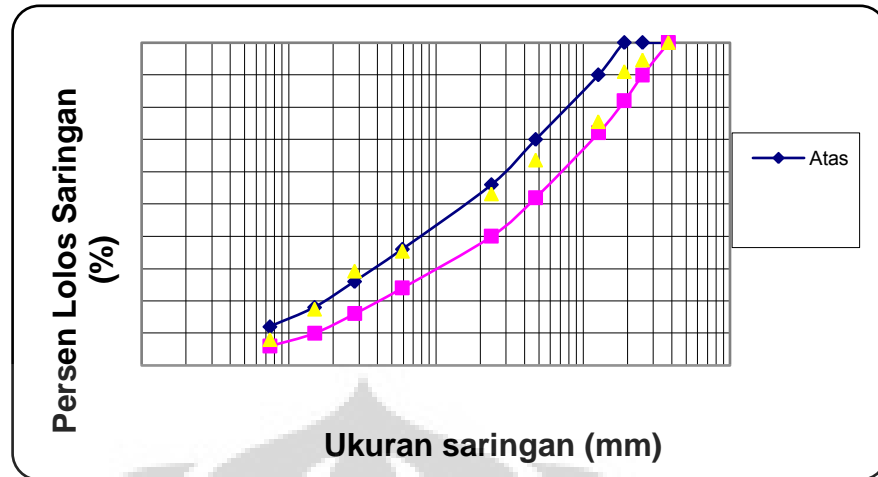
(PA-0307-76, AASHTO T-228-79, ASTM D-70-03)

Tujuan : Menentukan berat jenis bitumen keras dan ter

- **Pengujian pemeriksaan untuk agregat**
 - Analisa saringan agregat halus dan kasar
(PB-0201-76, AASHTO T-27-82, ASTM D-136-04)
Tujuan : Menentukan distribusi ukuran butiran (gradasi) agregat halus dan kasar.
 - Berat jenis dan penyerapan agregat kasar
(PB-0202-76, AASHTO T-85-81, ASTM D-127-04)
Tujuan : Menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*), dan penyerapan dari agregat halus.
 $B_a = \text{berat benda uji SSD di dalam air (gr)}$
 - Berat jenis dan penyerapan agregat halus
(PB-0203-76, AASHTO T-84-81, ASTM D-128-04)
Tujuan : Menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*), dan penyerapan dari agregat halus.

3.3 Perancangan dan pembuatan sampel uji

Salah satu tujuan utama dalam penelitian ini adalah mengkaji pengaruh variasi gradasi dan komposisi agregat pada proses pemadatan campuran Laston, yang menggunakan aspal dengan penetrasi 60/70. Dalam pelaksanaan penelitian digunakan dua variasi gradasi yaitu gradasi menerus dan senjang, selanjutnya setelah dilakukan variasi gradasi, maka akan diperoleh aspal optimum yang kemudian akan di uji menggunakan variasi jumlah tumbukan dan variasi temperatur.



Gambar 3.1 gradasi menerus (atas), gradasi senjang (bawah)

Selanjutnya dalam proses pemadatan campuran aspal, normalnya temperatur campuran akan turun secara bertahap karena pengaruh temperatur di luar cetakan campuran yang sedang dipadatkan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini diperlukan suatu alat yang mampu mengatur suhu campuran saat pemadatan dan menjaga suhu campuran tersebut dalam rentang waktu yang ditentukan tergantung dari jumlah tumbukan yang dilakukan.

Peralatan tambahan yang dibutuhkan dalam modifikasi proses pemadatan campuran aspal beton adalah sebagai berikut.

1). Band Heater



Gambar 3.2. Band Heater

Sesuai dengan namanya, elemen pemanas listrik ini - yang lebih dikenal dengan “electric heating elements” atau “element heaters” atau “heating elements” - ini berbentuk sabuk yang biasanya diaplikasikan untuk memanaskan benda padat yang berbentuk tabung. Alat ini memanfaatkan mika kolektor sebagai isolatornya yang dibungkus dengan plat stainless steel. *Band heater* yang digunakan untuk memanaskan cetakan benda uji saat pemadatan berdiameter 11,1 cm dan tinggi 6 cm.

2). Thermostat



Gambar 3.3. Thermostat

Thermostat adalah suatu instrumen yang mengatur satu atau lebih sumber pemanasan dan pendinginan secara langsung atau tidak langsung untuk mempertahankan temperatur yang diinginkan. Agar thermostat dapat berfungsi dalam pengaturan temperatur, thermostat tersebut harus memiliki alat pendeteksi temperatur dan sebuah *transducer*. Alat pendeteksi temperatur tersebut mengukur perubahan pada temperatur dan menghasilkan efek yang diinginkan pada *transducer*. *Transducer* berfungsi mengubah efek yang dihasilkan dari alat pendeteksi menjadi pengendalian temperatur yang sesuai atau dengan kata lain *transducer* merupakan alat yang mempengaruhi temperatur. Thermostat yang digunakan dalam penelitian memiliki suhu paling tinggi hingga 300⁰C.

3). Jangka Sorong



Gambar 3.4. Jangka Sorong

Jangka sorong adalah suatu alat ukur panjang yang dapat digunakan untuk mengukur panjang suatu benda dengan ketelitian hingga 0,01 mm. Selain dapat mengukur benda dari sisi luar dengan cara diapit, jangka sorong juga dapat digunakan untuk mengukur sisi dalam suatu benda (biasanya berupa lubang) dengan cara diulur. Bagian pemegang jangka sorong biasanya memiliki bagian pengukur juga yang dapat ditarik keluar dari sisi pemegang untuk mengukur kedalaman celah/lubang dengan cara menancapkan / menusukkan bagian pengukur. Metode pengukuran yang disebutkan terakhir yang digunakan dalam pengukuran nilai deformasi campuran aspal beton akibat proses pematatan. Sedangkan untuk ketelitian jangka sorong yang digunakan adalah 0,01 mm.

Setelah Prosedur pelaksanaan uji variasi gradasi dan komposisi agregat pada proses pematatan campuran aspal beton selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan variasi gradasi dan variasi temperatur, langkah-langkahnya, yaitu :

- a. Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama.
- b. Cetakan benda uji diselimuti *band heater* yang telah dihubungkan ke listrik dan ke thermostat, panaskan sampai suhu yang diinginkan sesuai dengan rentang 90⁰C-120⁰C.
- c. Setelah temperatur cetakan benda uji sudah diatur dan dijaga besarnya dengan thermostat, letakkan selebar kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting menurut ukuran cetakan kedalam dasar cetakan, kemudian masukkan seluruh campuran kedalam cetakan dan aduklah dengan sendok semen 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali dibagian dalam hingga temperatur campuran sudah sama dengan temperatur dari *band heater*.
- d. Letakkan cetakan diatas landasan pematat, dalam pemegang cetakan. Lakukan dengan tinggi jatuh 45 cm (18"), selama pemadatan tahanlah agar sumbu palu pematat selalu tegak lurus pada cetakan. Jumlah tumbukan yang dilakukan disesuaikan dengan variasi jumlah tumbukan yang akan diteliti dalam percobaan ini, yaitu 2 x 50, 2 x 60, 2 x 75, dan 2 x 90 kali tumbukan.
- e. Pada setiap 5 kali tumbukan, cetakan benda uji diangkat dan diukur nilai deformasinya dengan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,01 mm pada 3 titik di atas permukaan campuran untuk dihitung deformasi rata-rata yang terjadi.

3.4 Pengujian benda uji

Pada tahap pengujian benda uji, dilakukan pengujian terhadap sampel aspal yang sudah ditempatkan di dalam mold. Pengujian dilakukan dengan variasi tumbukan dan suhu untuk mendapatkan sifat dan karekteristik aspal pengujian dilakukan dengan menggunakan alat marshall, dilakukan pengukuran deformasi yang terjadi pada tiap sample.

3.5 Analisis hasil pengujian

Setelah dilakukan pengujian diperoleh data-data hasil penelitian yang meliputi deformasi yang terjadi dan grafik satabilitas berdasarkan uji marshall. Dari grafik ini dilakukan analisis terhadap perubahan karekteristik yang terjadi.



BAB IV

DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

4.1 Pemeriksaan Material Aspal dan Agregat

4.1.1 Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal SHELL dengan penetrasi 60/70, pengujian dilakukan untuk mendapatkan dan menganalisa apakah aspal yang di uji sesuai dengan spek rencana, hasil pengujian ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4-1 Hasil pemeriksaan Aspal



Jenis Pemeriksaan	Standar	Minimum	Maksimum	Hasil Percobaan	Satuan	Status
Aspal Shell penetrasi 60-70						
Penetrasi Aspal 25 ⁰ C, 100 gram 5 detik	PA-0301-76, AASHTO T-49-80, ASTM D- 5-97	60	70	62	0,1 mm	√
Titik Lembek aspal 5 ⁰ C	PA-0302-76, AASHTO T-53 81, ASTM D-36-95	48	58	52,6	Derajat celsius	√
Titik nyala dan titik bakar aspal	PA-0303-76, AASHTO T-48-81, ASTM D- 92-02	232	-	332 dan 345	Derajat Celsius	√
Kehilangan berat aspal	PA-0304-76, AASHTO T-47-82 ASTM D-6-95	-	0,4	0,169	% Berat	√
Kelarutan dalam CCl4	PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-97	99	-	99,75	% Berat	√
Daktilitas	PA-0306-76, AASHTO T-51-81, ASTM D-113-79	100	-	> 100	cm	√
Penetrasi setelah kehilangan berat	PA-0301-76, AASHTO T-49-80, ASTM	75	-	84,84	% Semula	√

	D-5-97					
Berat jenis bitumen 25 ⁰ C	PA-0307-76, AASHTO T-228-79, ASTM D-70-03	1	-	10.325	gr/cc	√

4.1.2 Pengujian Agregat

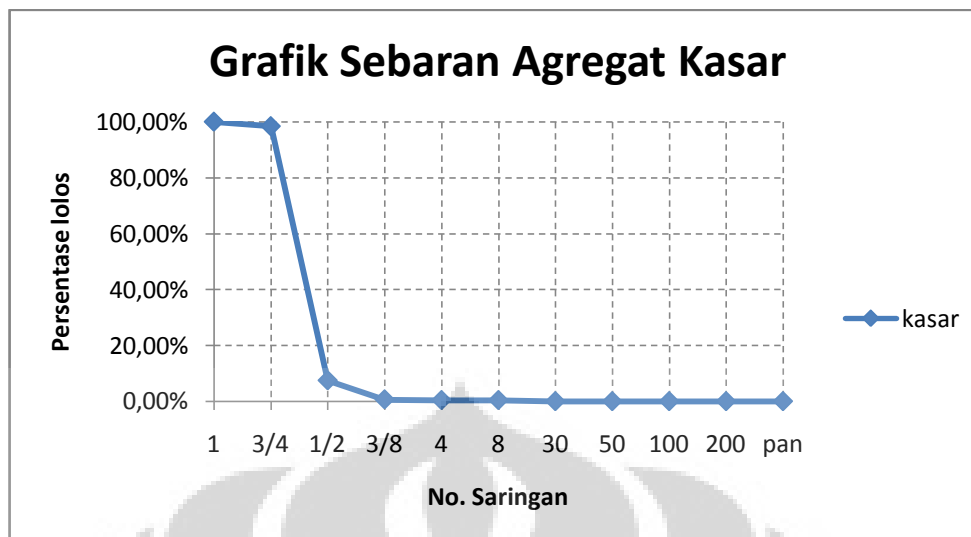
Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat yang berasal dari Asphalt Mixing Plant PT. Hutama Prima, agregat berupa pasir Rumpin yang berasal dari gunung Sindur. Agregat dibedakan menjadi agregat kasar, medium, dan halus. Pengujian dilakukan untuk memeriksa apakah agregat yang ingin digunakan speknya sudah sesuai dengan agregat yang akan digunakan dalam percobaan, pengujian yang dilakukan antara lain adalah :

- **Analisa saringan agregat kasar**

Bahan uji dibuat berdasarkan spek gradasi IV menurut SNI 1737-1989-F, dengan berat total sampe 1998 gram, susunan saringan dibuat berdasarkan ukuran maksimum pada spek gradasi IV pada tabel tabel 4-2, Jenis saringan yang digunakan pada percobaan ini adalah saringan no. ¾, ½, 3/8, 4, dan 8. hasilnya seperti pada tabel 4-2 dan hasil sebaran grafiknya dapat dilihat pada grafik 4-1

Tabel 4-2: Persentase lolos dan tertahan agregat Kasar

Saringan No	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lewat
¾	19,1	32	1,60	98,40
1/2	12,7	1817	90,94	7,46
3/8	9,52	136	6,81	0,65
4	4,76	5	0,25	0,40
8	2,38	0	0,00	0,40
pan		8	0,40	0,00
		1998	100,00	



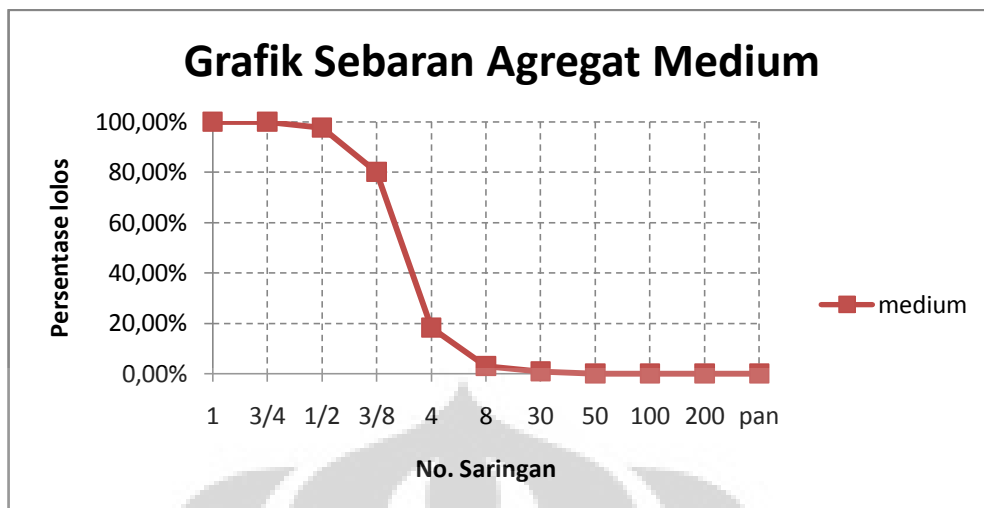
Gambar 4-1: Grafik Sebaran agregat Kasar

- **Analisa saringan agregat medium**

Bahan uji dibuat berdasarkan spek gradasi IV menurut SNI 1737-1989-F, dengan berat total sampe 2005 gram, susunan saringan dibuat berdasarkan ukuran maksimum pada spek gradasi IV pada tabel tabel 4-2. Jenis saringan yang digunakan pada percobaan ini adalah saringan no. 1/2, 3/8, 4, 8, dan 30. Persentase lolosnya dapat dilihat pada tabel 4-3 dan sebarannya dapat dilihat pada grafik 4-2

Tabel 4-3 persentase lolos dan tertahan agregat medium

Saringan No	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lewat
1/2	12,7	47	2,34	97,66
3/8	9,52	351	17,51	80,15
4	4,76	1241	61,90	18,25
8	2,38	308	15,36	2,89
30	0,59	42	2,09	0,80
pan		16	0,80	
		2005	100,00	



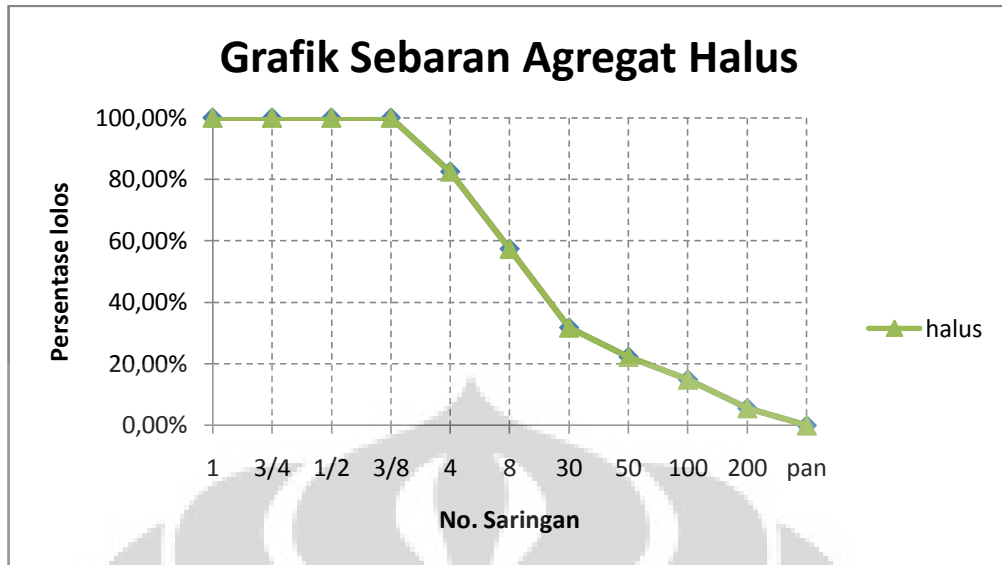
Gambar4-2: Grafik sebaran agregat medium

- **Analisa saringan agregat halus**

Bahan uji dibuat berdasarkan spek gradasi IV menurut SNI 1737-1989-F, dengan berat total sampe 2005 gram, susunan saringan dibuat berdasarkan ukuran maksimum pada spek gradasi IV pada tabel tabel 4-2. Jenis saringan yang digunakan pada percobaan ini adalah saringan no. 4, 8, 30, 50, 100, dan 200. Persentase lolosnya dapat dilihat pada tabel 4-4 dan grafiknya sebaran agregatnya dapat dilihat pada grafik 4-3

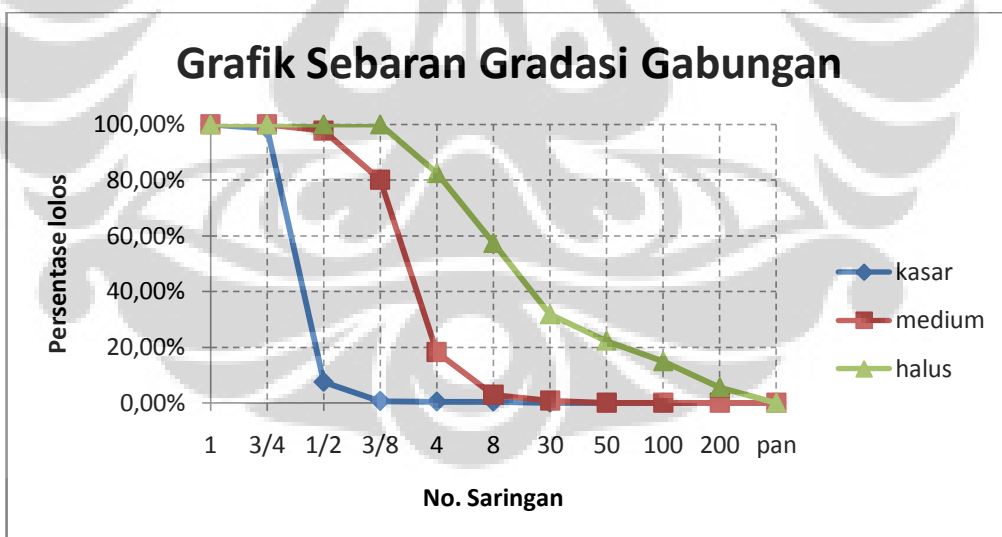
Tabel 4-4 : Persentase lolos dan tertahan agregat Halus

Saringan No	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lewat
4	4,76	175	17,50	82,50
8	2,38	251	25,10	57,40
30	0,59	256	25,60	31,80
50	0,27	95	9,50	22,30
100	0,149	74	7,40	14,90
200	0,074	93	9,30	5,60
pan		56	5,60	0,00
		1000	100,00	



Gambar 4-3: Grafik sebaran agregat Halus

Sehingga persentase lolos agregat kasar, medium dan halus dapat dilihat dalam sebaran grafik gabungan pada grafik 4-4



Gambar 4-4: Grafik sebaran gradasi gabungan

Pada saringan no.200, persentase agregat halus tertahan lebih rendah dari *range* spesifikasi campuran laston yang dibutuhkan. Oleh karena itu, komposisi

campuran ditambah dengan bahan pengisi (*filler*). *Filler* yang digunakan adalah semen Portland. Dengan penambahan filler sebesar 2%.

- **Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan medium**

Tabel 4-5: Hasil pemeriksaan agregat

Jenis Pemeriksaan	Minimum	Maksimum	Hasil Percobaan	Satuan	Status
Kasar					
Berat jenis curah (bulk ¹)	2,5	-	2,5025	gr/cm ³	✓
Penyerapan	-	3	1,32	%	✓
Medium					
Berat jenis curah (bulk)	2,5	-	2,50376	gr/cm ³	✓
Penyerapan	-	3	1,84	%	✓
Halus					
Berat jenis curah (bulk)	2,5	-	2,619	gr/cm ³	✓
Penyerapan	-	3	1,0101	%	✓

4.2 Rencana campuran aspal untuk mencari kadar aspal optimum

Sebelum ditentukan besar kadar aspal optimum yang akan digunakan pada penelitian ini, dilakukan pemilihan spek gradasi yang akan digunakan, untuk gradasi menerus, Spek yang digunakan adalah spek gradasi IV menurut SNI 1737-1989-F, hal ini dilakukan karena spek tersebut umum digunakan pada lalu lintas berat. Untuk jenis gradasi senjang, spek yang digunakan adalah HRS-WC berdasarkan SPESIFIKASI UMUM BIDANG JALAN DAN JEMBATAN DIVISI 1 UMUM, Desember 2007

4.2.1 Analisa gradasi menerus

Spesifikasi yang digunakan adalah komposisi agregat Spek IV, yang umum digunakan pada lalu lintas berat, ditunjukkan dalam tabel 4-6 berikut :

Tabel 4-6 : Spesifikasi Gradasi Binamarga

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	25-25	40-65	50-75	40-50	20-40	40-65	40-65	40-65
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	-	80-100	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	65-85	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	46-65	36-60	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	25-38	28-40	20-35	13-28	15-30
no. 50 (0.27 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	12-30	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

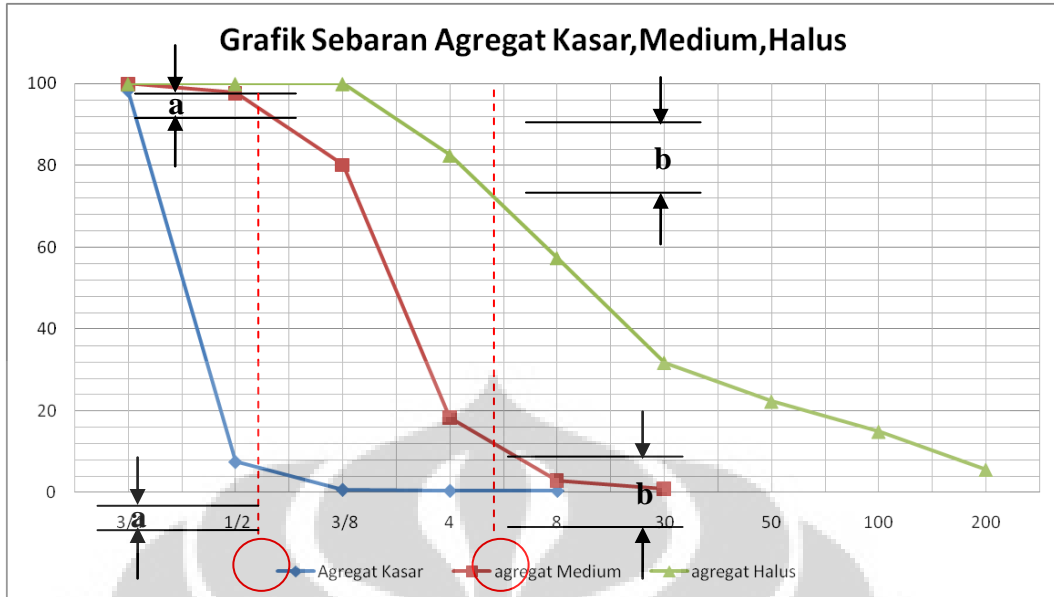
Sumber : Bina Marga (1989), SNI No. 1737 - 1989 - F

Dengan melakukan analisa saringan dari material agregat kasar, medium dan halus, maka didapatkan data sebaran gradasi untuk tiap agregat seperti pada tabel 4-7 :

Tabel 4-7 : Sebaran Persentase agregat kasar, Medium, Halus pada Spek IV

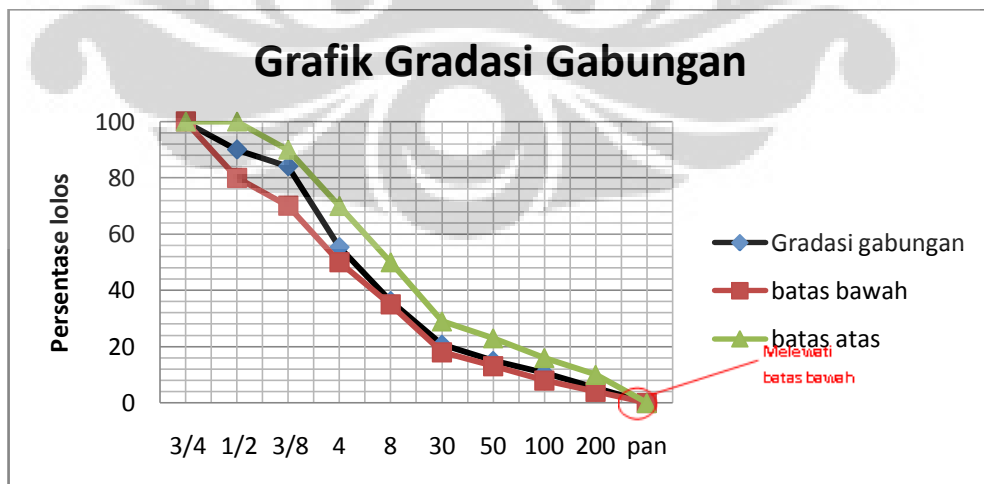
Saringan No.	Agregat Kasar		Agregat Medium		Agregat Halus		Total	Spek IV
	100%	10	100%	30	100%	60		
3/4	98,40	9,83984	100	30	100	60	99,83983984	100
1/2	7,46	0,745746	97,66	29,29676	100	60	90,04250385	80 - 100
3/8	0,65	0,065065	80,15	24,04489	100	60	84,10995285	70 - 90
4	0,40	0,04004	18,25	5,476309	82,50	49,5	55,01634927	50 - 70
8	0,40	0,04004	2,89	0,86783	57,40	34,44	35,34787046	35 - 50
30			0,80	0,239401	31,80	19,08	19,3194015	18 - 29
50					22,30	13,38	13,38	13 - 23
100					14,90	8,94	8,94	8 - 16
200					5,60	3,36	3,36	4 - 10

Dari data-data yang terdapat pada tabel 4-7 diatas, kemudian di plot ke dalam satu grafik sebaran gradasi agregat sehingga bisa di dapat persentase masing-masing agregat terhadap total campuran, seperti ditunjukkan pada grafik 4-5.



Gambar 4-5: Grafik Sebaran Agregat Kasar, Medium, Halus

Dalam menentukan proporsi masing-masing agregat dilakukan dengan cara trial dan error, yaitu dengan perpotongan 2 grafis, sehingga didapatkan proporsi sebesar 10 % untuk komponen agregat kasar, 30% untuk agregat medium dan 60 % untuk agregat halus. Tetapi pada saat dilakukan penjumlahan proporsi agregat, pada saringan no.200 jumlah persentase lolos yang sebesar 3.36% tidak memenuhi standar Spek 4 gradasi menerus yaitu berada dalam rentang 4-10 %, sebagaimana ditunjukkan dalam grafik 4-6 diibawah ini.



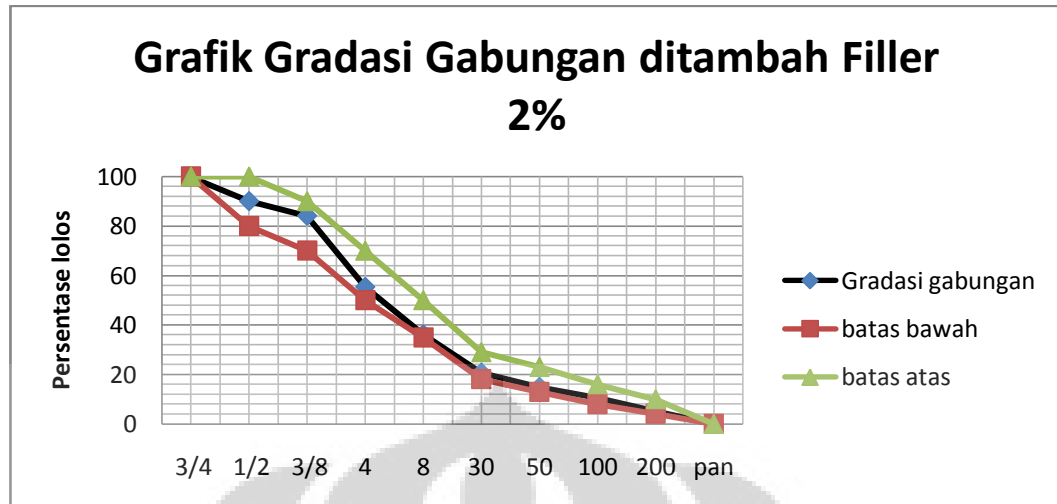
Gambar4-6: Grafik Gradasi Gabungan

Untuk memenuhi persyaratan pada gradasi menerus spek IV, maka harus ditambahkan material tambahan berupa filler. Filler yang digunakan pada penelitian ini berupa semen portland dengan berat jenis 3,14 sebanyak 2% dari total campuran agregat, sehingga jika dikalkulasikan dengan penambahan filler, hasilnya dapat terlihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4-8: Perhitungan Persentase agregat Menerus dengan Filler 2%

Saringan No.	Agregat Kasar		Agregat Medium		Agregat Halus		filler		Total	Spek IV
	100%	10	100%	30	100%	58	100%	2%		
3/4	98,40	9,83984	100	30	100	58	100	2	99,83984	100
1/2	7,46	0,745746	97,66	29,29676	100	58	100	2	90,0425	80 - 100
3/8	0,65	0,065065	80,15	24,04489	100	58	100	2	84,10995	70 - 90
4	0,40	0,04004	18,25	5,476309	82,50	47,85	100	2	55,36635	50 - 70
8	0,40	0,04004	2,89	0,86783	57,40	33,292	100	2	36,19987	35 - 50
30			0,80	0,239401	31,80	18,444	100	2	20,6834	18 - 29
50					22,30	12,934	100	2	14,934	13 - 23
100					14,90	8,642	100	2	10,642	8 - 16
200					5,60	3,248	100	2	5,248	4 - 10

Dengan penambahan filer sebesar 2%, maka terjadi pengurangan total proporsi agregat menjadi 58%. Sedangkan untuk agregat kasar tetap 10 % dan agregat medium 30%, setelah penambahan dapat terlihat pada grafik di bawah ini sebaran gradasi agregat gabungan sudah memenuhi batas atas dan batas bawah proporsi saringan pada Spek IV gradasi laston.



Gambar4-7: Grafik Gradasi Gabungan ditambah Filler 2%

4.2.2 Analisa sebaran butiran gabungan agregat pada sampel dengan jenis gradasi senjang/ gap (HRS-WC)

Dalam menentukan jenis gradasi yang dipakai pada spek gradasi senjang atau gap, penelitian ini mengacu kepada tabel 4-9 sebaran gradasi senjang laston (HRS-WC) berikut ini :

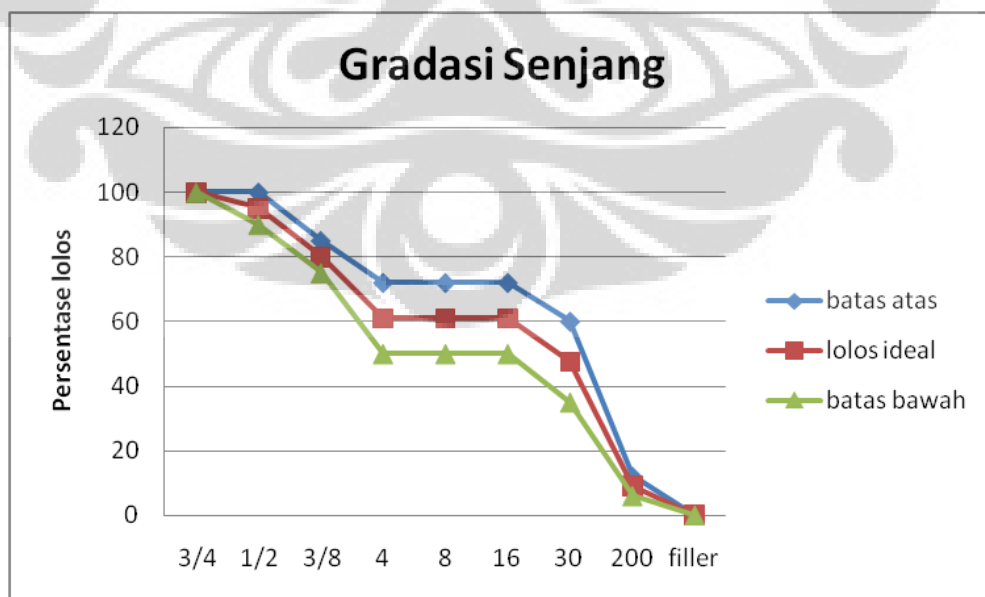
Tabel 4-9 : Spek Gradasi Senjang Binamarga

Ukuran Saringan		% Berat Yang Lolos						
		Latasir (SS)		Lataston (HRS)		LASTON (AC) ²		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5							100
1"	25						100	90 - 100
¾"	19			100	100	100	90 - 100	Maks.90
½"	12,5			90 - 100	90 - 100	90 - 100	Maks.90	
3/8"	9,5		100	75 - 85	65 - 100	Maks.90		
No.4	4,75	100						
No.8	2,36			50 - 72 ¹	35 - 55 ¹	28 - 58	23 - 49	19 - 45
No.16	1,18							
No.30	0,600			35 - 60	15 - 35			
No.200	0,075	10 - 15	8 - 13	6 - 12	2 - 9	4 - 10	4 - 8	3 - 7
						DAERAH YANG DIHINDARI		
No.4	4,75					-	-	39,5
No.8	2,36					39,1	34,6	26,8 - 30,8
No.16	1,18					25,6 - 31,6	22,3 - 28,3	18,1 - 24,1
No.30	0,600					19,1 - 23,1	16,7 - 20,7	13,6 - 17,6
No.50	0,300					15,5	13,7	11,4

Pada proses penentuan komposisi gradasi agregat dengan jenis senjang, dilakukan dengan mencari batas tengah dari batas toleransi (atas dan bawah) pada setiap spesifikasi dan ukuran saringannya. Dengan demikian besar presentase lolos tiap saringan gradasi senjang ditunjukkan pada tabel 4-10 dan sebarannya dapat dilihat pada Grafik 4-8

Tabel 4-10 : Spek gradasi Lataston

Saringan No.	Lataston (HRS-WC) %	Lolos (ideal) %	Tertahan (%)
3/4	100	100	0
1/2	90 – 100	95	5
3/8	75 – 85	80	15
4	-	-	-
8	50 – 72	61	19
16	-	-	-
30	35 – 60	47,5	13,5
200	6 – 12	9	38,5
filler			9



Gambar4-8: Grafik sebaran gradasi senjang

4.2.3 Penentuan kadar aspal optimum

- **Kadar aspal optimum gradasi menerus**

Pada proses untuk mencari kadar aspal optimum ditetapkan terlebih dahulu kadar awal aspal yaitu sebesar 5 %, 5.5%, 6%,6.5%. proporsi agregat pada masing-masing kadar aspal adalah seperti pada tabel:

Tabel 4-11: Proporsi Masing-masing Agregat pada Kadar Aspal 5 %, 5.5%, 6%,6.5%.

kadar aspal	Berat aspal	Agg kasar	Agg Medium	Agg Halus	Filler	Total
5 %	60	114	342	661,2	22,8	1200
5,5 %	72	113,4	340,2	657,72	22,68	1200
6 %	72	112,8	338,4	654,24	22,56	1200
6,5 %	78	112,2	336,6	650,76	22,4	1200

Untuk masing-masing kadar aspal digunakan 3 benda uji, sehingga jumlah sampel yang dibutuhkan untuk mencari kadar aspal optimum pada gradasi senjang adalah seperti pada tabel 4-12 :

Tabel 4-12 : jumlah Sampel untuk mencari kadar aspal optimum

Kadar aspal	5%	5,50%	6%	6,50%
Gradasi menerus	3	3	3	3
total	12			

Setelah ditetapkan kadar aspal yang akan diuji maka dilakukan proses pencampuran dan pemadatan yang dilakukan dengan metode Marshall standar yaitu dipanaskan hingga 110 °C, agregat dipanaskan pada suhu 150°C, dan pemadatan dilakukan pada suhu campuran sekitar 110 °C dan 75x2 pemadatan. Setelah sampel selesai, dilakukan pengukuran fisik terhadap sampel untuk masing-masing persentase kadar aspal, yaitu seperti pada tabel 4-13 :

Tabel 4-13: Hasil Pengujian Sampel Aspal

Benda uji	Diameter (cm)	Tinggi (cm)				W _{kering udara} (gram)	W _{dalam air} (gram)	W _{jenuh} (gram)	
		1	2	3	rata-rata				
5 % aspal	1	10	67,65	66,50	67,90	67,35	1177,00	677,00	1186,50
	2	10	68,00	67,90	67,60	67,83	1189,00	685,00	1199,00
	3	10	67,65	67,70	66,60	67,32	1178,50	679,00	1187,00
5.5 % aspal	1	10	67,30	66,35	66,80	66,82	1176,50	675,00	1186,50
	2	10	67,55	67,40	66,90	67,28	1180,00	677,50	1191,00
	3	10	67,80	67,20	68,00	67,67	1196,00	689,00	1207,00
6 % aspal	1	10	69,00	69,00	69,00	69,00	1190,50	683,50	1206,00
	2	10	67,30	67,50	67,40	67,40	1195,50	683,00	1206,50
	3	10	67,00	66,25	67,20	66,82	1194,00	682,00	1201,00
6.5 % aspal	1	10	67,00	66,90	66,80	66,90	1190,00	670,00	1195,50
	2	10	66,60	65,30	65,70	65,87	1189,00	671,00	1193,50
	3	10	68,40	68,40	67,80	68,20	1189,00	673,50	1199,50

Setelah dilakukan pengukuran pada masing-masing sampel, dilakukan perendaman selama 1 hari dan selanjutnya dilakukan uji Marshall sesuai dengan metode standar dengan terlebih dahulu dilakukan perendaman pada waterbath pada suhu 60°C selama 30 menit. Kemudian setelah diolah, maka didapatkan hasil pengujian seperti pada tabel 4-14 :

Tabel 4-14 : Hasil Uji Marshall sampel Aspal

sampel		VMA (%)		VIM (%)			stabilitas (kg)		flow (mm)			MQ (kg/mm)		
		min	percobaan	min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan
5%	1	16	16,36	3	5	4,93	550	787,88	2	4	3,30	200	350	238,75
	2	16	16,24	3	5	4,81	550	839,73	2	4	3,50	200	350	239,92
	3	16	16,00	3	5	4,53	550	788,44	2	4	3,30	200	350	238,92
5,50%	1	16	17,16	3	5	4,95	550	1062,48	2	4	3,10	200	350	342,73
	2	16	17,23	3	5	5,04	550	910,39	2	4	3,20	200	350	284,50
	3	16	16,84	3	5	4,59	550	1003,27	2	4	3,55	200	350	282,61
6%	1	16	18,37	3	5	5,06	550	1099,63	2	4	3,30	200	350	333,22
	2	16	18,18	3	5	4,85	550	1130,11	2	4	3,50	200	350	322,89
	3	16	17,58	3	5	4,14	550	1103,34	2	4	3,50	200	350	315,24
6,50%	1	16	19,30	3	5	4,85	550	713,87	2	4	3,30	200	350	216,32
	2	16	18,91	3	5	4,39	550	1048,75	2	4	3,90	200	350	268,91
	3	16	19,45	3	5	5,02	550	912,42	2	4	3,90	200	350	233,95

Dari pengujian Marshall ini didapatkan kadar aspal optimum yang dijelaskan dalam grafik hasil pengujian seperti pada tabel 4-15 berikut :

Tabel 4-15 : Hasil Pengujian Marshall Terhadap Campuran Aspal Dengan Gradasi Menerus

	VMA (%)		VIM (%)			stabilitas (kg)		flow (mm)			MQ (kg/mm)		
	min	percobaan	min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan
16		21,01			10,22		787,88			3,30			238,75
		20,20			9,30		839,73			3,50			239,92
		18,64			7,53		788,44			3,30			238,92
		19,95			9,02		805,35			3,37			239,20
		19,59			7,75		1062,48			3,10			342,73
		19,81			8,00		910,39			3,20			284,50
		19,86			8,05		1003,27			3,55			282,61
		19,75	3	5	7,93	550	992,04	2	4	3,28	200	350	303,28
		21,81			9,07		1099,63			3,30			333,22
		19,94			6,89		1130,11			3,50			322,89
		18,83			5,60		1103,34			3,50			315,24
		20,19			7,19		1111,03			3,43			323,78
		19,30			4,85		713,87			3,30			216,32
		18,91			4,39		1048,75			3,90			268,91
		20,50			6,27		912,42			3,90			233,95
		19,57			5,17		891,68			3,70			239,73

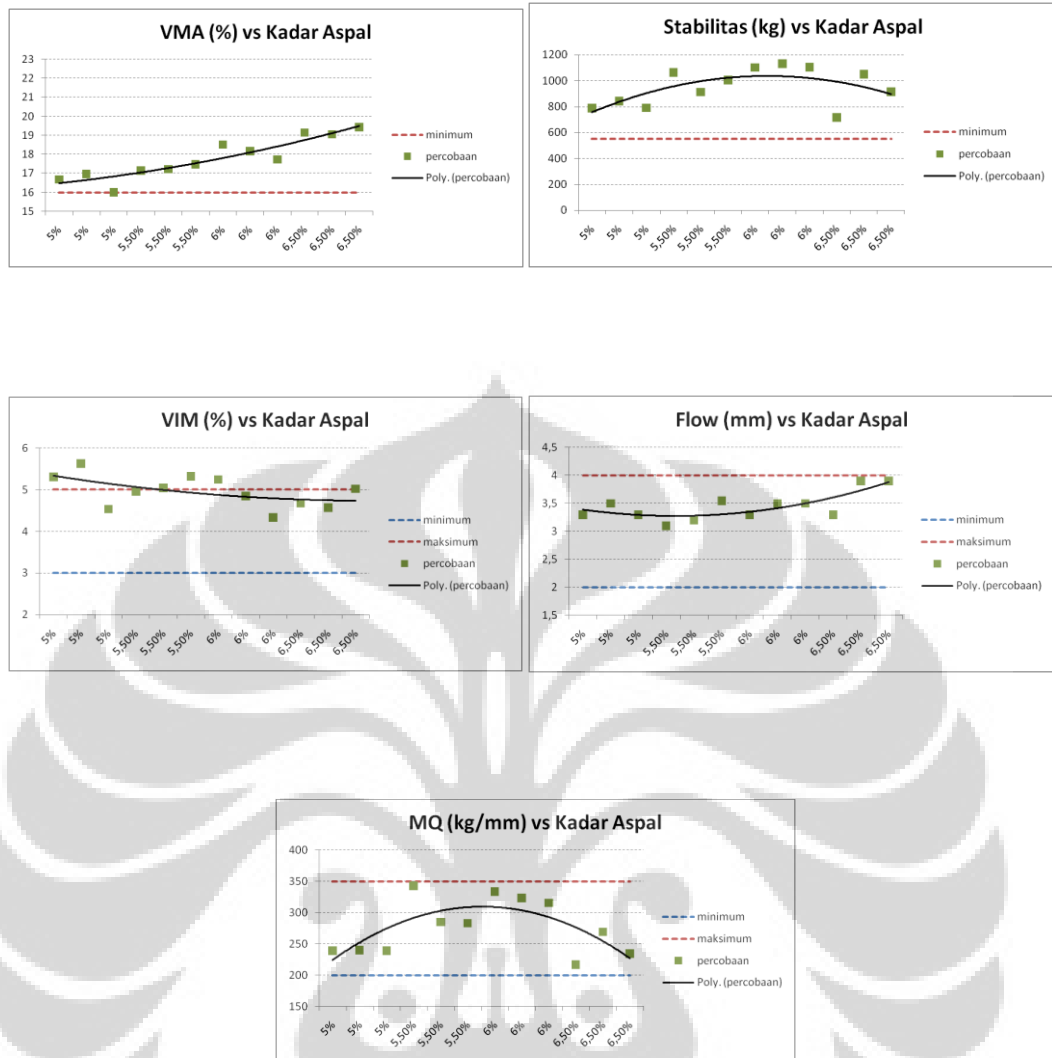
Nilai maksimum dan minimum diatas merupakan persyaratan yang terdapat pada pengujian binamarga, yaitu sebagai berikut :

Tabel 4-16 Persyaratan Marshall test beerdasarkan jumlah tumbukan

Sifat Campuran	LL. Berat (2x75 tumb)		LL. Sedang (2x50 tumb)		LL. Ringan (2x35 tumb)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Stabilitas (kg)	550	-	450	-	350	-
Kelelahan (mm)	2,0	4,0	2,0	4,5	2,0	5,0
Marshall Quotient (Stabilitas/Kelelahan) (kg/mm)	200	350	200	350	200	350
Rongga dalam campuran, VIM (%)	3	5	3	5	3	5
Rongga dalam agregat, VMA (%)			Lihat Tabel 2.5			
Indeks Perendaman (%)	75	-	75	-	75	-

Sumber: Bina Marga (1989), SNI No. 1737 - 1989 - F

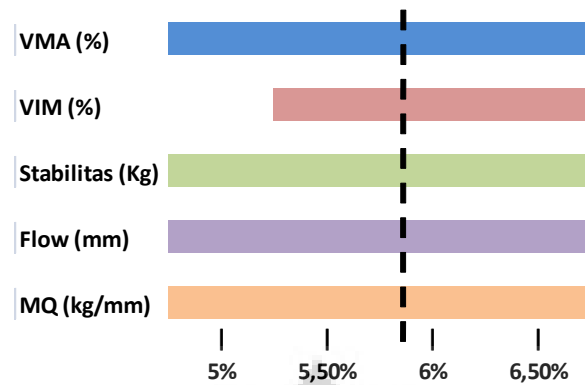
Sehingga grafik yang diperoleh untuk VMA,VIM,Stabilitas dan Flow serta MQ VS kadar aspal adalah sebagai berikut :



Gambar 4-9 : Grafik hasil marshall test gradasi menerus

Dengan menggunakan metode grafis yaitu dengan mencari batas-batas kadar aspal yang memenuhi masing-masing persyaratan, kemudian dicari dua batas terdalam, dan diambil rata-rata dari 2 batas terdalam tersebut, sehingga didapatkan kadar aspal optimum untuk sampel gradasi menerus sebesar adalah sebesar 5,8%, sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 4-10.

Gambar 4-10 : Penentuan Batas Kadar Aspal Optimum untuk sampel gradasi menerus



Gambar 4-10 : Penentuan Batas Kadar Aspal Optimum untuk sampel gradasi menerus

- **Kadar aspal optimum gradasi senjang/gap**

Dalam menentukan kadar aspal optimum digunakan kadar aspal gradasi senjang (HRS-WC) dengan variasi 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, dan 7.5% . Proporsi kadar agregat didapat dengan mengurangi kadar agregat rencana dengan kadar aspal, sehingga didapat rincian seperti pada tabel 4-17 berikut :

Tabel 4-17 Kadar aspal vs Berat aspal

Kadar aspal (%)	Berat aspal (gr)
5	60
5,5	66
6	72
6,5	78
7	84
7,5	90

Dan persentase kadar aspal serta bobot agregat terlihat dalam tabel 4-18 :

Tabel 4-18 : Persentase Kadar Aspal dan bobot Agregat

Saringan No.	Tertahan (%)	Bobot agregat (gr)					
		Aspal 5%	Aspal 5.5%	Aspal 6%	Aspal 6.5%	Aspal 7%	Aspal 7.5%
3/4	0	0	0	0	0	0	0
1/2	5	57	56,7	56,4	56,1	55,8	55,5
3/8	15	171	170,1	169,2	168,3	167,4	166,5
4	-	-	-	-	-	-	-
8	19	216,6	215,46	214,32	213,18	212,04	210,9
16	-	-	-	-	-	-	-
30	13,5	153,9	153,09	152,28	151,47	150,66	149,85
200	38,5	438,9	436,59	434,28	431,97	429,66	427,35
filler	9	102,6	102,06	101,52	100,98	100,44	99,9
Jumlah	100	1140	1134	1128	1122	1116	1110

Sedangkan jumlah sampel adalah 3 sampel untuk masing-masing kadar aspal ditunjukkan pada tabel 4-19:

Tabel 4-19 : Jumlah sampel Aspal

Kadar aspal	5%	5,50%	6%	6,50%	7%	7,50%
Gradasi menerus	3	3	3	3	3	3
total	18					

Dengan menggunakan metode yang sama dengan aspal spek gradasi menerus, maka didapatkan hasil pengukuran untuk tiap-tiap sampel per kadar aspal adalah sebagai berikut :

Tabel 4-20 : Data Uji Sampel Aspal

Benda uji	Diameter (cm)	Tinggi (cm)				$W_{\text{kering udara}}$ (gram)	$W_{\text{dalam air}}$ (gram)	W_{jenuh} (gram)	
		1	2	3	rata-rata				
5 % aspal	1	10	69,50	69,95	68,50	69,32	1186,00	680,00	1199,00
	2	10	70,70	71,10	71,20	71,00	1197,00	683,00	1211,50
	3	10	70,60	70,45	69,80	70,28	1198,50	683,50	1213,50

5.5 % aspal	1	10	68,75	68,20	69,80	68,92	1192,00	683,50	1205,00
	2	10	69,40	70,25	70,45	70,03	1192,00	685,00	1206,00
	3	10	68,95	68,20	69,80	68,98	1193,00	685,00	1205,00
6 % aspal	1	10	69,20	68,75	69,00	68,98	1181,00	678,00	1195,00
	2	10	67,65	68,80	68,95	68,47	1182,50	677,50	1196,00
	3	10	67,15	68,30	68,25	67,90	1186,00	678,50	1199,50
6.5 % aspal	1	10	68,10	69,15	68,80	68,68	1192,50	679,00	1204,50
	2	10	69,00	68,85	68,30	68,72	1190,00	680,00	1202,00
	3	10	67,55	67,20	68,60	67,78	1188,50	680,00	1201,00
7 % aspal	1	10	68,30	69,30	68,45	68,68	1187,00	676,00	1195,00
	2	10	71,05	71,80	71,40	71,42	1251,50	679,00	1262,00
	3	10	67,70	68,80	68,00	68,17	1191,50	681,00	1202,00
7.5 % aspal	1	10	67,55	66,80	67,10	67,15	1190,00	675,00	1197,50
	2	10	67,10	67,00	67,80	67,30	1185,50	675,50	1193,00
	3	10	66,15	65,60	66,85	66,20	1184,00	673,00	1192,00

Setelah dilakukan pengukuran, maka dilakukan pengujian Marshall untuk mendapatkan parameter yang diinginkan, setelah dilakukan pengolahan dari data-data yang di dapat dari nilai marshall, maka didapatkan hasil pengujian seperti pada tabel 4-21 berikut :

Tabel 4-21 : Hasil Pengujian Marshall Terhadap Campuran Aspal Dengan Gradasi Senjang

sampel	VMA (%)		VIM (%)			stabilitas (kg)		flow (mm)			MQ (kg/mm)			
	mi n	percoba an	mi n	ma x	percoba an	mi n	percoba an	mi n	ma x	percoba an	mi n	ma x	percoba an	
5%	1	18	17,01	3	6	5,96	800	765,81	3	-	2,90	250	-	264,07
	2	18	17,74	3	6	6,79	800	765,81	3	-	3,20	250	-	239,32
	3	18	17,87	3	6	6,94	800	726,54	3	-	2,90	250	-	250,53
5,50 %	1	18	17,42	3	6	5,55	800	851,06	3	-	3,20	250	-	265,96
	2	18	17,34	3	6	5,46	800	863,99	3	-	3,20	250	-	270,00
	3	18	17,11	3	6	5,20	800	930,23	3	-	3,10	250	-	300,07
6%	1	18	17,91	3	6	4,82	800	969,81	3	-	3,10	250	-	312,84
	2	18	18,04	3	6	4,97	800	969,81	3	-	3,10	250	-	312,84
	3	18	18,19	3	6	5,15	800	879,71	3	-	3,20	250	-	274,91
6,50 %	1	18	18,88	3	6	4,65	800	1009,40	3	-	3,10	250	-	325,61
	2	18	18,51	3	6	4,21	800	1167,74	3	-	3,40	250	-	343,45
	3	18	18,46	3	6	4,15	800	1123,66	3	-	3,30	250	-	340,50

7%	1	18	18,68	3	6	3,09	80 0	1009,40	3	-	3,20	25 0	-	315,44
	2	18	19,38	3	6	3,92	80 0	993,29	3	-	3,10	25 0	-	320,42
	3	18	18,69	3	6	3,10	80 0	1019,67	3	-	3,20	25 0	-	318,65
7,50 %	1	18	19,46	3	6	2,67	80 0	979,02	3	-	3,20	25 0	-	305,94
	2	18	18,99	3	6	2,10	80 0	930,62	3	-	3,40	25 0	-	273,71
	3	18	19,33	3	6	2,51	80 0	1048,10	3	-	3,00	25 0	-	349,37

Berikut ini adalah grafik hasil pengujian Marshall untuk mencari kadar aspal optimum gradasi sampel senjang (HRS-WC)

Tabel 4-22: hasil uji marshall optimum

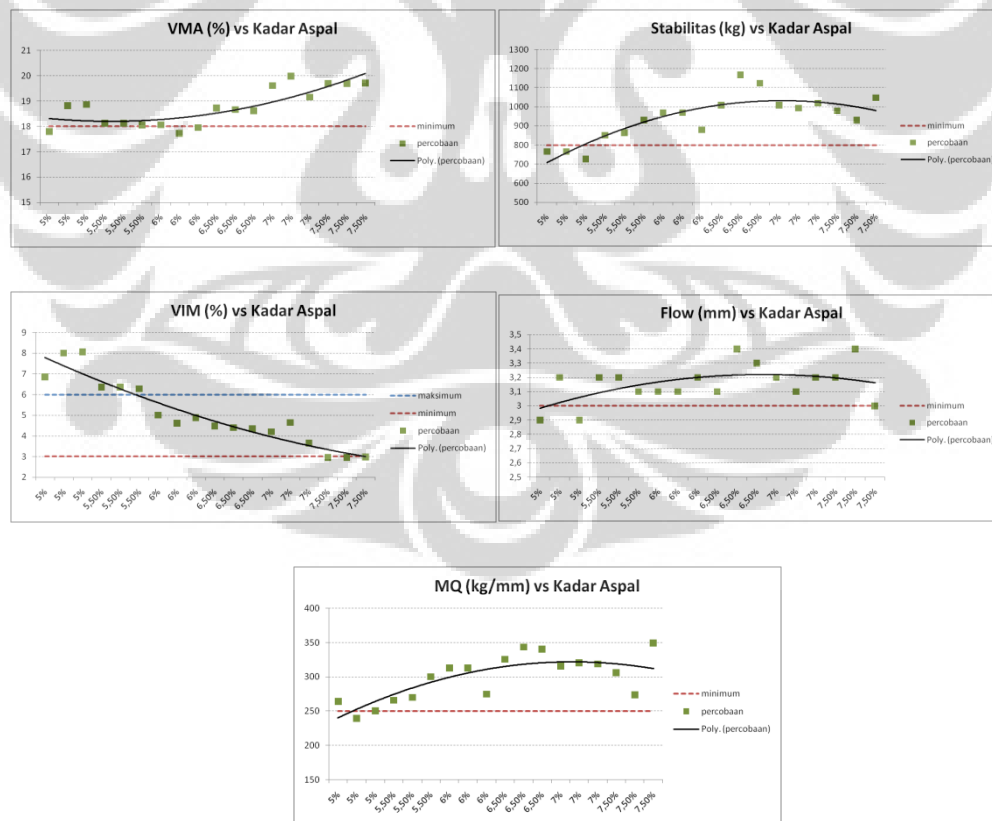
	VMA (%)		VIM (%)		stabilitas (kg)		flow (mm)		MQ (kg/mm)		
	min	percobaan	min	max percobaan	min	percobaan	min	max percobaan	min	max percobaan	
		23,36		13,16		765,81		2,90		264,07	
		23,93		13,81		765,81		3,20		239,32	
		23,84		13,70		726,54		2,90		250,53	
		23,71		13,55		752,72		3,00		251,31	
		23,31		12,28		851,06		3,20		265,96	
		24,05		13,13		863,99		3,20		270,00	
		22,62		11,49		930,23		3,10		300,07	
		23,32		12,30		881,76		3,17		278,68	
		22,97		10,69		969,81		3,10		312,84	
		22,88		10,58		969,81		3,10		312,84	
		23,07		10,80		879,71		3,20		274,91	
16		22,97	3	5	10,69	939,78	2	4	3,13	300,20	
		23,20		9,72	550	1009,40		3,10	200	350	325,61
		22,87		9,34		1167,74		3,40		343,45	
		22,69		9,12		1123,66		3,30		340,50	
		22,92		9,39		1100,27		3,27		336,52	
		22,56		7,71		1009,40		3,20		315,44	
		22,62		7,77		993,29		3,10		320,42	
		22,98		8,20		1019,67		3,20		318,65	
		22,72		7,90		1007,45		3,17		318,17	
		22,14		5,91		979,02		3,20		305,94	
		21,93		5,66		930,62		3,40		273,71	
		22,46		6,30		1048,10		3,00		349,37	
		22,18		5,96		985,91		3,20		309,67	

Batas-batasnya ditentukan berdasarkan tabel 4-23

Tabel 4-23 : Sifat-sifat campuran gradasi senjang HRS

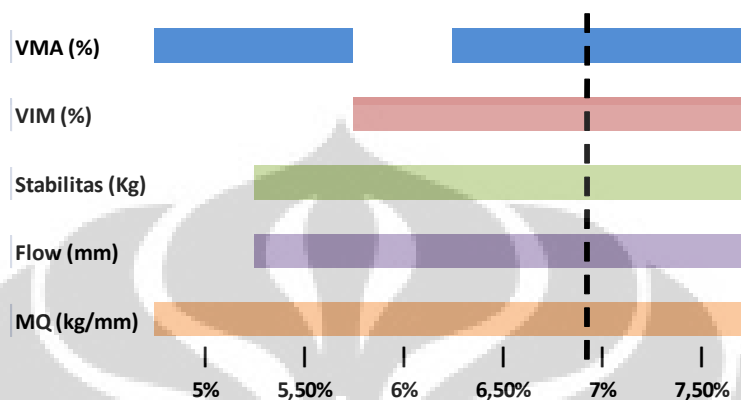
Sifat-sifat Campuran	Lataston	
	WC	BC
Jumlah tumbukan per bidang	75	
Rongga dalam campuran (%) ⁽³⁾	Min	3,0
	Max	6,0
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	18 17
Rongga terisi aspal (%)	Min	68
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800
Pelelehan (mm)	Min	3
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C pada VIM $\pm 7\%$ ⁽⁴⁾	Min	80
Rongga dalam campuran (%) pada ⁽²⁾ kepadatan membal (refusal)	Min	2

Grafik Marshall yang dihasilkan berdasarkan hasil diatas ditunjukkan pada gambar 4-15 berikut :



Gambar 4-11 : Grafik Hasil Marshall test gradasi senjang

Dengan menggunakan metode grafis yaitu dengan mencari batas-batas kadar aspal yang memenuhi masing-masing persyaratan, kemudian dicari dua batas terdalam, dan diambil rata-rata dari 2 batas terdalam tersebut, sehingga maka didapatkan kadar aspal optimum untuk sampel gradasi senjang sebesar 6,8%.



Gambar 4-12 : Penghitungan Kadar Aspal Optimum

4.2.4 Pemadatan campuran aspal beton dengan variasi gradasi

Pada proses penelitian ini digunakan 3 benda uji untuk masing-masing variasi. Digunakan dua variasi gradasi aspal, yaitu gradasi senjang dan gradasi menerus, dengan prosedur sebagai berikut :

- **Pembuatan benda uji dengan kadar aspal optimum**

Berdasarkan perhitungan sebelumnya didapat kadar aspal optimum untuk gradasi menerus sebesar 5,85 % dan untuk campuran dengan gradasi senjang 6,9% maka diperoleh besar campuran benda uji yang akan digunakan berdasarkan aspal optimum yang didapatkan. Yaitu sebagai berikut

- **Perhitungan Berat Aspal dan Agregat untuk gradasi menerus**

- Kadar Aspal 5,85%

$$\text{Berat aspal} = 5,85\% \times 1200 \text{ gram} = 70,2 \text{ gram}$$

$$\text{Berat agregat} = 94,15\% \times 1200 \text{ gram} = 1129,8 \text{ gram}$$

- Agregat kasar = 10% x 1129,8 gram = 112,98 gram
- Agregat medium = 30% x 1129,8 gram = 338,94 gram

- Agregat halus = $58\% \times 1129,8 \text{ gram} = 655,284 \text{ gram}$
- *Filler* = $2\% \times 1129,8 \text{ gram} = 22,596 \text{ gram}$

- **Perhitungan Berat Aspal dan Agregat untuk Gradasi Senjang**

- Kadar Aspal 6,9%

Berat aspal = $6,9\% \times 1200 \text{ gram} = 82,8 \text{ gram}$

Berat agregat = $93,1\% \times 1200 \text{ gram} = 1117,2 \text{ gram}$

- Agregat tertahan saringan no.1/2 = $5\% \times 1117,2 \text{ gram} = 55,86 \text{ gram}$
- Agregat tertahan saringan no.3/8 = $15\% \times 1117,2 \text{ gram} = 167,58 \text{ gram}$
- Agregat tertahan saringan no.8 = $19\% \times 1117,2 \text{ gram} = 212,268 \text{ gram}$
- Agregat tertahan saringan no.30 = $13,5\% \times 1117,2 \text{ gram} = 150,822 \text{ gram}$
- Agregat tertahan saringan no.200 = $38,5\% \times 1117,2 \text{ gram} = 430,122 \text{ gram}$
- Agregat tertahan pan (*filler*) = $9\% \times 1117,2 \text{ gram} = 100,548 \text{ gram}$

Setelah menghitung komposisi dari material campuran yang diperoleh pada masing-masing jenis agregat dan aspal, maka dilakukan pencampuran agregat sesuai dengan PA-0305-76, ASTM D-1559-76, dan AASHTO T-44-81 material aspal dan agregat dipanaskan terlebih dahulu sebelum proses pencampuran (*mixing*) hingga mencapai temperatur 110°C dan 150°C . Lama waktu pemanasan dapat berubah-ubah sesuai dengan kondisi lingkungan, alat pemanas, dan material.

- **Pengaturan Temperatur Campuran Aspal Beton**

Cetakan benda uji (Mould) yang digunakan berdiameter 10 cm atau 3,94 inci dan berbahan baja sesuai standar, pada tahap ini bagian luar dari cetakan dipasang alat pengatur temperatur benda uji (band Heater). Band Heater diatur sedemikian rupa melingkari cetakan agar panas yang dihasilkan dapat terdistribusi merata ke

seluruh bagian cetakan, dan suhu yang dihasilkan sama dengan suhu yang direncanakan,

Band hetaer dilengkapi dengan termostat yang berfungsi untuk mengatur suhu sesuai dengan keinginan sebagai indikator digunakan lampu yang akan mati ketika mencapai suhu yang diinginkan. Material benda uji yang sudah selesai di campur, dimasukkan ke dalam cetakan dan dilakukan pengukuran suhu kembali untuk memastikan bahwa suhu yang diinginkan sudah tercapai.

- **Pemadatan dan pengukuran deformasi campuran aspal beton dengan variasi gradasi.**

Tahap selanjutnya setelah material uji diletakkan pada cetakan dilakukan proses pengukuran deformasi campuran menggunakan jangka sorong pada ke-3 sisi permukaan campuran. Pengukuran deformasi campuran di ke-3 sisi bertujuan agar didapatkan nilai rata-rata campuran aspal beton, pengukuran dilakukan setiap jeda 5 tumbukan. Variasi yang digunakan ditunjukkan pada tabel 4-24

Tabel 4-24: Rencana Sampel Percobaan

Temperatur	Tumbukan	Gradasi	Total sampel
90	50 X	Menerus	3
110	75 X	Menerus	3
120	90 X	Menerus	3
90	50 X	Senjang	3
110	75 X	Senjang	3
120	90 X	Senjang	3
		Total sampel	18 sampel

Langkah-langkah pengujian ditunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 4-13 : Prosedur Pengujian Aspal

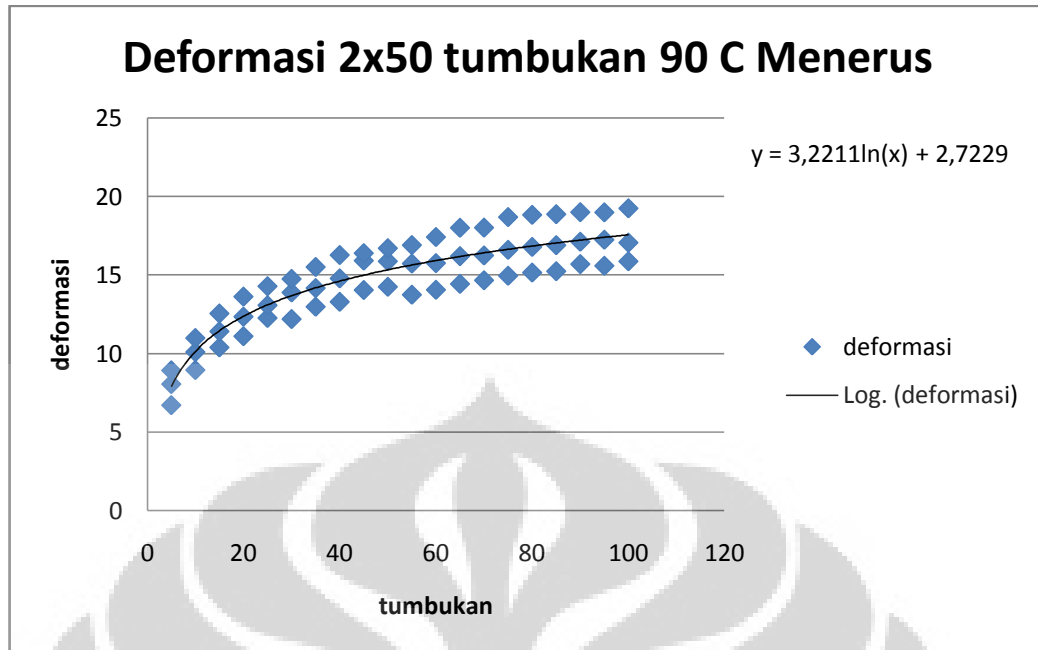
4.3 Hasil deformasi campuran aspal

Berikut ini adalah data deformasi yang diperoleh untuk masing-masing tumbukan

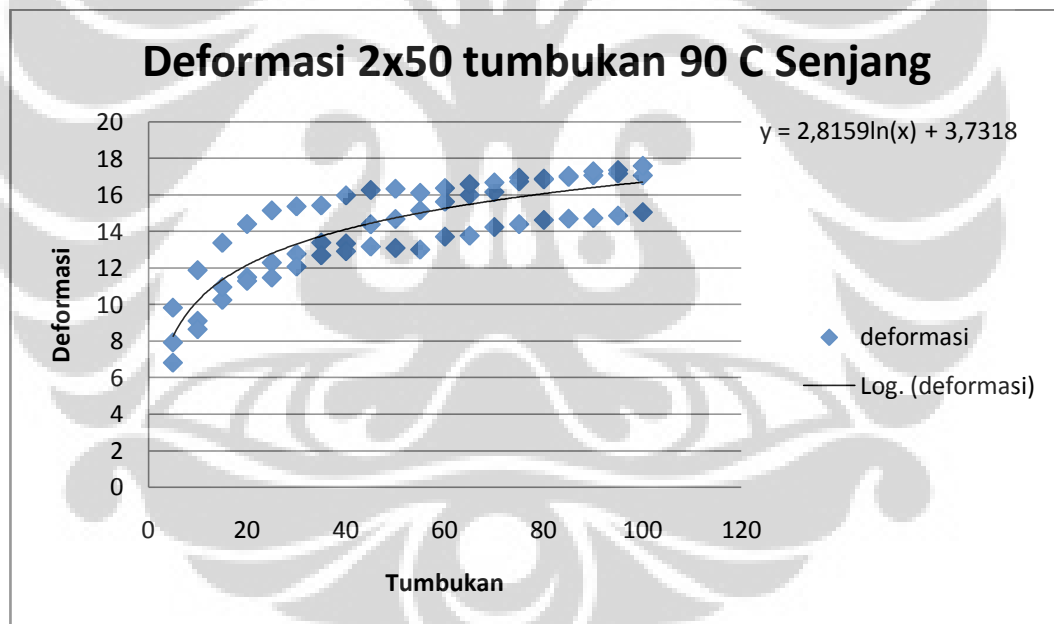
4.3.1 Deformasi 90⁰ C , 50 tumbukan Gradasi menerus dan senjang

- Pengaruh kenaikan tumbukan terhadap deformasi

Berdasarkan hasil pengujian maka grafik deformasi terhadap jumlah tumbukan yang dihasilkan ditunjukkan pada grafik 4-14 berikut ini :

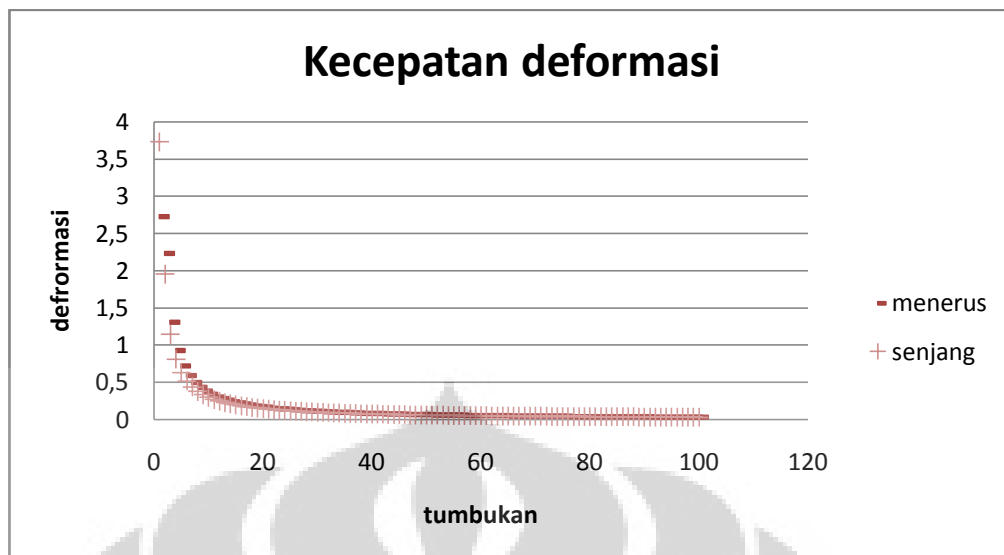


Gambar 4-14 : Grafik Deformasi Sampel 90⁰C ,2X 50 tumbukan Gradasi Menerus



Gambar 4-15 : Grafik Deformasi Sampel 90⁰C,2X 50 tumbukan gradasi senjang

Berdasarkan grafik tersebut, maka grafik Kecepatan deformasi antara sampel gradasi senjang dan menerus dapat dilihat pada grafik 4-16 berikut ini

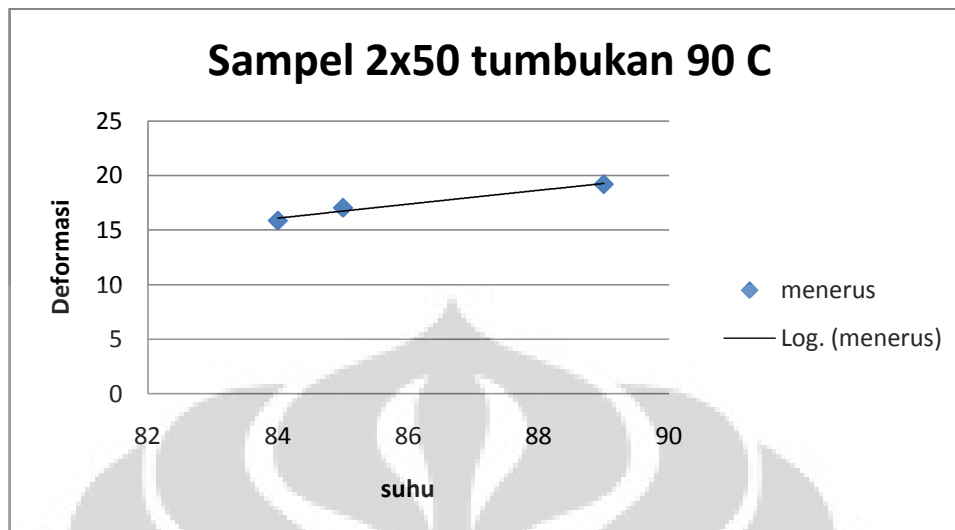


Gambar 4-16 : Grafik Deformation rate 90⁰C ,2X 50

Dari grafik deformasi Sampel dengan suhu 90⁰C dan 2 x 50 tumbukan dapat diambil kesimpulan

- Deformasi semakin meningkat seiring dengan kenaikan tumbukan yang terjadi
 - Deformasi yang terjadi pada sampel dengan gradasi menerus lebih besar daripada deformasi pada sampel dengan gradasi senjang kecuali pada sampel gradasi senjang no.3
 - Kecepatan deformasi pada sampel dengan dengan suhu 90⁰C dan 2x50 tumbukan di gradasi menerus lebih besar sehingga deformasi yang dihasilkan pun menjadi lebih besar dibanding dengan deformasi pada gradasi senjang
- Pengaruh suhu akhir pematatan terhadap nilai akhir deformasi

Sampel	Suhu udara	Suhu awal	Suhu campuran	Suhu akhir	deformasi akhir
Menerus 1	32	90	100	84	15,85
Menerus 2	30	90	95	85	17,04
Menerus 3	28,5	90	100	89	19,22333333
Senjang 1	29,1	90	100	90	17,07
Senjang 2	28,5	90	100	90	15,05333333
Senjang 3	29,5	90	100	90	17,59333333



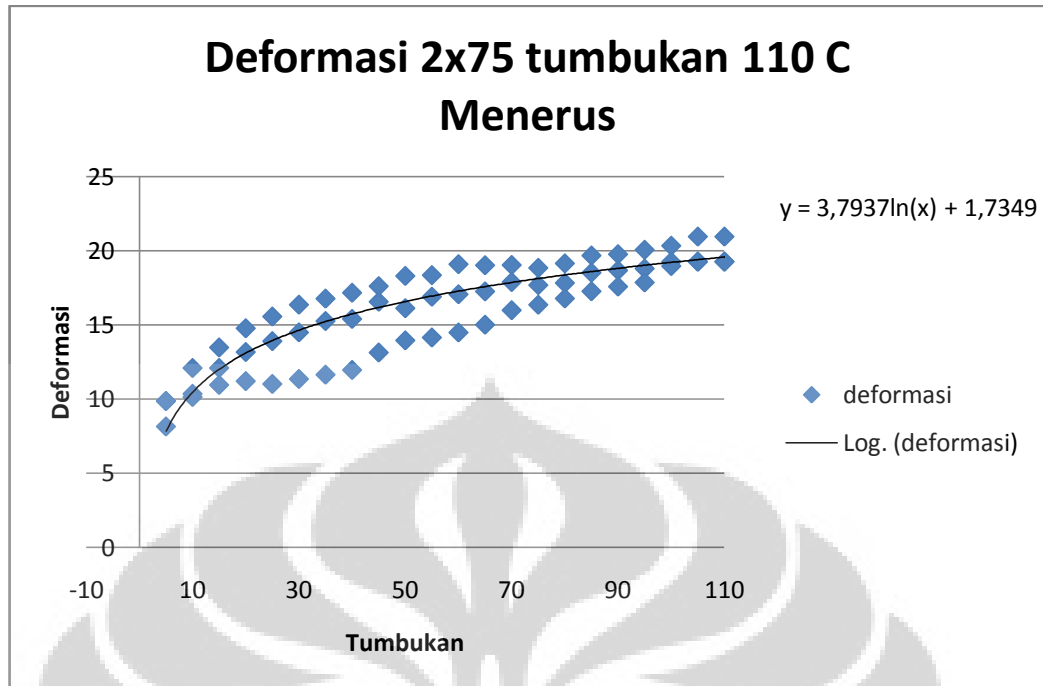
Gambar 4-17 : Grafik Pengaruh kenaikan suhu akhir pada nilai deformasi sampel 90⁰C ,2X 50 tumbukan

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa pada sampel dengan gradasi menerus, seiring dengan kenaikan suhu akhir pada pemadatan, maka nilai deformasi yang terjadi pun semakin besar, sedangkan pada sampel dengan gradasi senjang, nilai deformasi cenderung stabil pada nilai suhu yang sama.

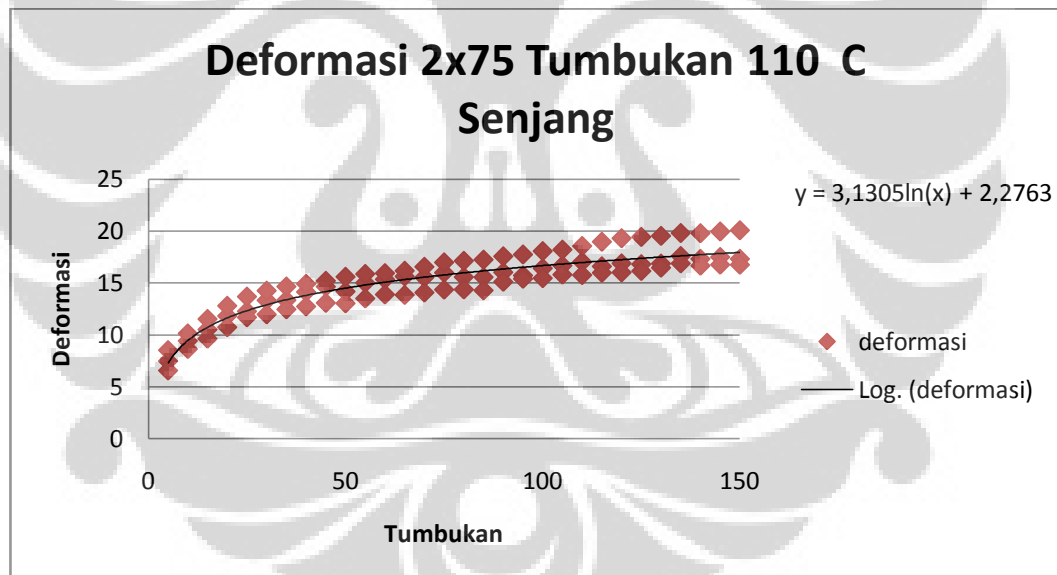
4.3.2 Deformasi 110⁰C , 75 tumbukan gradasi menerus dan senjang

- Pengaruh kenaikan tumbukan terhadap nilai deformasi

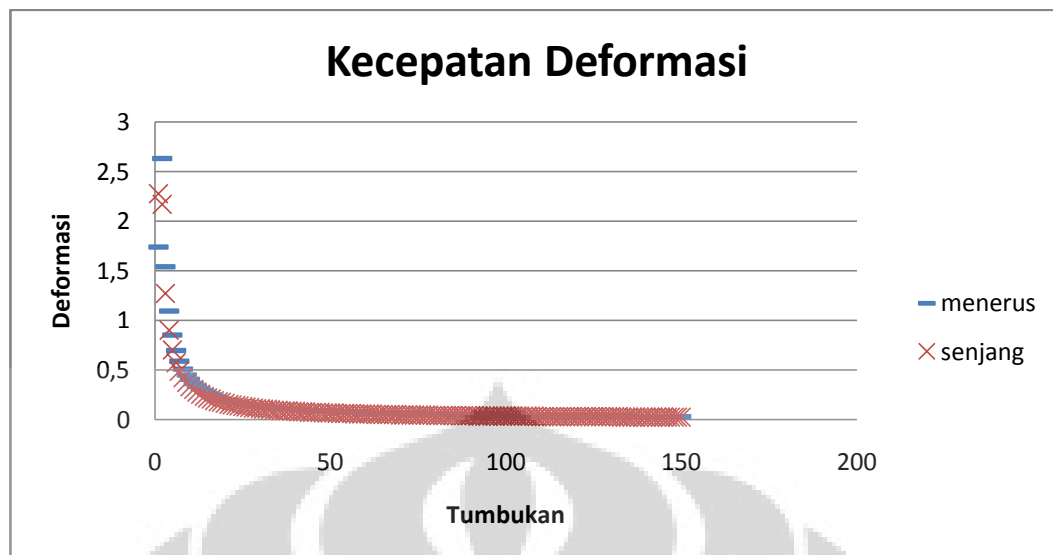
Berdasarkan hasil pengujian maka deformasi yang dihasilkan ditunjukkan pada grafik 4- 20 berikut ini :



Gambar 4-18 : Grafik Deformasi Sampel 2X 75, 110⁰C tumbukan Gradasi Menerus



Gambar 4-19 : Grafik Deformasi Sampel 2X 75, 110⁰C tumbukan Gradasi Senjang



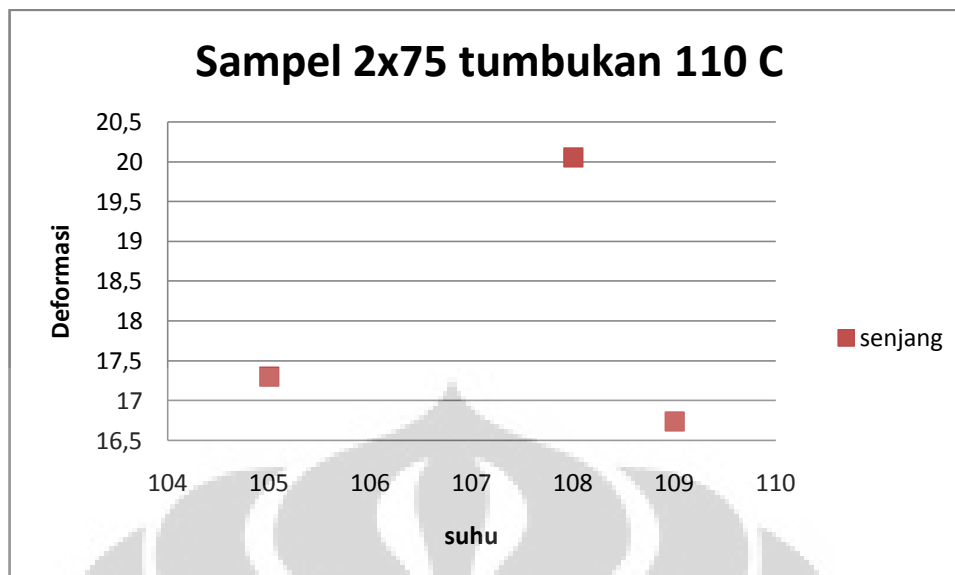
Gambar 4-20 : Grafik Deformation rate 2X75, 110⁰C Gradasi Menerus

Dari grafik deformasi Sampel dengan suhu 110⁰C dan 2 x 75 tumbukan dapat diambil kesimpulan

- Deformasi semakin besar seiring kenaikan jumlah tumbukan pada
- Deformasi yang terjadi pada sampel dengan gradasi menerus lebih besar daripada sampel dengan gradasi senjang
- Kecepatan deformasi pada sampel dengan dengan suhu 110⁰C dan 2x75 tumbukan di gradasi menerus lebih besar sehingga deformasi yang dihasilkan pun menjadi lebih besar dibanding dengan deformasi pada gradasi senjang

Pengaruh suhu akhir pematatan terhadap nilai akhir deformasi

Sampel	Suhu udara	Suhu awal	Suhu campuran	Suhu akhir	deformasi akhir
Menerus 1	29,8	110	120	108	21,91
Menerus 2	28,8	110	120	108	20,35333333
Menerus 3	28,2	110	120	108	21,91
Senjang 1	28,7	110	120	105	17,3
Senjang 2	27,9	110	120	109	16,74
Senjang 3	28,1	110	120	108	20,05666667



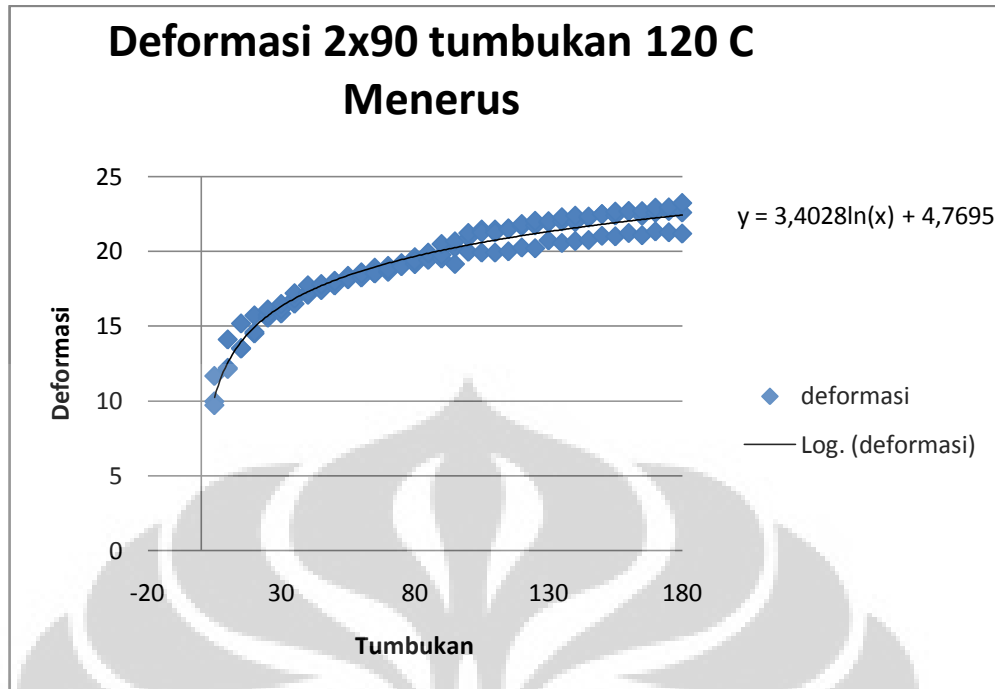
Gambar 4-21 : Grafik Pengaruh kenaikan suhu akhir pada nilai deformasi sampel ,2X75 tumbukan 110⁰C

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa pada sampel dengan gradasi senjang, seiring dengan kenaikan suhu akhir pada pemadatan, maka nilai deformasi yang terjadi pun semakin besar, kecuali pada suhu 109⁰C, terjadi penurunan nilai deformasi. Hal ini dimungkinkan bahwa pada suhu 109⁰ C, aspal sudah melewati kondisi plastis sehingga nilai deformasi yang dihasilkan semakin kecil. Sedangkan pada sampel denga gradasi senjang, nilai deformasi cenderung stabil pada nilai suhu 108⁰C

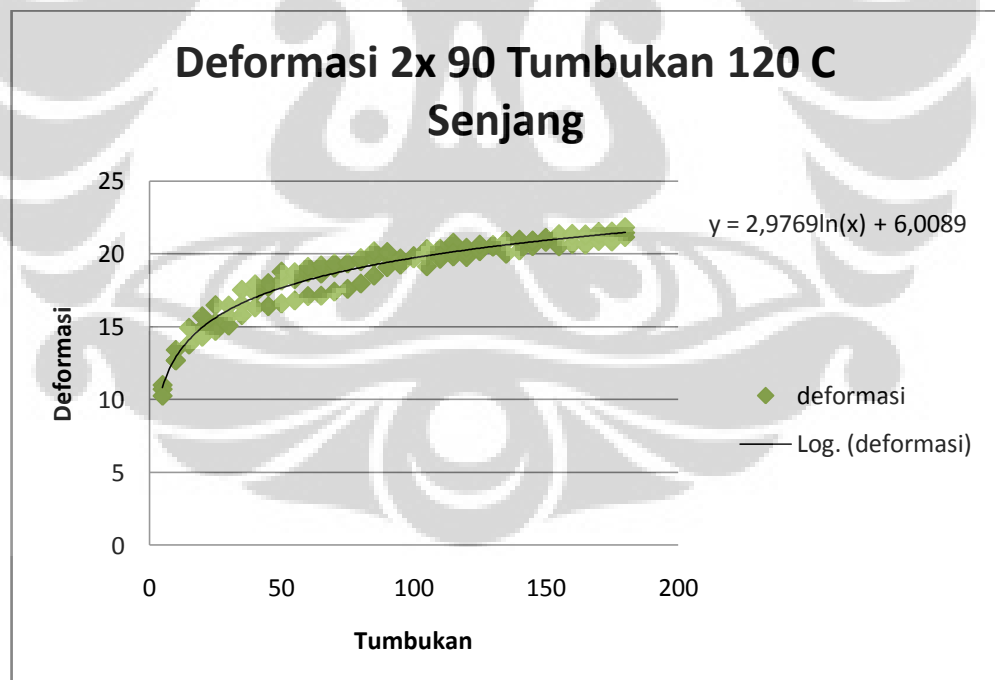
4.3.3 Deformasi 120⁰C , 90 tumbukan gradasi senjang dan menerus

- Pengaruh kenaikan nilai tumbukan terhadap deformasi

Berdasarkan hasil pengujian maka deformasi yang dihasilkan ditunjukkan pada grafik 4- 22 dan 4-23 berikut ini :

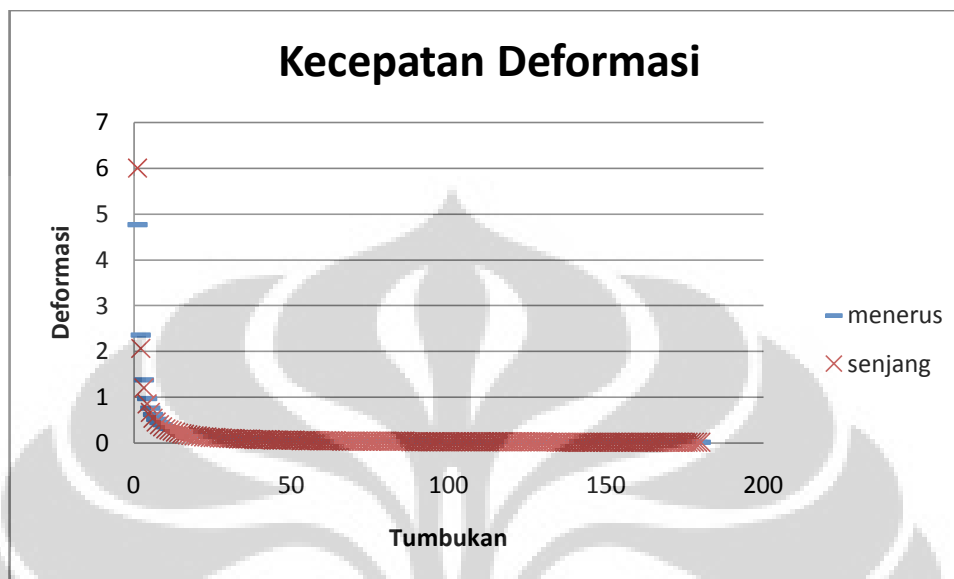


Gambar 4-22 : Grafik Deformasi Sampel 120⁰C, 2X 90 tumbukan Gradasi Menerus



Gambar 4-23 : Grafik Deformasi Sampel 120⁰C, 2X 90 tumbukan Gradasi Senjang

Berdasarkan data deformasi diatas, maka dapat dibuat grafik yang menggambarkan kecepatan deformasi untuk sampel gradasi senjang dan menerus, sesuai dengan jumlah tumbukan



Gambar 4-24 : Grafik Deformation rate 120⁰C ,2X 90

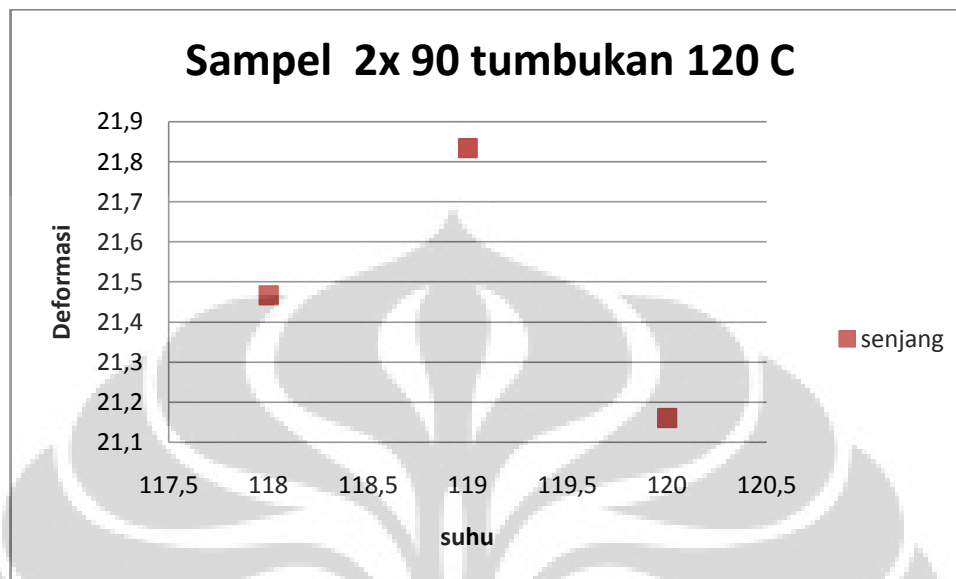
Dari grafik deformasi Sampel dengan suhu 120⁰C dan 2 x 90 tumbukan dapat diambil kesimpulan

- Deformasi semakin meningkat seiring dengan kenaikan tumbukan
- Deformasi yang terjadi pada sampel dengan gradasi menerus lebih besar daripada deformasi pada sampel dengan gradasi senjang
- Kecepatan deformasi pada sampel dengan dengan suhu 120⁰C dan 2x90 tumbukan di gradasi menerus lebih besar sehingga deformasi yang dihasilkan pun menjadi lebih besar dibanding dengan deformasi pada gradasi senjang

Pengaruh suhu akhir pemadatan terhadap nilai akhir deformasi

Sampel	Suhu udara	Suhu awal	Suhu campuran	Suhu akhir	deformasi akhir
Menerus 1	28,6	120	130	120	21,19666667
Menerus 2	28,5	120	130	119	22,61
Menerus 3	28,7	120	130	119	23,24333333
Senjang 1	28,8	120	130	120	21,16

Senjang 2	29,5	120	130	118	21,46666667
Senjang 3	28,7	120	130	119	21,83333333



Gambar 4-25 : Grafik Pengaruh kenaikan suhu akhir pada nilai deformasi sampel 120⁰C ,2X 90 tumbukan

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa pada sampel dengan gradasi senjang, seiring dengan kenaikan suhu akhir pada pemadatan, maka nilai deformasi yang terjadi pun semakin besar, kecuali pada suhu 120⁰C, terjadi penurunan nilai deformasi. Hal ini dimungkinkan bahwa pada suhu 120 0 C, aspal sudah melewati fase elastisnya sehingga deformasi yang terjadi semaik kecil. Sedangkan pada sampel denga gradasi senjang, nilai deformasi cenderung stabil pada nilai suhu 119⁰C dan nilai deformasinya turun pada suhu 120⁰C.

4.4 Pengujian dengan alat marshall

Pada proses pengujian alat marshall diperoleh data kinerja campuran aspal pada masing-masing variasi.

Nilai rongga dalam campuran VIM dan rongga dalam agregat VMA diperoleh berdasarkan data tinggi benda uji, berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air.

Dari alat marshall akan diperoleh data berupa pembacaan arloji stabilitas dan kelelahan, untuk mendapatkan nilai stabilitas, pembacaan arloji masih harus dikali lagidengan kalibrasi alat dan korelasi tinggi benda uji. Setelah diolah didapatkan data sebagai berikut:

4.4.1 Hasil marshall untuk gradasi menerus

Hasil uji marshall dengan gradasi menerus ditunjukkan pada tabel 4-28 berikut ini

Tabel 4-25 : Hasil Uji Marshall Campuran Gradasi Menerus

No	Sampel	Vma min	VMA	Vim min	Vim max	VIM	Stab min	Stabilitas	Flow min	Flow max	Flow	MQ min	Mq Max	MQ
1.	90 ⁰ C ; 50 X; M1	16	19,74	3	5	6,8	550	856,64	2	4	3,9	200	350	219,7
2.	90 ⁰ C ; 50 X; M2	16	19,51	3	5	6,54	550	752,1	2	4	3,7	200	350	203,3
.	90 ⁰ C ; 50 X; M3	16	20,95	3	5	8,22	550	851,06	2	4	3,4	200	350	250,3
4.	110 ⁰ C ; 75 X; M1	16	17,52	3	5	4,22	550	1446,38	2	4	3,7	200	350	390,9
5.	110 ⁰ C ; 75 X; M2	16	18,56	3	5	5,43	550	1458,17	2	4	3,05	200	350	478,1
6.	110 ⁰ C ; 75 X; M3	16	18,11	3	5	4,92	550	1519,62	2	4	3,6	200	350	422,1
7.	120 ⁰ C ; 90 X; M1	16	16,83	3	5	3,43	550	2408,2	2	4	2,75	200	350	875,7
8.	120 ⁰ C ; 90 X; M2	16	21,49	3	5	8,84	550	1962,64	2	4	2,7	200	350	726,9
9.	120 ⁰ C ; 90 X; M3	16	19,27	3	5	6,26	550	1866,9	2	4	2,9	200	350	643,8

4.4.2 Hasil marshall untuk gradasi senjang

Hasil uji marshaal campuran aspal dengan variasi gradasi senjang ditunjukkan pada tabel 4-29 berikut ini

Tabel 4-26: Hasil Uji Marshall Campuran Gradasi Senjang

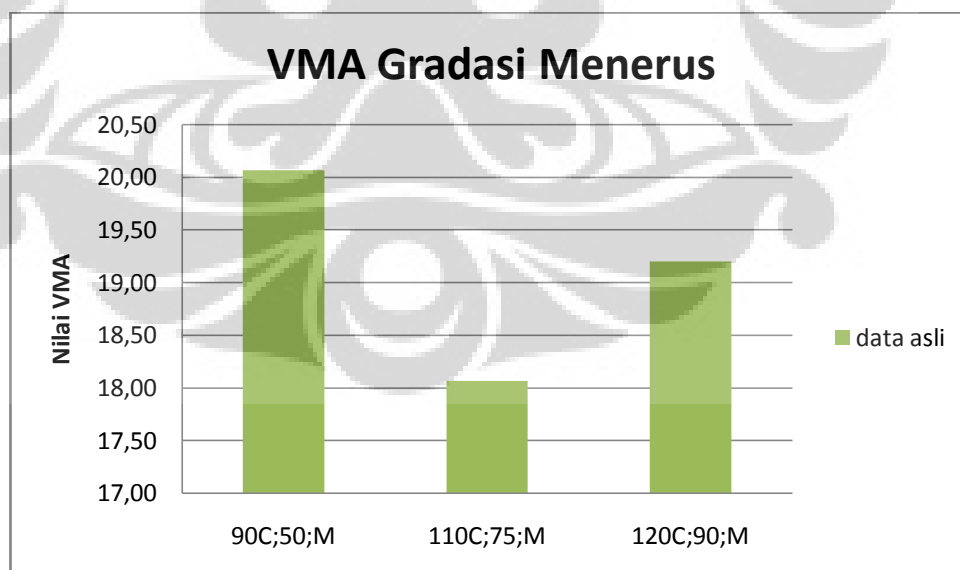
No	Sampel	VMA Min	VMA	VIM Min	Vim Max	VIM	Stab Min	Stabilitas	Flow min	Flow Max	Flow	MQ min	MQ max	MQ
1.	90 ⁰ C ; 50 X; S1	16	21,49	3	5	8,84	550	1152,91	2	4	3,15	200	350	366
2.	90 ⁰ C ; 50 X; S2	16	21,18	3	5	8,48	550	1509,27	2	4	3,2	200	350	471,7
3.	90 ⁰ C ; 50 X; S3	16	21,25	3	5	8,56	550	1131,95	2	4	3,4	200	350	332,9
4.	110 ⁰ C ; 75 X; S1	16	19,24	3	5	3,68	550	1771,17		4	2,6	200	350	681,2
5.	110 ⁰ C ; 75 X; S2	16	19,97	3	5	4,55	550	1413,99		4	2,2	200	350	642,7
6.	110 ⁰ C ; 75 X; S3	16	19,63	3	5	4,14	550	1590,74		4	3	200	350	530,3
7.	120 ⁰ C ; 90 X; S1	16	19,99	3	5	4,57	550	1733,65		4	3,1	200	350	559,2
8.	120 ⁰ C ; 90 X; S2	16	18,87	3	5	3,24	550	1811,67		4	3,3	200	350	549
9.	120 ⁰ C ; 90 X; S3	16	19,72	3	5	4,25	550	1712,25		4	3,3	200	350	518,9

4.5 Analisa Grafik Marshall

Berdasarkan hasil pengujian Marshall diatas, maka didapat grafik-grafik sebagai berikut,

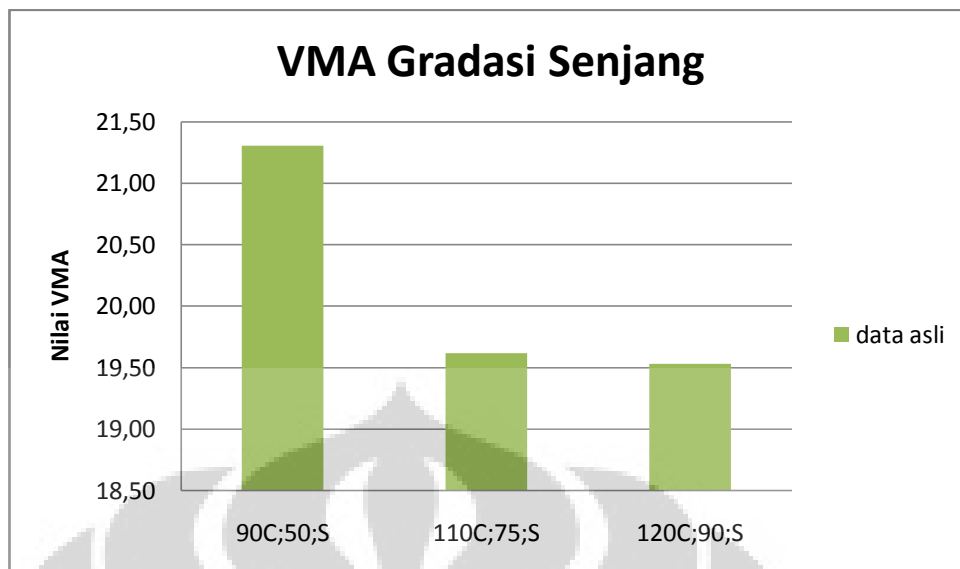
4.5.1 Grafik VMA pada Sampel Gradasi Menerus dan Gradasi Senjang HRS

Berdasarkan nilai marshall pada tabel 4-28, maka didapatkan



Gambar 4-26 : Grafik VMA pada Gradasi Menerus

Berdasarkan nilai marshall pada tabel 4-29, maka didapatkan



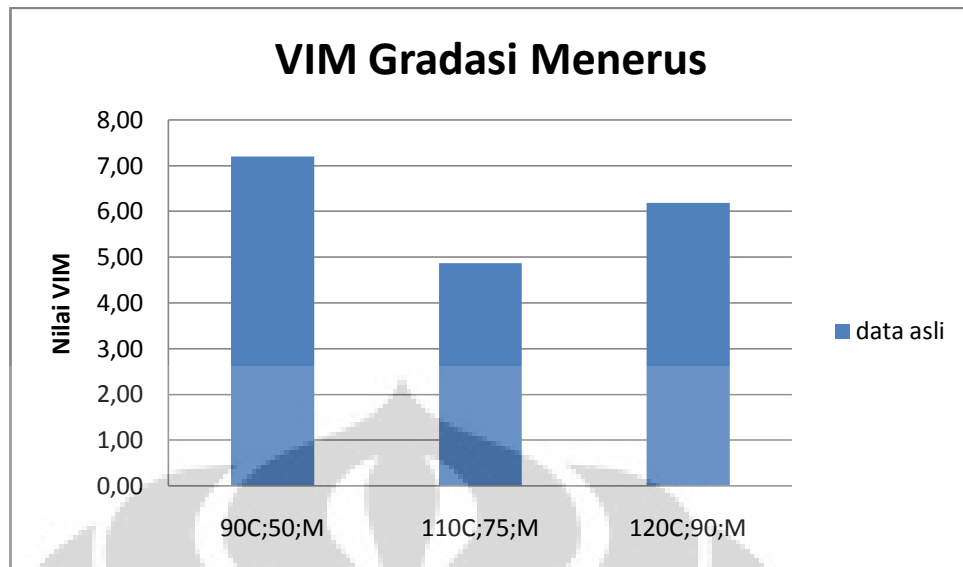
Gambar4-27: Grafik VMA pada Gradasi Senjang

Pada kedua grafik diatas, kondisi nilai VMA pada Sampel Gradasi menerus dan Senjang dapat dijelaskan sebagai berikut :

- VMA pada Sampel dengan Gradasi Menerus menunjukkan nilai paling tinggi pada sampel 120 c, 2x90 dan 90 c, , sedangkan menurut data asli nilai VMA paling tinggi ada pada sampel 90 c 2x 50 tumbukan
- VMA pada sampel dengan gradasi senjang menunjukkan nilai Vma tertinggi pada sampel 90c dan 2x 50 tumbukan menurut data asli
- Nilai Vma pada gradasi senjang lebih tinggi pada semua rentang tumbukan Hal diatas terjadi karena pada sampel dengan gradasi senjang, rongga yang terbentuk pada aspal lebih banyak karena terdapat gap material agregat.

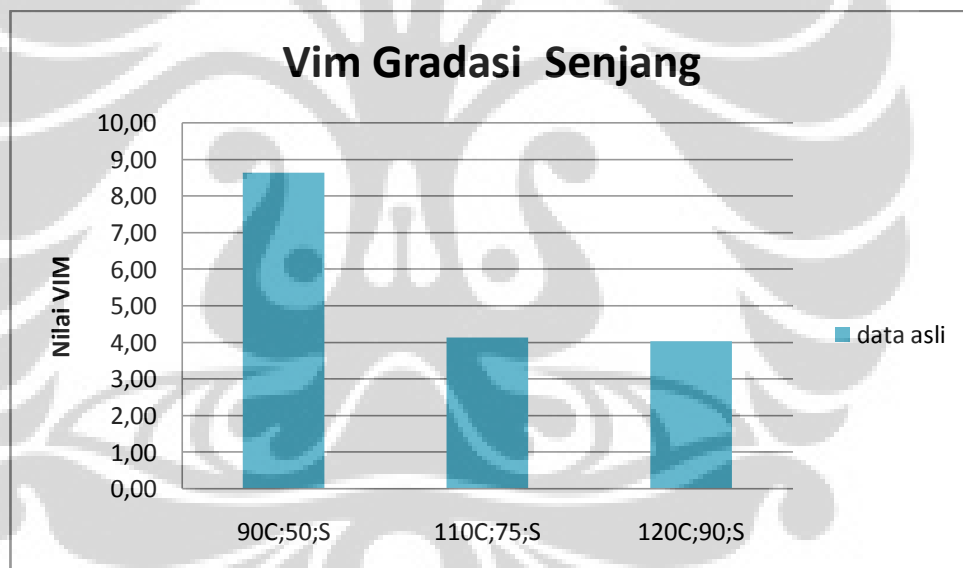
4.5.2 Grafik untuk VIM pada Sampel Gradasi Menerus dan Gradasi Senjang HRS

Berdasarkan nilai marshall pada tabel 4-28, maka didapatkan



Gambar 4-28: Grafik VIM pada Gradasi Menerus

Berdasarkan nilai marshall pada tabel 4-29, maka didapatkan



Gambar4-29: Grafik VIM pada Gradasi Senjang

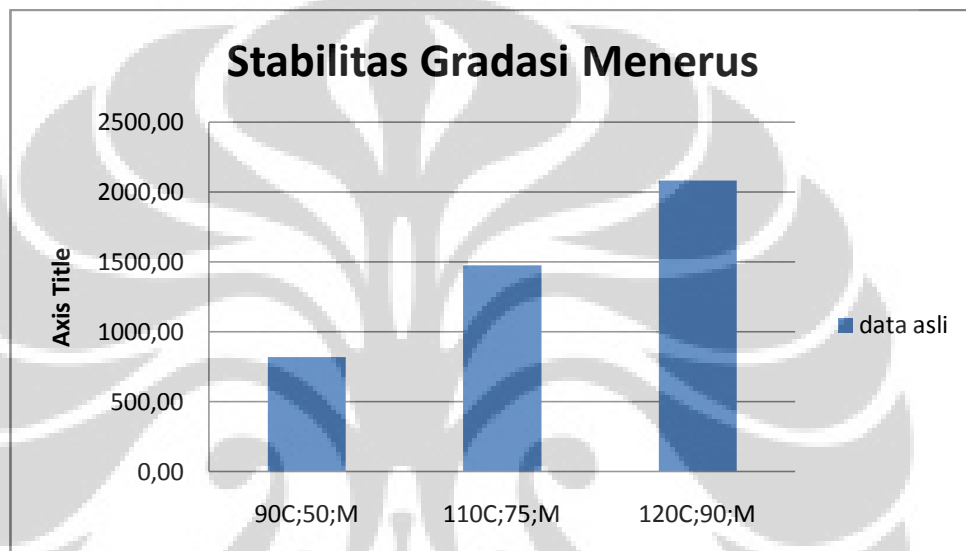
Pada kedua grafik diatas, kondisi nilai VIM pada Sampel Gradasi menerus dan Senjang dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Pada sampel dengan gradasi menerus, nilai Vim paling besar berada pada 90°C 2x50 tumbukan , dan 120°C 2x 90 tumbukan
- Pada sampel dengan gradasi senjang nilai Vim paling besar ada pada sampel 90°C 2x50 tumbukan dan menurun pada sampel 110°C 2x 75 tumbukan dan 120°C 2x 90 tumbukan

- Vim sampel gradasi senjang lebih besar yaitu tertinggi sebesar 8,63 pada sampel 90⁰C 2x50 tumbukan, tetapi untuk sampel 110⁰C 2x 75 tumbukan dan 120⁰C 2x 90 tumbukan nilai VIM sampel gradasi menerus lebih besar

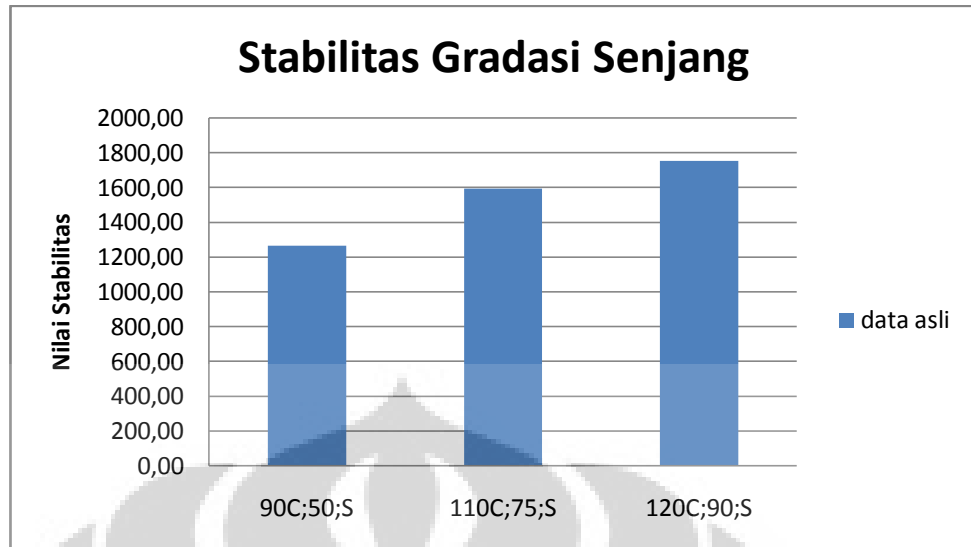
4.5.3 Grafik untuk Stabilitas pada Sampel Gradasi Menerus dan Gradasi Senjang HRS

Berdasarkan nilai marshall pada tabel 4-28, maka didapatkan stabilitas gradasi sesuai gambar 4-30 dan 4-31



Gambar 4-30: Grafik Stabilitas pada Gradasi Menerus

Berdasarkan nilai marshall pada tabel 4-29, maka didapatkan stabilitas gradasi senjang sesuai gambar 4-29



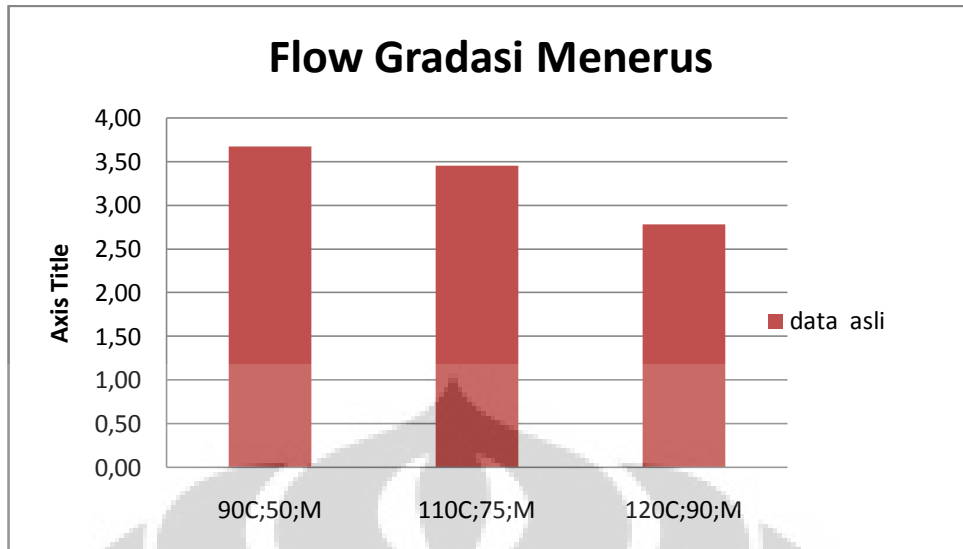
Gambar4-31: Grafik Stabilitas pada Gradasi Senjang

Pada kedua grafik diatas, kondisi nilai Stabilitas pada Sampel Gradasi menerus dan Senjang dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Pada sampel gradasi menerus,dengan menggunakan data awal, yang paling tinggi berada pada sampel 120⁰C, 2x 90 tumbukan
- Pada sampel gradasi senjang juga menunjukkan kenaikan dengam menggunakan data awal nilai stabilitas tertinggi berada pada tumbukan 120 90
- Stabilitas sampel gradasi senjang memiliki stabilitas yang lebih tinggi pada semua variasi tumbukan dan suhu

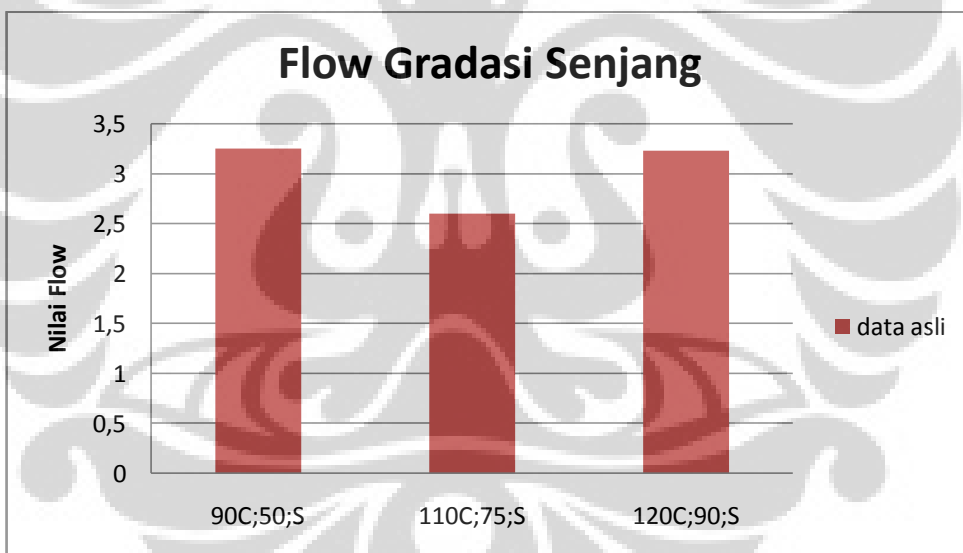
4.5.4 Grafik untuk Flow pada Sampel Gradasi Menerus dan Gradasi Senjang HRS

Berdasarkan nilai marshall pada tabel 4-28, maka didapatkan nilai flow gradasi menerus sesuai gambar 4-30



Gambar 4-32: Grafik Flow pada Gradasi Menerus

Berdasarkan nilai marshall pada tabel 4-29, maka didapatkan nilai flow pada gradasi senjang sesuai gambar 4-31



Gambar 4-33 : Grafik Flow pada Gradasi Senjang

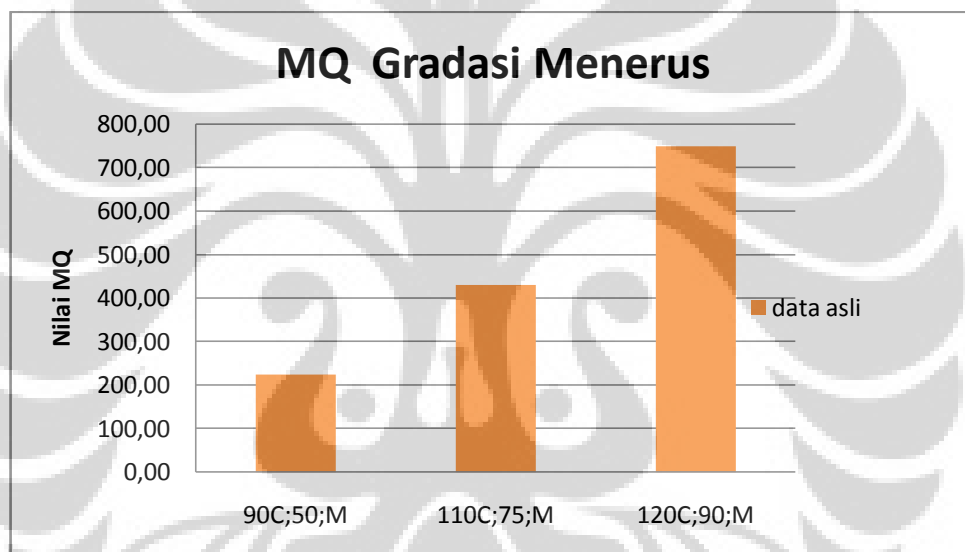
Pada kedua grafik diatas, kondisi nilai Flow pada Sampel Gradasi menerus dan Senjang dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Tren Flow pada sampel gradasi menerus menunjukkan penurunan berdasarkan data awal nilai paling besar ada pada sampel 90⁰C 2x50 tumbukan

- Tren flow pada sampel dengan gradasi senjang, menunjukkan penurunan kecuali pada sampel dengan suhu 120°C dengan 2X 90 Tumbukan menunjukkan
- Flow pada sampel dengan gradasi Menerus lebih besar nilainya dibanding Flow pada sampel gradasi senjang pada semua variasi tumbukan dan suhu

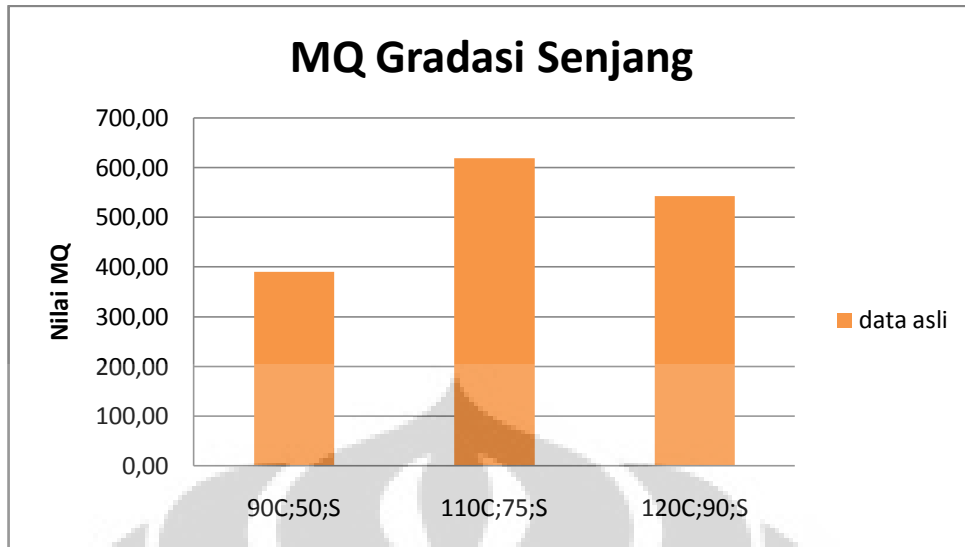
4.5.5 Grafik untuk MQ pada Sampel Gradasi Menerus dan Gradasi Senjang HRS

Berdasarkan nilai marshall pada tabel 4-28, maka didapatkan nilai MQ gradasi menerus sesuai gambar 4-32



Gambar 4-34 :Grafik MQ pada Gradasi Menerus

Berdasarkan nilai marshall pada tabel 4-28, maka didapatkan nilai MQ gradasi senjang sesuai gambar 4-33



Gambar 4-35: Grafik MQ pada Gradasi Senjang

Pada kedua grafik diatas, kondisi nilai Marshall Quotient pada Sampel Gradasi menerus dan Senjang dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Tren Marshall quotient pada sampel dengan gradasi menerus menunjukkan kenaikan berdasarkan data awal, dan nilai paling tinggi ada di suhu 120°C 2x90 tumbukan
- Tren Marshall quotient pada sampel dengan gradasi Senjang menunjukkan kenaikan berdasarkan data awal dan penurunan pada sampel 120°C 2x 90, nilai Mq tertinggi ada pada sampel dengan suhu 110°C dan 2x75 tumbukan
- Nilai MQ pada gradasi senjang lebih tinggi pada sampel dengan suhu tumbukan 90°C 2x50 tumbukan, 110°C dan 2x75 tumbukan. Tetapi pada sampel 120°C 2x 90 nilai MQ lebih besar pada sampel gradasi menerus.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- Deformasi yang terjadi pada sampel dengan suhu 90⁰C 2x50 tumbukan, 110⁰C 2x50 tumbukan, 120⁰C 2x50 tumbukan menunjukkan kenaikan sesuai bertambahnya jumlah tumbukan, nilai deformasi pada gradasi menerus lebih besar dibanding gradasi senjang
- Kecepatan deformasi yang terjadi pada gradasi menerus lebih besar pada semua variasi sampel, sehingga deformasi yang terjadi pun lebih besar
- Sampel dengan selisih temperatur akhir yang lebih menurun memiliki nilai deformasi yang lebih kecil
- Nilai Vma pada gradasi senjang lebih tinggi pada semua rentang tumbukan Hal diatas terjadi karena pada sampel dengan gradasi senjang, rongga yang terbentuk pada aspal lebih banyak karena terdapat gap material agregat.
- Vim sampel gradasi senjang lebih besar yaitu tertinggi sebesar 8,63 pada sampel 90⁰C 2x50 tumbukan, tetapi untuk sampel 110⁰C 2x 75 tumbukan dan 120⁰C 2x 90 tumbukan nilai VIM sampel gradasi menerus lebih besar
- Stabilitas sampel gradasi senjang memiliki stabilitas yang lebih tinggi pada semua variasi tumbukan dan suhu
- Flow pada sampel dengan gradasi Menerus lebih besar nilainya dibanding Flow pada sampel gradasi senjang pada semua variasi tumbukan dan suhu
- Nilai MQ pada gradasi senjang lebih tinggi pada sampel dengan suhu tumbukan 90⁰C 2x50 tumbukan, 110⁰C dan 2x75 tumbukan. Tetapi pada sampel 120⁰C 2x 90 nilai MQ lebih besar pada sampel gradasi menerus

5.2 Saran

- Dalam penelitian selanjutnya perlu dilakukan penambahan sampel lebih lanjut untuk mengetahui karekteristik variasi gradasi yang terjadi.

- Perlu dibuat alat yang bisa menjaga suhu agar tetap konstan selama percobaan



DAFTAR PUSTAKA

Standar Nasional Indonesia. 2002. *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara Bagian 4 : Aspal Batu Buton (Asbuton), Perkerasan Jalan edisi pertama*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Jakarta : Badan Penelitian dan Pengembangan.

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Divisi 6 Perkerasan Beraspal, Seksi 6.3 Campuran beraspal Panas.

Silvia Sukarman, *Beton Aspal campuran panas*. Yayasan Obor Indonesia : 1993 Revisi SNI 03-1737-1989. *Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas*. Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, Indonesia.

Buku Panduan Praktikum Pemeriksaan Bahan Perkerasan Jalan. Laboratorium Struktur dan Material Departemen Sipil FTUI, Depok.

Krebs, Robert D. dan Walker, Richard D. 1971. *Highway Materials*. New York : McGraw Hill Book Company.

Dr Robert and hunters, *Bituminous in road construction*. 1994

D.U, Darsono. 1985. *Rencana Campuran (Mix Desain)*. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum Badan Penerbit Pekerjaan Umum

No. 025/T/BM/1999 Lampiran No. 3 Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga No. 76/KPTS/Db/1999 Tanggal 20 Desember 1999. *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*. Jakarta : Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

LAMPIRAN A

PENGUJIAN MATERIAL



**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL (PA-0301-76, AASHTO T-49-80,
ASTM D-5-97)**

Jenis Contoh : Aspal Keras
Sumber : Aspal Shell
Tanggal : 29 April 2010 & 3 Mei 2010

Penetrasi pada 25⁰C, 5 detik, 100 gram

PERCOBAAN I	1	2	3	4	5	rata-rata (mm)
Benda Uji 1	62	61	63	62	62	62
Benda Uji 2	61	62	61	63	63	62

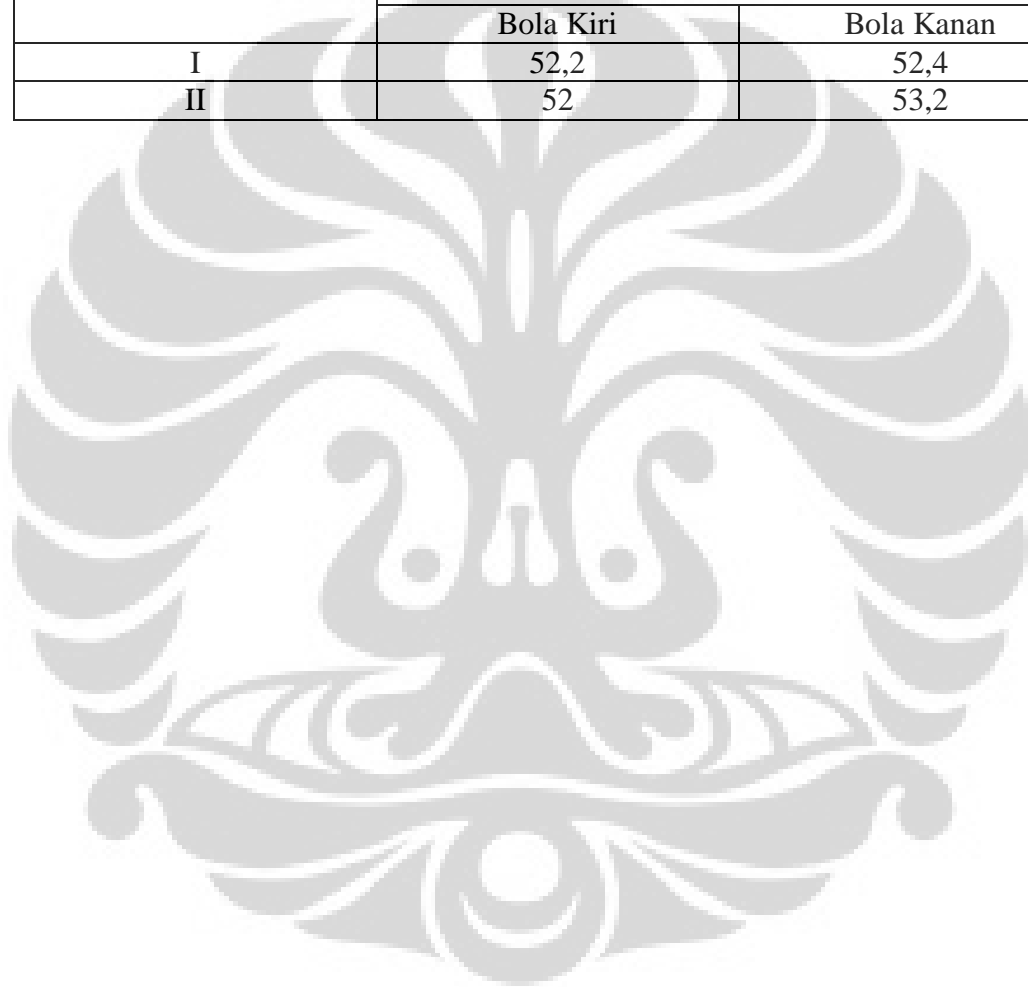
Penetrasi Setelah Kehilangan Berat pada 25⁰C, 5 detik, 100 gram

PERCOBAAN II	1	2	3	4	5	rata-rata (mm)
Benda Uji 1	51	50	52	49	52	50,8
Benda Uji 2	54	54	52	52	51	52,6

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL (PA-0302-76, AASHTO T-53-81,
ASTM D-36-95)**

Jenis Contoh : Aspal Keras
Sumber : Aspal Shell
Tanggal : 28 April 2010

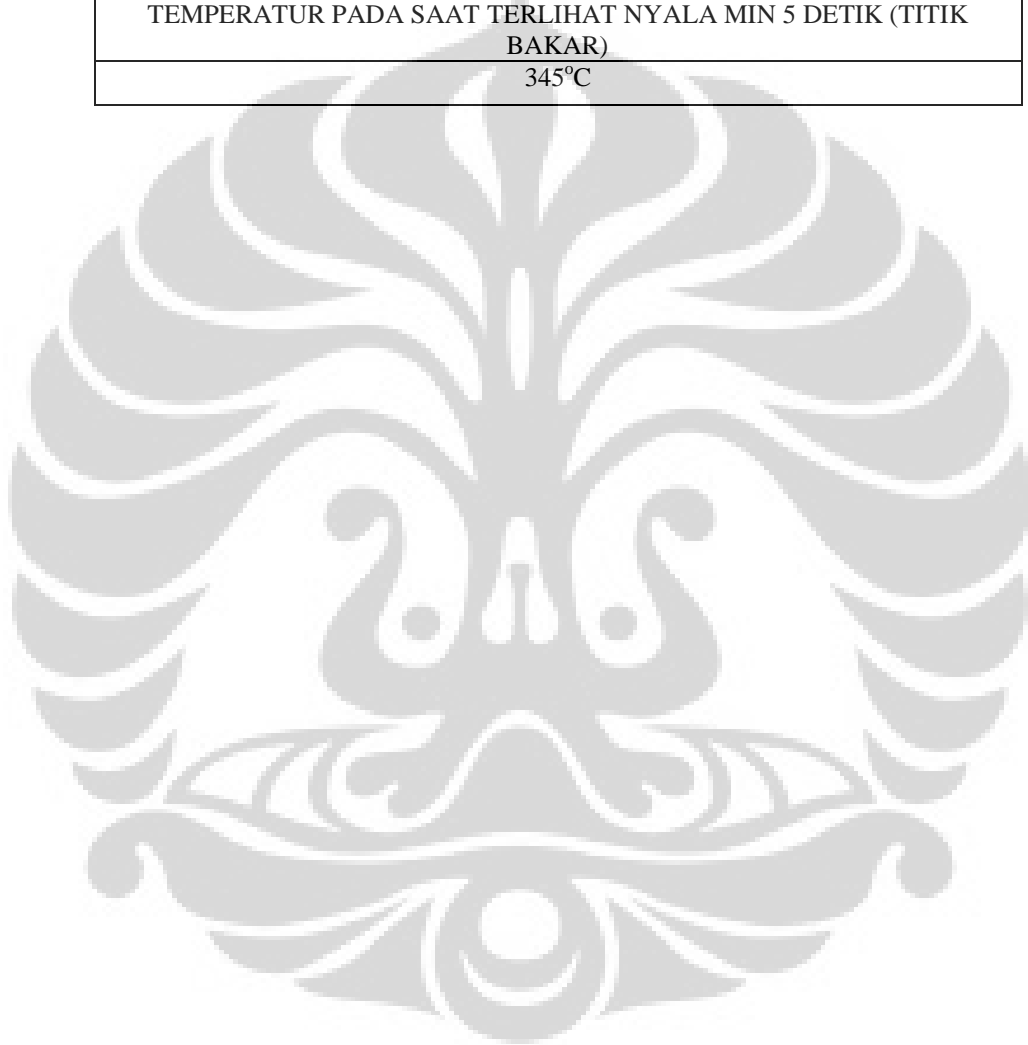
PERCOBAAN	TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR	
	Bola Kiri	Bola Kanan
I	52,2	52,4
II	52	53,2



PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN TITIK BAKAR ASPAL (PA-0303-76, AASHTO T-48-81, ASTM D-92-02)

Jenis Contoh : Aspal Keras
Sumber : Aspal Shell
Tanggal : 29 April 2010

TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA SINGKAT (TITIK NYALA)
332°C
TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA MIN 5 DETIK (TITIK BAKAR)
345°C



PEMERIKSAAN PENURUNAN BERAT MINYAK DAN ASPAL (PA-0304-76, AASHTO T-47-82, ASTM D-6-95)

Jenis Contoh : Aspal Keras
 Sumber : Aspal Shell
 Tanggal : 29 April 2010 & 30 April 2010

CAWAN 1	BERAT SEBELUM PEMANASAN	BERAT SETELAH PEMANASAN
	(A) gram	(B) gram
Cawan + Aspal	88,5	88,35
Cawan		
Aspal		
Penurunan Berat (%)	0,169491525	

CAWAN 2	BERAT SEBELUM PEMANASAN	BERAT SETELAH PEMANASAN
	(A) gram	(B) gram
Cawan + Aspal	90,1	89,7
Cawan		
Aspal		
Penurunan Berat (%)	0,443951165	

**PEMERIKSAAN KELARUTAN BITUMEN ASPAL KARBON TETRA
KLORIDA (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-97)**

Jenis Contoh : Aspal Keras
Sumber : Aspal Shell
Tanggal : 27 April 2010

PEMERIKSAAN I	NOTASI	BERAT
		gram
Berat Tabung Erlenmeyer	A	110,8
Berat Tabung Erlenmeyer + Benda Uji	B	112,8
Berat Kertas Saring	C	4,25
Berat Kertas Saring + Endapan	D	4
Kadar Kelarutan (%)		99,75

**PEMERIKSAAN DAKTILITAS BAHAN-BAHAN BITUMEN (PA-0306-76,
AASHTO T-51-81, ASTM D-113-79)**

Jenis Contoh : Aspal Keras
 Sumber : Aspal Shell
 Tanggal : 28 April 2010

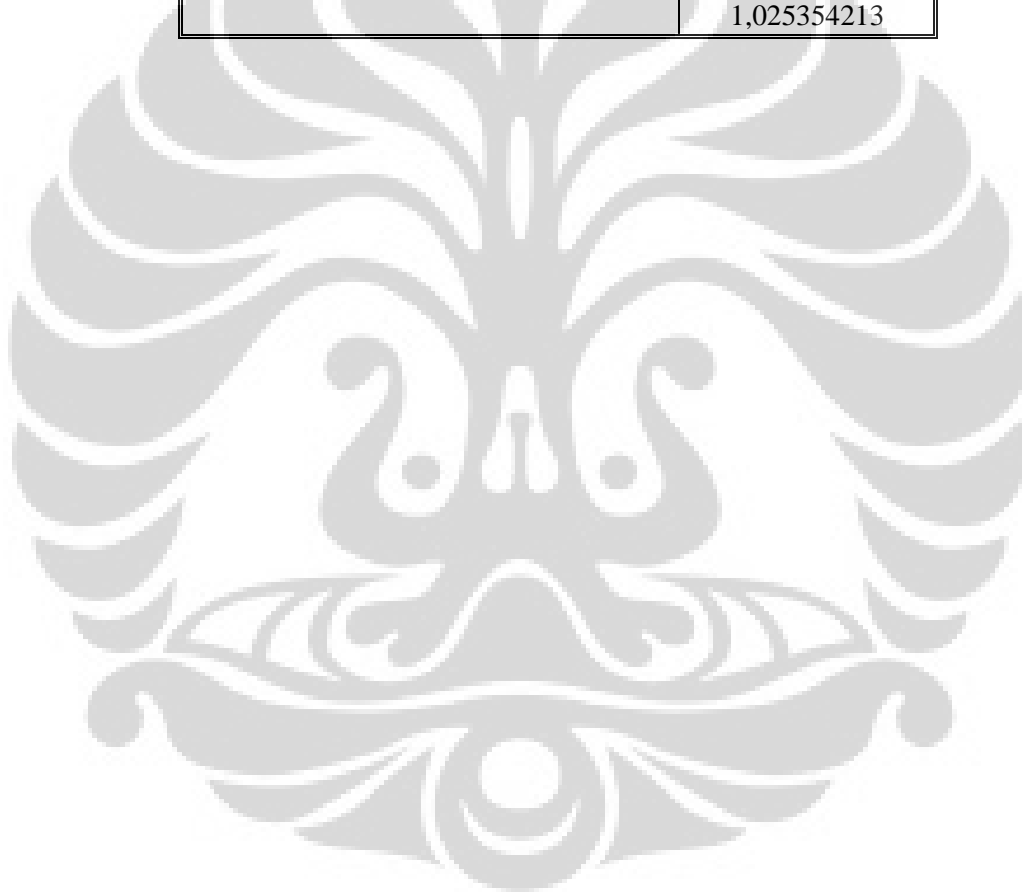
Proses	Waktu		Suhu
	Mulai	Selesai	
Pemanasan			
Pendinginan			
Perendaman			25°C
Pemeriksaan			25°C

No	Waktu	jarak (mm)
1	1	43
2	2	92
3	3	160
4	4	188
5	5	235
6	6	288
7	7	340
8	8	390
9	9	475
10	10	525
11	11	576
12	12	629
13	13	680
14	14	732
15	15	784
16	16	835
17	17	885
18	18	938
19	19	988
20	20	1034
Rata-rata		51,7 mm/menit

PEMERIKSAAN BERAT JENIS BITUMEN (PA-0307-76, AASHTO T-228-79, ASTM D-70-03)

Jenis Contoh : Aspal Keras
Sumber : Aspal Shell
Tanggal : 27 April 2010

BERAT PIKNOMETER	A	27,9
BERAT PIKNOMETER + AIR	B	50,28
BERAT PIKNOMETER + ASPAL	C	41,65
BERAT PIKNOMETER + AIR + ASPAL	D	50,62
BERAT JENIS BITUMEN	1,025354213	



**PEMERIKSAAN ANALISA BUTIRAN (WASH GRADING)
(PB-0201-76, AASHTO T-27-82, ASTM D-136-04)**

Jenis Contoh : Agregat
Sumber : Gunung Sindur
Tanggal : 27 April 2010

Saringan No	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lewat
3/4	19,1	32	1,60	98,40
1/2	12,7	1817	90,94	7,46
3/8	9,52	136	6,81	0,65
4	4,76	5	0,25	0,40
8	2,38	0	0,00	0,40
pan		8	0,40	0,00
Total Berat Agregat Kasar		1998	100,00	
1/2	12,7	47	2,34	97,66
3/8	9,52	351	17,51	80,15
4	4,76	1241	61,90	18,25
8	2,38	308	15,36	2,89
30	0,59	42	2,09	0,80
pan		16	0,80	0,00
Total Berat Agregat Medium		2005	100,00	
4	4,76	175	17,50	82,50
8	2,38	251	25,10	57,40
30	0,59	256	25,60	31,80
50	0,279	95	9,50	22,30
100	0,149	74	7,40	14,90
200	0,074	93	9,30	5,60
pan		56	5,60	0,00
Total Berat Agregat Halus		1000	100,00	

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR
DAN MEDIUM
(PB-0202-76, AASHTO T-85-81, ASTM D-127-04)**

Jenis Contoh : Agregat Kasar & Medium
 Sumber : Gunung Sindur
 Tanggal : 28 April 2010

Notasi	Keterangan	Kasar	Medium	Satuan
Bj	BERAT CONTOH SSD DI UDARA	5066	5092	gr
Ba	BERAT CONTOH SSD DI DALAM AIR	3068	3095	gr
Bk	BERAT CONTOH KERING OVEN	5000	5000	gr

		Kasar	Medium
BULK SP GRAVITY	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2,502503	2,50375563
SSD. SG	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2,535536	2,54982474
APP. SG	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,587992	2,62467192
WATER ABSORPTION	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	1,32	1,84

**BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS (PB-0203-76,
AASHTO T-84-81, ASTM D-128-04)**

Jenis Contoh : Agregat Halus
 Sumber : Gunung Sindur
 Tanggal : 28 April 2010 & 29 April 2010

Notasi	Keterangan	Berat	Satuan
A	BERAT CONTOH JENUH	500	gram
Bk	BERAT CONTOH KERING OVEN	495	gram
B	BERAT PIKNOMETER BERISI AIR	668	gram
Bt	BERAT PIKNOMETER BERISI BENDA UJI DAN AIR	979	gram

BULK SP GRAVITY	$\frac{Bk}{B + 500 - Bt}$	2,61905
SSD. SG	$\frac{500}{B + 500 - Bt}$	2,6455
APP. SG	$\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	2,69022
WATER ABSORPTION	$\frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\%$	1,0101

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN DATA MARSHALL UNTUK KADAR
ASPAL OPTIMUM



KETERANGAN :

a = % aspal terhadap campuran

b = tinggi benda uji

c = berat (gram)

d = berat dalam keadaan jenuh (gram)

e = berat dalam air (gram)

f = isi (ml) = d - e

g = berat isi benda uji = c/f

h = berat jenis teoritis

k = jumlah kandungan rongga (%) = 100-i-j

l = % rongga terhadap agregat = 100-j

m = % rongga terisi aspal = 100xi/j

n = % rongga terhadap campuran = 100-(100.g/h)

o = pembacaan arloji stabilitas

p = stabilitas = o x kalibrasi alat

q = stabilitas = p x kolerasi tinggi

r = kelelahan (mm)

s = nilai marshall = stabilitas/kelelahan

s = q/r (kg/mm)

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

Berat Jenis campuran menerus

Agregat	Bj. Apparent (gr/ml)	Bj. Bulk (gr/ml)	Bj (gr/ml)	% campuran	Bj. Campuran (gr/ml)
Kasar	2,59	2,50	2,55	10	2,62
Medium	2,62	2,50	2,56	30	
Halus	2,69	2,62	2,65	58	
Filler	-	-	3,14	2	

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

Berat Jenis Teoritis menerus

% Aspal	% Agregat	Bj. Campuran (gr/ml)	Bj. Aspal (gr/ml)	Bj. Teoritis (gr/ml)
5,85	94,15	2,62	1,0253542	2,40

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

KETERANGAN :

a = % aspal terhadap campuran

b = tinggi benda uji

c = berat
(gram)

d = berat dalam keadaan jenuh (gram)

e = berat dalam air (gram)

f = isi (ml) = d - e

g = berat isi benda uji = c/f

h = berat jenis teoritis

k = jumlah kandungan rongga (%) = 100-i-j

l = % rongga terhadap agregat = 100-j

m = % rongga terisi aspal = 100xi/j

n = % rongga terhadap campuran = 100-(100.g/h)

o = pembacaan arloji stabilitas

p = stabilitas = o x kalibrasi alat

q = stabilitas = p x kolerasi tinggi

r = keelehan (mm)

s = nilai marshall = stabilitas/keelehan

s = q/r (kg/mm)

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

Berat Jenis campuran senjang

Agregat	Bj. Apparent (gr/ml)	Bj. Bulk (gr/ml)	Bj (gr/ml)	% campuran	Bj. Campuran (gr/ml)
Kasar	2,59	2,50	2,55	10	2,62
Medium	2,62	2,50	2,56	30	
Halus	2,69	2,62	2,65	60	
Filler	-	-	-	-	

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

Berat Jenis Teoritis senjang

% Aspal	% Agregat	Bj. Campuran (gr/ml)	Bj. Aspal (gr/ml)	Bj. Teoritis (gr/ml)
6,9	93,1	2,62	1,0253542	2,37

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

**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL**

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp. (021) 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

SPESIFIKASI BENDA UJI MARSHALL

Nama : Dikerjakan :
Judul : penelitian skripsi Diperiksa :
Jenis contoh : sampel gradasi menerus Tanggal :

Benda uji	Diameter (cm)	Tinggi (cm)				W _{kering udara} (gram)	W _{dalam air} (gram)	W _{jenuh} (gram)	
		1	2	3	rata-rata				
5 % aspal	1	10	67,65	66,50	67,90	67,35	1177,00	675,00	1186,50
	2	10	68,00	67,90	67,60	67,83	1189,00	680,50	1199,00
	3	10	67,65	67,70	66,60	67,32	1178,50	679,00	1187,00
5.5 % aspal	1	10	67,30	66,35	66,80	66,82	1176,50	675,00	1186,50
	2	10	67,55	67,40	66,90	67,28	1180,00	677,50	1191,00
	3	10	67,80	67,20	68,00	67,67	1196,00	685,00	1207,00
6 % aspal	1	10	69,00	69,00	69,00	69,00	1190,50	682,50	1206,00
	2	10	67,30	67,50	67,40	67,40	1195,50	683,00	1206,50
	3	10	67,00	66,25	67,20	66,82	1194,00	681,00	1201,00
6.5 % aspal	1	10	67,00	66,90	66,80	66,90	1190,00	671,00	1195,50
	2	10	66,60	65,30	65,70	65,87	1189,00	670,00	1193,50
	3	10	68,40	68,40	67,80	68,20	1189,00	673,50	1199,50



KETERANGAN :

a = % aspal terhadap campuran

b = tinggi benda uji

c = berat (gram)

d = berat dalam keadaan jenuh (gram)

e = berat dalam air (gram)

f = isi (ml) = d - e

g = berat isi benda uji = c/f

h = berat jenis teoritis

k = jumlah kandungan rongga (%) = 100-i-j

l = % rongga terhadap agregat = 100-j

m = % rongga terisi aspal = 100xi/j

n = % rongga terhadap campuran = 100-(100.g/h)

o = pembacaan arloji stabilitas

p = stabilitas = o x kalibrasi alat

q = stabilitas = p x kolerasi tinggi

r = kelelahan (mm)

s = nilai marshall = stabilitas/kelelahan

s = q/r (kg/mm)

$$i = \frac{a \times g}{\text{Bj. Aspal}}$$

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

Berat Jenis campuran

Agregat	Bj. Apparent (gr/ml)	Bj. Bulk (gr/ml)	Bj (gr/ml)	% campuran	Bj. Campuran (gr/ml)
Kasar	2,59	2,50	2,55	10	2,62
Medium	2,62	2,50	2,56	30	
Halus	2,69	2,62	2,65	58	
Filler	-	-	3,14	2	

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

Berat Jenis Teoritis

% Aspal	% Agregat	Bj. Campuran (gr/ml)	Bj. Aspal (gr/ml)	Bj. Teoritis (gr/ml)
5	95	2,62	1,0253542	2,43
5,5	94,5			2,42
6	94			2,40
6,5	93,5			2,38

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



LABORATORIUM BAHAN

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

suhu pencampuran : 135°C

suhu pematatan : 110°C

suhu percobaan : 60°C

berat jenis aspal : 1,0254

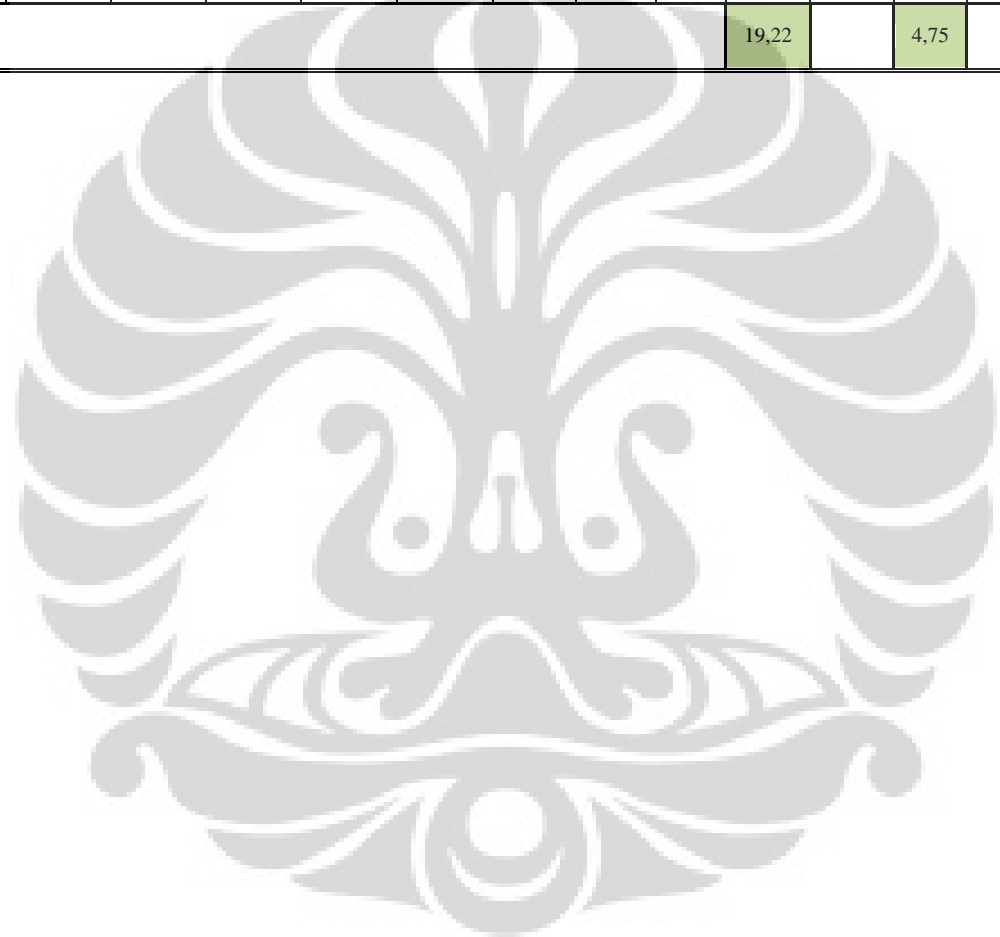
berat jenis agregat efektif : 2,6237

MARSHALL TEST

Kalibrasi alat : 23,01411

Benda uji		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	Korelasi	q	r	s
		(%)	(mm)	(gram)	(gram)	(gram)	(ml)	(gr/ml)	(gr/ml)			(%)	(%)	(%)	(%)			Tinggi	(kg)	(mm)	(kg/mm)
5 % aspal	1	5	67,35	1177,00	1186,50	675,00	511,50	2,30	2,43	11,22	83,32	5,46	16,68	67,26	5,31	39,00	897,55	0,878	787,88	3,30	238,75
	2	5	67,83	1189,00	1199,00	680,50	518,50	2,29	2,43	11,18	83,03	5,79	16,97	65,90	5,63	42,00	966,59	0,869	839,73	3,50	239,92
	3	5	67,32	1178,50	1187,00	679,00	508,00	2,32	2,43	11,31	84,00	4,69	16,00	70,70	4,53	39,00	897,55	0,878	788,44	3,30	238,92
	rata-rata												16,55		5,16				805,35	3,37	239,20
5,5 % aspal	1	5,5	66,82	1176,50	1186,50	675,00	511,50	2,30	2,42	12,34	82,84	4,82	17,16	71,92	4,95	52,00	1196,73	0,888	1062,48	3,10	342,73
	2	5,5	67,28	1180,00	1191,00	677,50	513,50	2,30	2,42	12,33	82,77	4,91	17,23	71,53	5,04	45,00	1035,63	0,879	910,39	3,20	284,50
	3	5,5	67,67	1196,00	1207,00	685,00	522,00	2,29	2,42	12,29	82,52	5,19	17,48	70,32	5,32	50,00	1150,71	0,872	1003,27	3,55	282,61
	rata-rata												17,29		5,11				992,04	3,28	303,28
6 % aspal	1	6	69,00	1190,50	1206,00	682,50	523,50	2,27	2,40	13,31	81,47	5,22	18,53	71,83	5,25	56,00	1288,79	0,853	1099,63	3,30	333,22
	2	6	67,40	1195,50	1206,50	683,00	523,50	2,28	2,40	13,36	81,82	4,82	18,18	73,49	4,85	56,00	1288,79	0,877	1130,11	3,50	322,89
	3	6	66,82	1194,00	1201,00	681,00	520,00	2,30	2,40	13,44	82,26	4,30	17,74	75,76	4,33	54,00	1242,76	0,888	1103,34	3,50	315,24

	rata-rata												18,15		4,81				1111,03	3,43	323,78
6,5 % aspal	1	6,5	66,90	1190,00	1195,50	671,00	524,50	2,27	2,38	14,38	80,85	4,76	19,15	75,12	4,67	35,00	805,49	0,886	713,87	3,30	216,32
	2	6,5	65,87	1189,00	1193,50	670,00	523,50	2,27	2,38	14,40	80,94	4,66	19,06	75,54	4,57	49,00	1127,69	0,930	1048,75	3,90	268,91
	3	6,5	68,20	1189,00	1199,50	673,50	526,00	2,26	2,38	14,33	80,55	5,12	19,45	73,69	5,02	46,00	1058,65	0,862	912,42	3,90	233,95
	rata-rata												19,22		4,75				891,68	3,70	239,73



**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL**

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Indonesia Telp. (021) 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

SPESIFIKASI BENDA UJI MARSHALL

Nama : Dikerjakan :
Judul : penelitian skripsi Diperiksa :
Jenis contoh : sampel gradasi senjang (HRS WC) Tanggal :

Benda uji		Diameter (cm)	Tinggi (cm)				$W_{\text{kering udara}}$ (gram)	$W_{\text{dalam air}}$ (gram)	W_{jenuh} (gram)
			1	2	3	rata-rata			
5 % aspal	1	10	69,50	69,95	68,50	69,32	1186,00	675,00	1199,00
	2	10	70,70	71,10	71,20	71,00	1197,00	676,00	1211,50
	3	10	70,60	70,45	69,80	70,28	1198,50	677,00	1213,50
5.5 % aspal	1	10	68,75	68,20	69,80	68,92	1192,00	679,00	1205,00
	2	10	69,40	70,25	70,45	70,03	1192,00	680,00	1206,00
	3	10	68,95	68,20	69,80	68,98	1193,00	679,00	1205,00
6 % aspal	1	10	69,20	68,75	69,00	68,98	1181,00	677,00	1195,00
	2	10	67,65	68,80	68,95	68,47	1182,50	679,50	1196,00
	3	10	67,15	68,30	68,25	67,90	1186,00	680,00	1199,50
6.5 % aspal	1	10	68,10	69,15	68,80	68,68	1192,50	680,00	1204,50
	2	10	69,00	68,85	68,30	68,72	1190,00	679,00	1202,00
	3	10	67,55	67,20	68,60	67,78	1188,50	679,00	1201,00
7 % aspal	1	10	68,30	69,30	68,45	68,68	1187,00	670,00	1195,00
	2	10	71,05	71,80	71,40	71,42	1251,50	675,00	1262,00
	3	10	67,70	68,80	68,00	68,17	1191,50	678,00	1202,00
7.5 % aspal	1	10	67,55	66,80	67,10	67,15	1190,00	673,50	1197,50
	2	10	67,10	67,00	67,80	67,30	1185,50	671,00	1193,00
	3	10	66,15	65,60	66,85	66,20	1184,00	670,50	1192,00

KETERANGAN :

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

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

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

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

Berat Jenis campuran

Agregat	Bj. Apparent (gr/ml)	Bj. Bulk (gr/ml)	Bj (gr/ml)	% campuran	Bj. Campuran (gr/ml)
Kasar	2,59	2,50	2,55	10	2,62
Medium	2,62	2,50	2,56	30	
Halus	2,69	2,62	2,65	60	
Filler	-	-	-	-	

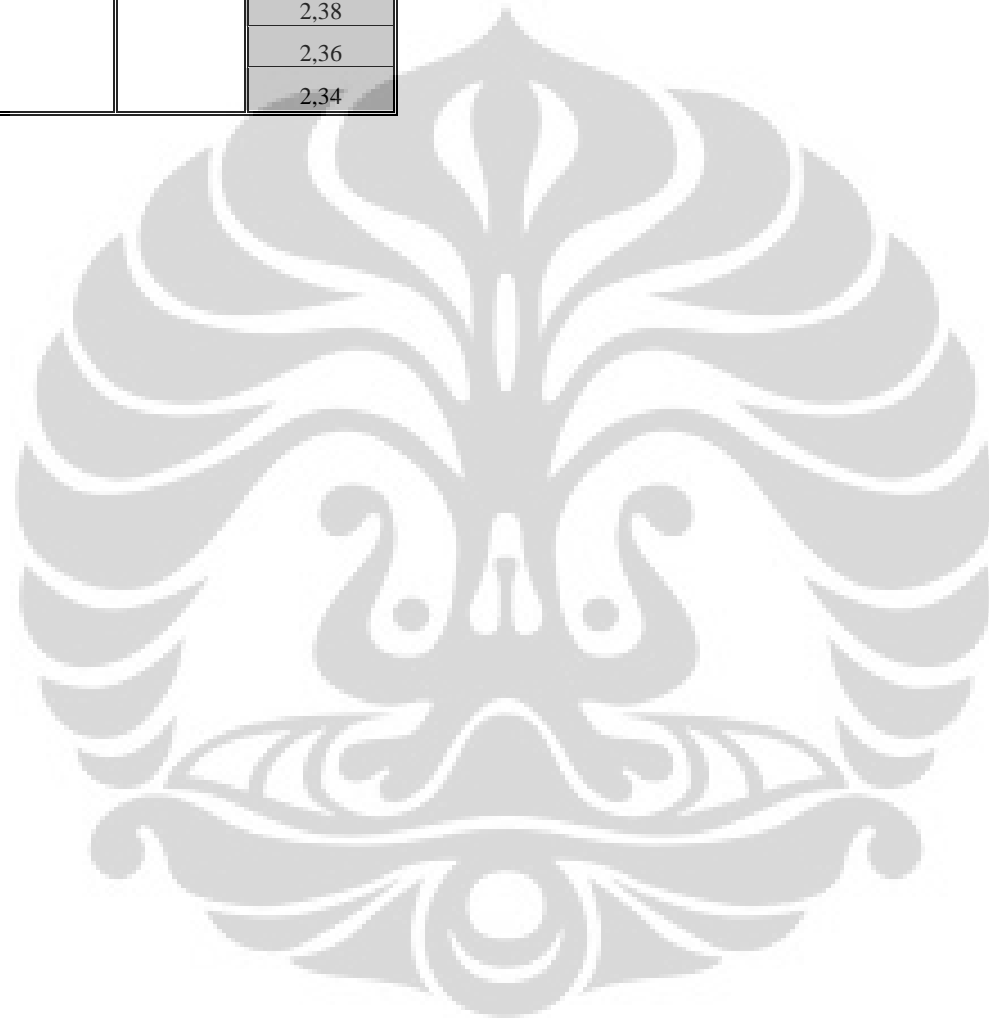
$$\text{Bj. Campuran} = \frac{100}{\frac{\% \text{ Ag. Kasar}}{\text{Bj. Kasar}} + \frac{\% \text{ Ag. Medium}}{\text{Bj. Medium}} + \frac{\% \text{ Ag. Halus}}{\text{Bj. Halus}}}$$

Berat Jenis Teoritis

% Aspal	% Agregat	Bj. Campuran (gr/ml)	Bj. Aspal (gr/ml)	Bj. Teoritis (gr/ml)
5	95			2,43
5,5	94,5			2,41

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

6	94	2,62	1,0253542	2,39
6,5	93,5			2,38
7	93			2,36
7,5	92,5			2,34





LABORATORIUM BAHAN

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

suhu pencampuran : 135°C
 suhu pematangan : 110°C
 suhu percobaan : 60°C
 berat jenis aspal : 1,025354213
 berat jenis agregat efektif : 2,615720611

MARSHALL TEST

Kalibrasi alat : 23,01411

Benda uji		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	Korelasi	q	r	s
		(%)	(mm)	(gram)	(gram)	(gram)	(ml)	(gr/ml)	(gr/ml)			(%)	(%)	(%)	(%)			Tinggi	(kg)	(mm)	(kg/mm)
5 % aspal	1	5	69,32	1186,00	1199,00	675,00	524,00	2,26	2,43	11,04	82,20	6,76	17,80	62,01	6,86	39,00	897,55	0,853	765,81	2,90	264,07
	2	5	71,00	1197,00	1211,50	676,00	535,50	2,24	2,43	10,90	81,18	7,92	18,82	57,93	8,01	39,00	897,55	0,853	765,81	3,20	239,32
	3	5	70,28	1198,50	1213,50	677,00	536,50	2,23	2,43	10,89	81,13	7,97	18,87	57,74	8,07	37,00	851,52	0,853	726,54	2,90	250,53
	rata-rata												18,49		7,65				752,72	3,00	251,31
5,5 % aspal	1	5,5	68,92	1192,00	1205,00	679,00	526,00	2,27	2,42	12,16	81,87	5,97	18,13	67,05	6,36	43,00	989,61	0,860	851,06	3,20	265,96
	2	5,5	70,03	1192,00	1206,00	680,00	526,00	2,27	2,42	12,16	81,87	5,97	18,13	67,05	6,36	44,00	1012,62	0,853	863,99	3,20	270,00
	3	5,5	68,98	1193,00	1205,00	679,00	526,00	2,27	2,42	12,17	81,94	5,89	18,06	67,36	6,28	47,00	1081,66	0,860	930,23	3,10	300,07
	rata-rata												18,11		6,33				881,76	3,17	278,68
6 % aspal	1	6	68,98	1181,00	1195,00	677,00	518,00	2,28	2,40	13,34	81,93	4,73	18,07	73,84	5,00	49,00	1127,69	0,860	969,81	3,10	312,84
	2	6	68,47	1182,50	1196,00	679,50	516,50	2,29	2,40	13,40	82,27	4,33	17,73	75,58	4,61	49,00	1127,69	0,860	969,81	3,10	312,84
	3	6	67,90	1186,00	1199,50	680,00	519,50	2,28	2,40	13,36	82,04	4,60	17,96	74,39	4,88	44,00	1012,62	0,869	879,71	3,20	274,91
	rata-rata												17,92		4,83				939,78	3,13	300,20
6,5 % aspal	1	6,5	68,68	1192,50	1204,50	680,00	524,50	2,27	2,38	14,41	81,27	4,32	18,73	76,95	4,47	51,00	1173,72	0,860	1009,40	3,10	325,61

	2	6,5	68,72	1190,00	1202,00	679,00	523,00	2,28	2,38	14,42	81,33	4,24	18,67	77,27	4,40	59,00	1357,83	0,860	1167,74	3,40	343,45
	3	6,5	67,78	1188,50	1201,00	679,00	522,00	2,28	2,38	14,43	81,39	4,18	18,61	77,54	4,34	56,00	1288,79	0,872	1123,66	3,30	340,50
	rata-rata													18,67		4,40			1100,27	3,27	336,52
7 % aspal	1	7	68,68	1187,00	1195,00	670,00	525,00	2,26	2,36	15,44	80,39	4,18	19,61	78,70	4,20	51,00	1173,72	0,860	1009,40	3,20	315,44
	2	7	71,42	1195,00	1206,00	675,00	531,00	2,25	2,36	15,36	80,01	4,62	19,99	76,87	4,64	52,00	1196,73	0,830	993,29	3,10	320,42
	3	7	68,17	1191,50	1202,00	678,00	524,00	2,27	2,36	15,52	80,85	3,63	19,15	81,04	3,65	51,00	1173,72	0,869	1019,67	3,20	318,65
	rata-rata													19,58		4,16			1007,45	3,17	318,17
7,5 % aspal	1	7,5	67,15	1190,00	1197,50	673,50	524,00	2,27	2,34	16,61	80,31	3,08	19,69	84,36	2,95	48,00	1104,68	0,886	979,02	3,20	305,94
	2	7,5	67,30	1185,50	1193,00	671,00	522,00	2,27	2,34	16,61	80,31	3,08	19,69	84,38	2,95	46,00	1058,65	0,879	930,62	3,40	273,71
	3	7,5	66,20	1184,00	1192,00	670,50	521,50	2,27	2,34	16,61	80,29	3,11	19,71	84,24	2,98	50,00	1150,71	0,911	1048,10	3,00	349,37
	rata-rata													19,70		2,96			985,91	3,20	309,67

LAMPIRAN C

DATA DEFORMASI DENGAN VARIASI GRADASI



50 x 2	Campuran dengan Gradasi Menerus											
	90°C	90°C	90°C	2s x 75	110°C	110°C	110°C	2 x 90	120°C	120°C	120°C	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	6,693333	8,036667	8,906667	5	9,873333	8,156667	9,873333	5	9,973333	9,723333	11,67667	
10	8,93	10,07667	10,96667	10	12,09667	10,35667	10,14333	10	12,14	12,21667	14,11667	
15	10,37	11,39	12,53	15	13,48	12,1	10,95667	15	13,50333	13,54	15,18667	
20	11,08	12,32667	13,60333	20	14,77333	13,17333	11,21333	20	14,51333	14,61667	15,72333	
25	12,24333	13,05333	14,26333	25	15,56667	13,90667	11,02333	25	15,57	15,77333	16,12333	
30	12,17333	13,86667	14,73	30	16,36333	14,49667	11,35667	30	15,85	16,14667	16,49	
35	12,96	14,14667	15,49	35	16,77333	15,26	11,64667	35	16,50667	16,86333	17,21	
40	13,27	14,76333	16,25	40	17,16667	15,40333	11,96333	40	17,1	17,25667	17,73667	
45	14,02333	15,89333	16,37	45	17,61	16,56	13,14	45	17,41667	17,76667	17,82333	
50	14,22667	15,85333	16,68333	50	18,3	16,12333	13,95667	50	17,72667	18,03667	18,01	
55	13,72333	15,70667	16,88333	55	18,35333	16,9	14,15333	55	18,37	18,13667	18,21667	
60	14,03667	15,73667	17,39667	60	19,09	17,06333	14,49	60	18,25667	18,60667	18,52	
65	14,41333	16,17667	17,98333	65	19,02	17,25667	15,01333	65	18,53	18,91667	18,54333	
70	14,64333	16,22333	17,99333	70	19,03667	17,88667	15,99	70	18,63667	19,03667	18,82667	
75	14,93	16,58	18,66667	75	18,84333	17,68333	16,36	75	19,21667	19,18667	19,01333	
80	15,13333	16,76667	18,80667	80	19,14667	17,82667	16,78333	80	19,15333	19,61667	19,38	
85	15,22	16,87667	18,85	85	19,67667	18,52333	17,26667	85	19,44	19,86667	19,92	
90	15,67333	17,09667	18,97667	90	19,76333	18,67333	17,58333	90	19,52333	19,77667	20,5	
95	15,56667	17,22333	18,96667	95	20,06	18,79667	17,86333	95	19,16333	20,26333	20,67667	
100	15,85	17,04	19,22333	100	20,33333	19,25667	18,96667	100	19,98	20,93	21,23667	
				105	20,95	19,27333	19,25333	105	19,92667	21,46667	21,27333	
				110	20,95	19,27333	19,25333	110	19,92667	21,46667	21,27333	
				115	20,76	19,47667	19,61333	115	20,01	21,54667	21,5	
				120	20,69667	19,68667	19,84667	120	20,26667	21,69333	21,83667	
				125	20,74333	20,16	20,01667	125	20,21667	21,74333	22,05	
				130	21,19667	19,85667	20,17	130	20,74	21,94	22,02667	
				135	21,54	19,96333	21,54	135	20,57	22,00667	22,28667	
				140	21,28333	20,42667	21,28333	140	20,7	21,96333	22,39333	
				145	21,61667	20,24667	21,61667	145	20,76667	22,25667	22,33333	
				150	21,91	20,35333	21,91	150	21,04667	22,49	22,5	
								155	21,01333	22,41	22,66333	
								160	21,23333	22,70333	22,68667	
								165	21,08667	22,38667	22,69667	
								170	21,34333	22,59667	22,92333	
								175	21,28333	22,70333	22,94667	
								180	21,19667	22,61	23,24333	

50 x 2	90°C			Campuran dengan Gradasi Senjang				90 x 2			
	90°C	90°C	90°C	75 x 2	110°C	110°C	110°C	120°C	120°C	120°C	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	7,916667	6,806667	9,82	5	7,463333	6,55	8,51	5	11,00667	10,72333	10,26667
10	9,1	8,64	11,87667	10	9,41	8,626667	10,12	10	12,68667	13,41667	12,70667
15	10,24667	10,95	13,37333	15	10,50333	9,62	11,51333	15	13,84	14,93333	13,77667
20	11,49333	11,28667	14,40333	20	11,81	10,72333	12,78333	20	14,87667	15,72333	14,31333
25	12,29	11,46667	15,15	25	12,25333	11,67333	13,67	25	15,29	16,48667	14,71333
30	12,77	12,07	15,37	30	13,31333	11,96	14,24333	30	15,68333	16,46	15,08
35	13,38667	12,69	15,42333	35	13,33	12,44333	14,64333	35	16,54333	17,54	15,8
40	13,34	12,91333	15,97333	40	14,12	12,72333	14,89667	40	17,31333	17,91667	16,32667
45	14,39	13,17	16,27	45	14,63	13,06667	15,19	45	17,73333	18	16,41333
50	14,68	13,09	16,33667	50	14,16	13,02333	15,58	50	18,16667	18,79	16,6
55	15,15	13,00333	16,11333	55	15,00333	13,49333	15,85	55	18,26333	18,74667	16,80667
60	15,62667	13,71	16,37333	60	15,34	13,87667	15,92667	60	18,72667	19,11333	17,11
65	16,00333	13,76333	16,59	65	15,62	13,83	16,16	65	18,64667	19,21667	17,13333
70	16,16	14,24	16,68333	70	15,52333	14,06333	16,54	70	19,04667	19,34333	17,41667
75	16,73667	14,39667	16,94	75	15,97333	14,34	16,96333	75	19,34333	19,37	17,60333
80	16,85	14,62667	16,89	80	15,55667	14,35667	17,11333	80	19,49667	19,71667	17,97
85	16,98333	14,69667	17,04333	85	15,54333	14,27	17,22667	85	19,70667	20,18333	18,51
90	17,07333	14,73333	17,29333	90	16,01	15,09667	17,55	90	19,89667	20,13667	19,09
95	17,17	14,86333	17,35667	95	15,70667	15,38667	17,72667	95	19,29	19,69333	19,26667
100	17,07	15,05333	17,59333	100	16,39667	15,44667	18,05	100	19,85333	19,79333	19,69333
				105	16,66	15,79	18,19	105	19,15	20,34	19,82667
				110	17,01333	15,74667	18,54333	110	19,66333	20,36	19,86333
				115	16,58333	15,96667	18,95333	115	19,82667	20,77333	20,09
				120	16,87	16	19,29	120	19,78	20,06333	20,42667
				125	16,79	16,14	19,41333	125	20,18333	20,24667	20,64
				130	16,84667	16,45333	19,51667	130	20,50333	20,51667	20,61667
				135	17,57333	16,86667	19,79333	135	20,01333	20,89667	20,87667
				140	17,30333	16,65	19,77333	140	20,23667	20,89667	20,98333
				145	17,48	16,74667	19,94	145	20,53333	20,88333	20,92333
				150	17,3	16,74	20,05667	150	20,83	21,10333	21,09
								155	20,51667	21,35667	21,25333
								160	20,67667	21,38333	21,27667
								165	20,63667	21,34	21,28667
								170	20,88333	21,36333	21,51333
								175	20,85	21,47667	21,53667
								180	21,16	21,46667	21,83333



