



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA PENGARUH VARIASI JUMLAH TUMBUKAN  
PADA PROSES PEMADATAN CAMPURAN ASPAL BETON**

**SKRIPSI**

**DICKY PRATAMA  
0606072175**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**DEPOK  
JANUARI 2011**

997/FT.01/SKRIP/01/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH VARIASI JUMLAH TUMBUKAN  
PADA PROSES PEMADATAN CAMPURAN ASPAL BETON**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**DICKY PRATAMA  
0606072175**

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

**997/FT.01/SKRIP/01/2011**



**UNIVERSITY OF INDONESIA**

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE NUMBER OF BLOWS  
VARIATION ON HOT MIX ASPHALT  
COMPACTION PROCESS**

**FINAL PROJECT**

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

**DICKY PRATAMA  
0606072175**

**FACULTY OF ENGINEERING  
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM**

**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 : Dicky Pratama**

**NPM : 0606072175**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 5 Januari 2011**

**PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT**

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

**Name : Dicky Pratama**

**NPM : 0606072175**

**Signature :** 

**Date : January, 5<sup>th</sup> 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Dicky Pratama

NPM : 0606072175

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan 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 : Ir. Alan Marino, M.Sc

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Januari 2011

## STATEMENT OF LEGITIMATION

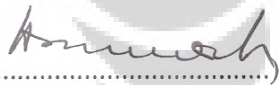
The final report is submitted by:

Name : Dicky Pratama  
NPM : 0606072175  
Study Program : Civil Engineering  
Title of final report : Analysis of The Influence Number of Blows  
Variation on Hot Mix Asphalt Compaction Process.

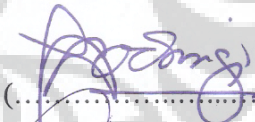
**Has been successfully defended in front of the Examiners and accepted as part of the necessary requirements to obtain Bachelor Engineering Degree in Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Indonesia.**

### BOARD OF EXAMINERS

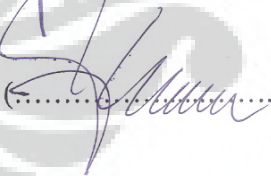
Councilor : Ir. Heddy R. Agah, M.Eng

()

Examiner : Dr. Ir. Sigit P. Hadiwardoyo, DEA

()

Examiner : Ir. Alan Marino, M.Sc

()

Approved at : Depok

Date : January 5<sup>th</sup> 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas limpahan hidayah-Nya penulisan skripsi dengan judul “**Analisa Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan 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, 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. Dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang sudah mendidik dan membuka wawasan penulis.
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan material dan moral.
4. Laboran Lab.Material Perkerasan Jalan (Pak.Zaelani, Bang Nandar, Pak.Agus, dll) yang membantu selama penelitian.
5. Rekan seperjuangan (Away dan Sata), teman-teman transporter 2006 yang selalu memberi dorongan doa dan semangat (Assafa, Madie, dll)

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

Depok, 5 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 : Dicky Pratama  
NPM : 0606072175  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**ANALISA PENGARUH VARIASI JUMLAH TUMBUKAN  
PADA PROSES PEMADATAN CAMPURAN ASPAL BETON**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 5 Januari 2011

Yang menyatakan



(Dicky Pratama)

## ABSTRAK

Nama : Dicky Pratama  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Analisa Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Pada Proses Pematatan Campuran Aspal Beton.

Campuran aspal panas merupakan salah satu jenis lapis perkerasan yang banyak digunakan di Indonesia. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji karakteristik campuran aspal dengan memodifikasi metode *Marshall* dengan mengamati deformasi yang dihasilkan melalui variasi jumlah pembebanan yang digunakan adalah 2x50, 2x60, 2x75, dan 2x90 tumbukkan, variasi temperatur pada saat pematatan 110°C, dan 120°C, dan gradasi yang digunakan adalah jenis gradasi menerus dan gradasi senjang. Hasil pengujian diolah dengan metode *chi-square*. VMA dan VIM pada hasil *Marshall Test* cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jumlah tumbukan pada saat pematatan. Sedangkan untuk nilai Stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ) cenderung meningkat.

Kata kunci :

Tumbukan, Deformasi, VMA, VIM, Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient* (MQ), Rata – rata, *Chi-Square*

## ABSTRACT

Name : Dicky Pratama  
Study Program : Civil Engineering  
Title : Analysis of The Influence of Number Blows Variation on Hot Mix Asphalt Compaction Process.

Hotmix Asphalt is one of road pavement type that most used in indonesia. This research is to observe the asphalt concrete mix deformation that respond to *Marshall Testing* values and to study the characteristics of asphalt mixtures by modifying the method of Marshall due to static loading (compaction) that are generated through the variation of loading amount used is 2x50, 2x60, 2x75, and 2x90 compaction, the temperature variation on during compaction 110°C, and 120°C, the gradation used are continuous gradation and gap gradation. The result processed by *chi-square* statistic methods. The research show that VMA and VIM have increment inclination on the increase on number of blows at compaction process. Whereas the stability, flow, and MQ have descend inclination.

Key word :

Blow, Deformation, VMA, VIM, Stability, *Flow*, *Marshall Quotient* (MQ), Average, *Chi-Square*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>iv</b>
<b>PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>STATEMENT OF LEGITIMATION .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan .....	2
1.3. Batasan Penelitian .....	2
1.4. Metode Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 STUDI LITERATUR .....</b>	<b>5</b>
2.1. Bahan Campuran Aspal Beton .....	5
2.1.1. Aspal .....	5
2.1.1.1. Macan dan Jenis Aspal.....	6
2.1.2. Agregat .....	8
2.2.2.1. Agregat Kasar.....	8
2.2.2.2. Agregat Halus.....	9
2.2.2.3. <i>Filler</i> .....	9
2.2.2.4. Gradasi Agregat.....	10
2.2. Campuran Aspal Beton (Asphalt Concrete mix) .....	12
2.2.1. Perencanaan Campuran Aspal (Asphalt Mix Design) .....	13
2.2.2. Sifat dan Karakteristik Campuran Aspal .....	14
2.3. Pemasatan ( <i>compaction</i> ).....	15
2.3.1. Efek Dari Pemasatan ( <i>compaction effort</i> ) .....	15
2.3.2. Pemasatan di Lapangan .....	15
2.3.3. Pemasatan di Laboratorium.....	16
2.3.4. Metode Pengujian <i>Marshall Test</i> .....	19
2.4. Metode Pengolahan Data Berdasarkan Teori Statistik.....	20
2.4.1. Metode chi square.....	20

<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1. Metode Penelitian.....	22
3.1.1. Standar pengujian .....	22
3.1.2. Bahan Pembentuk Campuran .....	23
3.2. Bagan Alir Penelitian .....	23
3.2.1. Pengujian Material.....	26
3.2.1.1. Pengujian Aspal.....	26
3.2.1.2. Pemeriksaan Agregat.....	27
3.2.1.3. Pengujian <i>Marshall Test</i> .....	28
3.2.2. Perumusan Sampel Percobaan .....	28
3.3. Tahap Pengujian Variasi Tumbukan.....	29
3.4. Dasar Perhitungan .....	34
3.4.1. Berat Jenis Curah ( <i>Bulk</i> ) dan semu ( <i>Apparent</i> ) dari Total Agregat .....	34
3.4.2. Berat Jenis Efektif dari Total Agregat.....	34
3.4.3. Volume campuran dan berat jenis campuran setelah pemadatan.....	35
3.4.4. Penyerapan Aspal .....	35
3.4.5. Kadar Aspal Efektif.....	35
3.4.6. Rongga Udara ( <i>Air Voids</i> ) .....	35
3.4.7. Stabilitas dan Flow .....	36
3.4.8. <i>Marshall Quotient</i> .....	36
3.5. Analisa data hasil percobaan .....	37
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISA PENELITIAN .....</b>	<b>39</b>
4.1. Pengujian Material .....	39
4.1.1. Hasil pengujian aspal .....	39
4.1.2. Hasil pengujian pemeriksaan untuk agregat .....	42
4.2. Perumusan campuran sampel untuk mencari kadar aspal optimum .....	45
4.2.1. Mencari kadar aspal optimum gradasi menerus .....	45
4.2.2. Mencari kadar aspal optimum gradasi senjang.....	54
4.3. Pengujian dengan variasi jumlah tumbukan pada proses pemadatan .....	61
4.4. Deformasi sampel dengan uji variasi tumbukan .....	62
4.4.1. Deformasi campuran gradasi menerus ( <i>Spek IV</i> ).....	62
4.4.2. Deformasi campuran gradasi senjang/gap ( <i>HRS-WC</i> ).....	69
4.4.3. Pengaruh jumlah tumbukan terhadap deformasi campuran.....	70
4.5. Pengujian sampel variasi dengan <i>Marshall test</i> .....	72
4.5.1. Hasil <i>Marshall Test</i> sampel gradasi menerus. ....	73
4.5.2. Hasil <i>Marshall Test</i> sampel gradasi senjang ( <i>HRS-WC</i> ) .....	84
4.5.3. Penyimpangan Hasil <i>Marshall Test</i> sampel gradasi menerus dan senjang .....	90
4.6. Hasil Uji <i>Marshall test</i> Terhadap Perubahan Deformasi Campuran.....	91
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>97</b>
5.1. Kesimpulan .....	97
5.2. Saran.....	99
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>100</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>102</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat Uji <i>Marshall</i> .....	20
Gambar 2.2 Chi Square Distribution untuk berbagai nilai $v$ .....	21
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian .....	24
Gambar 3.2 Struktur Band Heater .....	30
Gambar 3.3 Thermostat .....	30
Gambar 3.4 Jangka sorong .....	31
Gambar 3.5 Alat Penumbuk (compactor) .....	32
Gambar 3.6 Penampang melintang pengukuran sampel sebelum ditumbuk .....	32
Gambar 3.7 (a) Penampang melintang sampel akan ditumbuk .....	33
Gambar 3.7 (b) Penampang melintang pengukuran sampel setelah ditumbuk .....	33
Gambar 3.8 Contoh grafik deformasi vs tumbukkan .....	38
Gambar 4.1 Grafik sebaran gradasi masing-masing agregat .....	46
Gambar 4.2 Grafik sebaran agregat gabungan .....	47
Gambar 4.3 Grafik sebaran agregat gabungan dengan filler 2% .....	48
Gambar 4.4 Grafik hubungan VMA dengan kadar aspal (gradasi menerus) .....	52
Gambar 4.5 Grafik hubungan VIM dengan kadar aspal (gradasi menerus) .....	52
Gambar 4.6 Grafik hubungan stabilitas dengan kadar aspal (gradasi menerus) .....	52
Gambar 4.7 Grafik hubungan flow dengan kadar aspal (gradasi menerus) .....	53
Gambar 4.8 Grafik hubungan MQ dengan kadar aspal (gradasi menerus) .....	53
Gambar 4.9 Rekap hasil marshall untuk kadar aspal optimum (gradasi menerus) .....	53
Gambar 4.10 Grafik sebaran agregat gradasi senjang .....	55
Gambar 4.11 Grafik hubungan VMA dengan kadar aspal (gradasi senjang) .....	59
Gambar 4.12 Grafik hubungan VIM dengan kadar aspal (gradasi senjang) .....	59
Gambar 4.13 Grafik hubungan stabilitas dengan kadar aspal (gradasi senjang) .....	59
Gambar 4.14 Grafik hubungan flow dengan kadar aspal (gradasi senjang) .....	60
Gambar 4.15 Grafik hubungan MQ dengan kadar aspal (gradasi senjang) .....	60
Gambar 4.16 Rekap hasil marshall untuk kadar aspal optimum (gradasi senjang) .....	60
Gambar 4.17 Rangkaian kegiatan pengukuran deformasi sampel .....	62
Gambar 4.18 Rekap deformasi 110°C; menerus sampel 1, 2, dan 3 .....	64
Gambar 4.19 Rekap deformasi 120°C; menerus sampel 1, 2, dan 3 .....	65
Gambar 4.20 a,b,c,d Perbandingan deformasi pemadatan 110°C dengan 120°C pada variasi tumbukan 50x2, 60x2, 75x2, dan 90x2 .....	66
Gambar 4.21 Selisih deformasi antara pemadatan 120°C dengan 110°C .....	67
Gambar 4.22 a,b Tingkat perubahan deformasi pemadatan 110°C dan 120°C .....	68
Gambar 4.23 Selisih tingkat perubahan deformasi pemadatan 120°C dengan 110°C .....	69

Gambar 4.24 Rekap deformasi 120°C;senjang sampel 1, 2, dan 3 .....	70
Gambar 4.25 Grafik hubungan VMA dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 110°C .....	75
Gambar 4.26 Grafik hubungan VMA dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 120°C .....	75
Gambar 4.27 Grafik hubungan VIM dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 110°C .....	77
Gambar 4.28 Grafik hubungan VIM dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 120°C .....	77
Gambar 4.29 Grafik hubungan stabilitas dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 110°C .....	79
Gambar 4.30 Grafik hubungan stabilitas dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 120°C .....	79
Gambar 4.31 Grafik hubungan flow dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 110°C .....	80
Gambar 4.32 Grafik hubungan flow dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 120°C .....	81
Gambar 4.33 Grafik hubungan MQ dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 110°C .....	82
Gambar 4.34 Grafik hubungan MQ dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 120°C .....	82
Gambar 4.35 Histogram VMA gradasi senjang pemadatan 110°C.....	86
Gambar 4.36 Histogram VIM gradasi senjang pemadatan 110°C .....	87
Gambar 4.37 Histogram stabilitas gradasi senjang pemadatan 110°C.....	88
Gambar 4.38 Histogram flow gradasi senjang pemadatan 110°C.....	88
Gambar 4.39 Histogram MQ gradasi senjang pemadatan 110°C .....	89
Gambar 4.40 Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 110°C terhadap VMA .....	91
Gambar 4.41 Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 120°C terhadap VMA .....	92
Gambar 4.42 Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 110°C terhadap VIM.....	92
Gambar 4.43 Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 120°C terhadap VIM.....	93
Gambar 4.44 Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 110°C terhadap stabilitas.....	93
Gambar 4.45 Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 120°C terhadap stabilitas.....	94
Gambar 4.46 Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 110°C terhadap flow .....	94
Gambar 4.47 Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 120°C terhadap flow .....	95
Gambar 4.48 Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 110°C terhadap MQ .....	95
Gambar 4.49 Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 120°C terhadap MQ .....	96

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Syarat Pemeriksaan Aspal Keras .....	6
Tabel 2.2 Syarat agregat kasar .....	9
Tabel 2.3 Syarat agregat halus .....	9
Tabel 2.4 Syarat gradasi untuk <i>filler</i> .....	10
Tabel 2.5 Distribusi Agregat Menurut Jenis Campurannya.....	11
Tabel 2.6 Distribusi agregat senjang Lataston (HRS-WC).....	12
Tabel 2.7 Ketentuan viskositas aspal untuk pencampuran dan pematatan .....	16
Tabel 2.8 persyaratan hasil marshall test gradasi menerus berdasarkan jumlah tumbukan.....	17
Tabel 2.9 Persyaratan hasil Marshall test gradasi senjang.....	17
Tabel 3.1 Banyak sampel untuk mencari kadar aspal optimum.....	28
Tabel 3.2 Banyak sampel untuk variasi pematatan .....	29
Tabel 4.1 Pengujian fisik aspal SHELL 60/70.....	39
Tabel 4.2 Pengujian Fisik Agregat.....	42
Tabel 4.3 Data sieve analysis agregat .....	44
Tabel 4.4 Distribusi agregat menurut jenis campurannya.....	45
Tabel 4.5 Persentase agregat untuk spek IV .....	47
Tabel 4.6 Persentase agregat dengan penambahan filler 2% untuk spek IV .....	48
Tabel 4.7 Banyak sampel untuk mencari kadar aspal optimum gradasi menerus .50	
Tabel 4.8 Data sampel campuran gradasi menerus untuk mencari KAO .....	51
Tabel 4.9 Hasil uji marshall untuk mencari KAO campuran gradasi menerus.....	51
Tabel 4.10 Spesifikasi persentase sebaran gradasi agregat senjang HRS-WC .....	54
Tabel 4.11 Sebaran gradasi agregat senjang HRS-WC.....	55
Tabel 4.12 Bobot aspal untuk tiap persentase aspal pada camp. gradasi senjang..	56
Tabel 4.13 Bobot agregat untuk tiap persentase aspal pada camp. grad senjang...	56
Tabel 4.14 Banyak sampel untuk mencari KAO gradasi senjang.....	56
Tabel 4.15 Data sampel campuran gradasi senjang untuk mencari KAO.....	57
Tabel 4.16 Hasil uji Marshall untuk mencari KAO campuran gradasi senjang.....	58
Tabel 4.17 Bobot agregat aspal optimum gradasi senjang.....	61
Tabel 4.18 Jumlah sampel untuk variasi jumlah tumbukan .....	62
Tabel 4.19 Persamaan hubungan deformasi terhadap jumlah tumbukan.....	71
Tabel 4.20 Perubahan deformasi.....	71
Tabel 4.21 Nilai Marshall sampel campuran gradasi menerus .....	73
Tabel 4.22 Nilai Marshall sampel camp gradasi menerus terseleksi chi square....	74
Tabel 4.23 VMA sampel gradasi menerus suhu 110°C dan 120°C.....	75
Tabel 4.24 VIM sampel gradasi menerus suhu 110°C dan 120°C .....	77
Tabel 4.25 Stabilitas sampel gradasi menerus suhu 110°C dan 120°C.....	78
Tabel 4.26 Flow sampel gradasi menerus suhu 110°C dan 120°C.....	80
Tabel 4.27 MQ sampel gradasi menerus suhu 110°C dan 120°C .....	82
Tabel 4.28 Persamaan hubungan nilai marshall test sampel gradasi menerus (metode chi square).....	84
Tabel 4.29 Nilai Marshall sampel garadasi senjang suhu 110°C.....	85



Tabel 4.30 Nilai Marshall sampel gradasi senjang suhu 110°C terseleksi chi square .....	85
Tabel 4.31 VMA sampel gradasi senjang suhu 110°C.....	85
Tabel 4.32 VIM sampel gradasi senjang suhu 110°C .....	86
Tabel 4.33 Stabilitas sampel gradasi senjang suhu 110°C .....	87
Tabel 4.34 Flow sampel gradasi senjang suhu 110°C.....	88
Tabel 4.35 MQ sampel gradasi senjang suhu 110°C .....	89



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Campuran aspal panas (*Hotmix Asphalt*) merupakan salah satu jenis yang digunakan dalam pembuatan lapis perkerasan lentur yang banyak digunakan di Indonesia. Dalam pembuatannya campuran aspal panas dimulai dari penyediaan material sesuai dengan spesifikasi, proses pencampuran material, penghamparan dan terakhir adalah proses pemadatan. Pemadatan merupakan proses pemampatan sehingga diperoleh kekuatan dan stabilitas serta rongga yang cukup pada campuran beraspal. Proses pemadatan di lapangan dilakukan dengan menggunakan *roller* tandem, sedangkan untuk perancangan campuran di laboratorium, proses pemadatan disimulasikan dengan membebani campuran di dalam cetakan (*mold*).

Pengujian campuran aspal di laboratorium dengan menggunakan metode *Marshall*, proses pemadatan dilakukan dengan menggunakan palu (*compaction hammer*) seberat 10 pound atau 4,54 kg yang dijatuhkan dengan tinggi jatuh sekitar 18 inchi atau 457 mm sebagaimana diterangkan melalui spesifikasi No. 025/T/BM/1999 Lampiran No. 3 Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga No. 76/KPTS/Db/1999 Tanggal 20 Desember 1999. Pemadatan dilakukan pada rentang suhu 93,3°C - 148,9°C. Adapun banyaknya jumlah pembebanan dengan cara penumbukan pada proses pemadatan untuk contoh benda uji dengan metode *Marshall* adalah sebagai berikut (ASTM D-1559-76) :

- 2x75 kali untuk beban lalu lintas berat
- 2x50 kali untuk beban lalu lintas sedang
- 2x35 kali untuk beban lalu lintas ringan

Pemadatan memiliki pengaruh terhadap kepadatan (*density*) campuran yang bergantung pada rongga dalam campuran VIM (*Void in Mix*), rongga pada

agregat VMA (*Void in Mineral Aggregate*), dan rongga udara dalam campuran (*air void*). Pemadatan yang tidak memenuhi persyaratan dapat menyebabkan kepadatan campuran beraspal tidak merata dan mudah retak yang akhirnya akan mempengaruhi kinerja campuran beraspal yang dihasilkan, baik dari segi umur pelayanan maupun dari segi kenyamanan. Tidak selamanya semakin banyak jumlah pemadatan terhadap campuran aspal menghasilkan nilai stabilitas tertinggi, karena campuran aspal memiliki batas deformasi sebelum mengalami *failure* akibat pembebanan statis berulang tersebut.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji karakteristik campuran aspal akibat pembebanan statis berulang (pemadatan) yang dihasilkan melalui variasi jumlah pembebanan dengan menjaga suhu campuran pada temperatur dan gradasi agregat pada kondisi tertentu. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik campuran aspal yaitu deformasi yang terjadi terhadap pembebanan berulang di laboratorium, sehingga setidaknya dapat memberikan gambaran keadaan pemadatan yang sebenarnya di lapangan.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempelajari karakteristik campuran aspal beton akibat pembebanan statis berulang pada proses pemadatan.
2. Menganalisis hubungan antara pembebanan statis berulang pada proses pemadatan (yang disimulasi melalui tumbukan di laboratorium) terhadap perubahan deformasi dan stabilitas campuran.

## **1.3 Batasan Penelitian**

Penelitian ini dibatasi oleh :

1. Bahan Campuran Aspal Beton Beton :
  - a. Aspal yang digunakan ialah aspal keras dengan penetrasi 60/70 dari PT. SHELL Indonesia.

- b. Agregat Kasar yang digunakan berupa batu pecah yang berasal dari Rumpin, Sindur.
  - c. Agregat Halus yang digunakan berupa abu batu hasil Pemecah Batu (*Stone Crusher*) dari Rumpin, Sindur.
2. Nilai variasi proses pemadatan
    - a. Variasi gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi menerus (Spek IV Binamarga) dan gradasi senjang/gap (Lataston HRS-WC)
    - b. Variasi jumlah pemadatan yang digunakan adalah 2x50, 2x60, 2x75, dan 2x90 tumbukan untuk gradasi menerus. Dan 2x50, 2x75, dan 2x90 tumbukan untuk gradasi senjang.
    - c. Variasi temperatur pemadatan yang digunakan adalah 110°C dan 120°C untuk gradasi menerus, dan 110°C pada campuran gradasi senjang.
  3. Metode pengujian
    - a. Pengujian bahan penyusun dan benda uji menggunakan standar *American Society for Testing Material (ASTM)*.
    - b. Pengukuran tingkat perubahan *deformasi* campuran per 5 kali tumbukan selama proses pemadatan.
    - c. *Marshall test* untuk semua variasi proses pemadatan
    - d. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan material Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia.

#### 1.4 Metode Penelitian

Tahapan – tahapan yang dilakukan penulis dalam melakukan penelitian antara lain sebagai berikut :

1. Studi pustaka
2. Mempersiapkan bahan penyusun campuran aspal beton
3. Melakukan pengujian pada bahan penyusun campuran aspal beton
4. Merancang campuran
5. Membuat benda uji
6. Melakukan pengamatan *deformasi* pada proses pemadatan

7. Melakukan pengujian *Marshall* terhadap benda uji
8. Mengumpulkan data hasil pengujian
9. Analisa
10. Kesimpulan

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisikan penjelasan secara umum tentang latar belakang, tujuan penelitian, batasan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II STUDI LITERATUR**

Berisikan literatur yang mengacu pada beberapa referensi mengenai sifat campuran aspal beton beserta bahan penyusunannya.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Berisikan penjelasan tentang metode penelitian dan prosedur penelitian yang akan dilakukan penulis.

#### **BAB IV HASIL DAN ANALISA PENELITIAN**

Berisikan penjelasan tentang hasil penelitian yang telah dilaksanakan beserta analisa mengenai hasil yang didapatkan dari penelitian.

#### **BAB V PENUTUP**

Berisikan penjelasan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian yang terkait selanjutnya.

## BAB 2

### STUDI LITERATUR

#### 2.1 Bahan Campuran Aspal Beton (*hot mix asphalt*)

##### 2.1.1 Aspal

Aspal adalah material perekat berwarna hitam atau cokelat tua yang lentur, dengan bentuk solid atau semisolid dengan unsur penyusun utama bitumen alami yang terdapat di alam atau yang diperoleh melalui hasil penyulingan minyak bumi. (*Krebs, Robert D dan Walker, Richard D, 1971*).

Secara garis besar 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*. Penjelasannya adalah sebagai berikut :

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.

#### 2.1.1.1 Macam dan Jenis Aspal

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

- a. 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)
- b. Aspal tar merupakan aspal yang diperoleh dari proses destilasi batubara.
- c. Aspal minyak merupakan residu yang diperoleh dari proses destilasi minyak bumi. Beberapa jenis aspal minyak antara lain :
  - Asphalt cement/AC/aspal keras  
Yaitu 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.
    3. Syarat pemeriksaan aspal keras disajikan pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** Syarat pemeriksaan aspal keras

Jenis Pemeriksaan	Pen 40/50		Pen 60/70		Pen 85/100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Penetrasi 25°C, 100 gr, 5 detik (0,1mm)	40	50	60	70	85	100
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> )	-	0,8%	-	0,8%	-	1%
Kelarutan dalam CCl <sub>4</sub>	99%	-	99%	-	99%	-
Daktilitas	100 cm	-	100 cm	-	100 cm	-
Penetrasi setelah kehilangan berat	58%	-	54%	-	50%	-
Berat jenis 25°C	1 gr/cc	-	1 gr/cc	-	1 gr/cc	-

Sumber: *AASHTO M 20-70 (2004)*

AASHTO (1982) menyatakan bahwa jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal. Angka ini menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin rendah, sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal makin tinggi.

- 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 minyak dinamakan *Slow Curing* (SC)

Persyaratan aspal cair adalah sebagai berikut :

1. Kadar parafin tidak lebih dari 2%
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 terdispersi dalam air dengan adanya bahan pengemulsi (*emulsifier*) yaitu suatu zat yang molekulnya memiliki bagian polar dan nonpolar sehingga dapat larut dalam zat yang polar maupun nonpolar (*No.024/T/BM/1999 Lampiran No. 2 Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga*).

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

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



### 2.1.2 Agregat

Agregat Agregat adalah bahan berbutir yang berbentuk sebagai batu pecah, kerikil, pasir, atau material lain. Agregat merupakan suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca.

Berdasarkan terjadinya, agregat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok yaitu; agregat alami dan agregat buatan (*artificial*). Agregat alami adalah agregat yang diperoleh dari barang tambang alam tanpa mengalami perubahan sifat pada waktu diproduksi, kecuali mengalami pemecahan pada waktu penyaringan, pada saat penyusunan gradasi, pencucian agregat, dan lain-lain. Sedangkan yang dimaksud dengan agregat buatan (*artificial*) merupakan agregat buatan yang sengaja dibuat dengan bentuk dan ukuran tertentu serta terbuat dari berbagai macam material.

Macam bentuk dari partikel agregat, antara lain; bulat (*rounded*), lonjong (*elongated*), kubus (*cubical*), pipih (*flacky*), dan tidak beraturan (*irregular*). Sedangkan berdasarkan kelompok proses terjadinya, agregat dikelompokkan atas; agregat beku (*igneous rock*), agregat sedimen (*sedimentary rock*), dan agregat metamorf (*metamorphic rock*).

#### 2.1.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No.8 (2,36 mm) dan haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Tabel 2.2 sebagai berikut ;

**Tabel 2.2** Syarat agregat kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	mak. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	mak. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	min. 95%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	95/90(*)
Partikel pipih dan lonjong (**)	RSNI T-01-2005	mak. 10%
Material lolos saringan No.200	SNI 03-4142-1996	mak. 1%
Catatan: (*) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih. (**) Pengujian dengan perbandingan lengan alat uji terhadap poros 1 : 5		

Sumber: *Revisi SNI 03-1737-1989*

### 2.1.2.2 Agregat Halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.8 (2,36 mm) (*SNI 03-6819-2002*). Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran atau bahan lain yang mengganggu. Agregat halus harus terdiri dari pasir alam atau pasir buatan atau gabungan dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering. Agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.3 berikut :

**Tabel 2.3** Syarat agregat halus

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

Sumber: *Revisi SNI 03-1737-1989*

### 2.1.2.3 Filler

Menurut SNI 03-4142-1996, filler merupakan :

- Bahan pengisi (*filler*) yang ditambahkan harus dari semen Portland. Bahan tersebut harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki;
- Debu batu (*stone dust*) dan bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan penyaringan

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

Filler merupakan material pengisi yang terdiri dari abu batu, abu batu kapur, semen (pc) atau bahan nonplastis lainnya. Filler atau bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu dan apabila dilakukan pemeriksaan analisa saringan secara basah harus memenuhi gradasi sebagaimana disajikan dalam tabel 2.4 berikut.

**Tabel 2.4** 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 – Lab Bahan Jurusan Sipil FTUI*

#### 2.1.2.4 Gradasi Agregat

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa pemeriksaan dengan menggunakan satu set saringan. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase lolos, persentase tertahan, yang dihitung berdasarkan berat total agregat. Sifat ini sangat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran.

Agregat campuran yang terdiri dari agregat berukuran sama akan berongga atau berpori banyak karena tak terdapat agregat berukuran kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi. Sebaliknya, jika campuran agregat terdistribusi dari agregat berukuran besar sampai kecil secara merata, maka rongga atau pori yang terjadi sedikit. Gradasi agregat dapat dikelompokkan atas:

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

b. Agregat bergradasi menerus/rapat adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam suatu rentang ukuran butir mulai dari ukuran kasar sampai dengan ukuran halus. Campuran agregat bergradasi menerus memiliki pori sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Berdasarkan ukuran butir yang dominan menyusun campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan menjadi (tabel 2.5):

1. Agregat bergradasi kasar, yaitu agregat bergradasi dengan dominasi ukuran kasar.
2. Agregat bergradasi halus, yaitu agregat bergradasi dengan dominasi ukuran halus.

**Tabel 2.5.** Distribusi agregat menerus menurut jenis campurannya

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 (0.99 mm)	10-22	10-22	18-29	18-29	19-30	24-36	26-38	28-40	20-35	13-28	15-30
no. 50 (0.27 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

c. Agregat bergradasi senjang/gap, yaitu agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali. Gradasi Senjang adalah suatu komposisi agregat yang grafik pembagian butirnya menunjukkan di antara ukuran-ukuran tertentu berbentuk senjang, mempunyai rongga di antara agregat (VMA) lebih besar sehingga dapat mengakomodasi aspal lebih banyak, dan dapat menghasilkan campuran yang lebih awet. Salah satu gradasi senjang adalah lataston. Lataston mempunyai persyaratan kekuatan yang sama dengan campuran beraspal konvensional (laston) tetapi bergradasi senjang yang persyaratan kekuatannya sama dengan Laston konvensional. Lataston terdiri atas dua jenis yaitu Lataston Pondasi (untuk lapis perata) dan Lataston Aus (untuk lapis permukaan) yang masing-masing mempunyai ukuran butir agregat maksimum yang sama yaitu 19 mm. Lataston Pondasi mengandung

lebih banyak agregat kasar. Prosedur khusus yang diberikan dalam spesifikasi ini harus benar-benar diikuti dengan memperhatikan dua faktor penting yaitu:

- Diperolehnya gradasi yang benar-benar senjang
- Dicapainya ketentuan rongga udara pada kondisi kepadatan mutlak. Untuk memperoleh gradasi senjang, hampir selalu diperlukan pencampuran antara pasir halus

Pada campuran Lataston lapis aus dan lapis pondasi, disyaratkan minimum 80% dari agregat yang lolos saringan 2,36 mm harus lolos pula pada saringan 0,600 mm. Titik Kontrol Gradasi adalah batas-batas titik minimum dan maksimum masing-masing untuk kontrol suatu set gradasi yang digunakan.

**Tabel 2.6.** Distribusi agregat senjang Lataston (HRS)

Ukuran Saringan		% Berat Yang Lolos						
		Latasir (SS)		Lataston (HRS)		LASTON (AC) <sup>2</sup>		
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 <sup>1</sup>	35 - 55 <sup>1</sup>	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

Catatan :

1. Untuk HRS-WC dan HRS-Base, harus dijaga kesenjanganannya, dimana paling sedikit 80% dari butirar yang lolos saringan No.8 harus juga lolos Saringan No.30 (0,600 mm).
2. Untuk AC, digunakan titik kontrol gradasi agregat, berfungsi sebagai batas-batas rentang utama yang harus ditempati oleh gradasi-gradasi tersebut. Batas-batas gradasi ditentukan pada saringan ukuran nominal maksimum, saringan menengah (2,36 mm) dan saringan terkecil (0,075 mm).

Sumber: SPESIFIKASI UMUM BIDANG JALAN DAN JEMBATAN DIVISI 1 UMUM, Desember 2007

## 2.2 Campuran Aspal Beton (*Asphalt Concrete mix*)

Campuran aspal beton adalah campuran antara agregat dengan aspal sebagai bahan pengikat. Campuran aspal beton digunakan sebagai lapisan perkerasan lentur, yaitu lapis teratas yang menerima beban langsung dari lalu lintas. Karena lapisan teratas ini harus mampu menopang beban dan melindungi lapisan di bawahnya, maka lapis perkerasan (dalam hal ini campuran aspal) harus

dibuat dengan perencanaan yang baik. Agar hasil yang didapat memiliki ketahanan yang tinggi serta dengan komposisi yang ekonomis. Untuk membuat campuran aspal diperlukan adanya perencanaan terhadap campuran itu sendiri.

### 2.2.1 Perencanaan Campuran Aspal (*Asphalt Mix Design*)

Untuk membuat campuran aspal diperlukan adanya perencanaan terhadap campuran itu sendiri. Tujuan dari perencanaan campuran aspal adalah mendapatkan campuran yang ekonomis antara proporsi campuran aspal dan gradasi agregat untuk:

- a. Memastikan aspal cukup memiliki daya tahan yang lama
- b. Memastikan stabilitas campuran memenuhi kebutuhan dari lalu lintas tanpa adanya distorsi atau *displacement*.
- c. Memastikan syarat cukup rongga atau *voids* dari total campuran agar tahan terhadap pemadatan tambahan akibat pembebanan lalu lintas tanpa terjadi *flushing*, *bleeding*, dan kehilangan stabilitas.
- d. Memastikan kemudahan dalam pelaksanaannya (*workability*)

Terdapat beberapa metode dalam perencanaan dan pengujian campuran aspal di laboratorium, antara lain adalah metode *Marshall*, *Hubbard-Field*, dan *Hveem*. Berhubung penelitian ini menggunakan metode *Marshall*, maka pembahasan lebih lanjut hanya berfokus pada metode *marshall* saja. Dalam menentukan proporsi rancangan campuran aspal beton khususnya dalam penelitian ini menggunakan dua campuran. Yaitu campuran dengan gradasi agregat menerus dan campuran dengan gradasi senjang/gap. Untuk kedua jenis campuran dilakukan dengan tahapan yang sama, antara lain sebagai berikut :

1. Melakukan analisa gradasi agregat
2. Menentukan kadar aspal dan kadar agregat dalam campuran. Untuk membuat satu sampel campuran, berat total agregat dengan aspal adalah 1200 gr. Sehingga dapat dihitung masing-masing berat aspal dan agregat berdasarkan proporsinya.

### 2.2.2 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 pemadatan

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 pemadatan, jika suhu campuran lebih rendah dari syarat yang telah ditetapkan maka campuran menjadi lebih cepat kaku atau mengeras, akibatnya proses pemadatan menjadi lebih sulit dan menyebabkan banyaknya rongga atau void di dalam campuran. Terlalu banyak void menyebabkan campuran menjadi lebih rapuh.

## 2.3 Pemadatan (*compaction*)

Pemadatan merupakan proses pemampatan sehingga diperoleh kekuatan dan stabilitas serta rongga yang cukup pada campuran beraspal. Kondisi ideal didapatkan pada saat campuran sudah tidak banyak berdeformasi lagi akibat pembebanan.

### 2.3.1 Efek Dari Pemadatan (*compaction effort*)

Pemadatan memiliki pengaruh terhadap kepadatan (*density*) campuran yang bergantung pada rongga dalam campuran VIM (*Void in Mix*), rongga pada agregat VMA (*Void in Mineral Aggregate*), dan rongga udara dalam campuran (*air void*). Pemadatan yang tidak memenuhi persyaratan dapat menyebabkan kepadatan campuran beraspal tidak merata dan mudah retak yang akhirnya akan mempengaruhi kinerja campuran beraspal yang dihasilkan, baik dari segi umur pelayanan maupun dari segi kenyamanan.

### 2.3.2 Pemadatan di Lapangan

Proses pemadatan di lapangan dilakukan dengan menggunakan *roller tandem* dengan kondisi campuran aspal terhampar tanpa terkekang *mold*. Pemadatan dengan roller tandem juga bervariasi, ada yang menggunakan roda baja, roda karet, dan roda baja yang dilengkapi dengan *vibrator* untuk memberikan efek pembebanan dinamis pada lapis perkerasan aspal. Berbeda dengan pemadatan yang dilakukan di laboratorium, pemadatan di lapangan dilakukan atas dasar *trial error*, artinya dengan melakukan uji coba dengan melakukan beberapa lintasan dan di test dengan cara *coring insitu* lalu hasil *coring* di uji di laboratorium. Sehingga dapat diketahui efeknya dengan melakukan beberapa kali melakukan lintasan dengan besar dan tipe pembebanan tertentu di atas hamparan aspal dapat menghasilkan kepadatan berapa. Pemadatan di lapangan dilakukan dalam tiga tahapan (*Asphalt Paving Manual, The Asphalt Institute MS-8,1983*), yaitu:

- a. Pemadatan awal (*Breakdown Rolling*), biasanya menggunakan *roller tandem* baja atau ban dengan metode *roller tandem* statis maupun dengan



*vibrator*. Umumnya *roller tandem* statis memiliki berat sekitar 8 ton – 12 ton sedangkan *roller tandem vibrator* memiliki berat yang berkisar antara 6,5 ton – 15 ton. Pelaksanaan *breakdown rolling* dimulai dari sisi rendah jalan yaitu dari bagian tepi ke sisi tinggi atau tengah jalan. Penggilasan awal harus dilaksanakan dengan alat pemadat roda baja. Penggilasan awal harus dioperasikan dengan roda penggerak berada di dekat alat penghampar. Setiap titik perkerasan harus menerima minimum dua lintasan penggilasan awal.

- b. *Intermediate Rolling*, pemadatan antara harus dilaksanakan dengan alat pemadat roda karet sedekat mungkin di belakang pemadatan awal dan dilakukan sebanyak mungkin lintasan dalam rentang temperatur yang disyaratkan sesuai tabel 2.6 sebagai berikut.

**Tabel 2. 1** Ketentuan viskositas aspal untuk pencampuran dan pemadatan

No.	Prosedur pelaksanaan	Viskositas aspal (Pa.S)	Temperatur campuran dengan aspal Pen 60
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,2	155±1
2	Pemadatan benda uji Marshall	0,4	145±1
3	Temperatur pencampuran mak. di AMP	tidak diperlukan	165
4	Pencampuran, rentang temperatur sasaran	0,2 - 0,5	145-155
5	Pemasokan ke alat penghampar	0,5 - 1,0	130-150
6	Pemadatan awal (roda baja)	1 – 2	125-145
7	Pemadatan antara (roda karet)	2 – 20	95-125
8	Pemadatan akhir (roda baja)	> 20	> 90

Catatan: Temperatur agregat pada saat pencampuran tidak boleh lebih dari 180°C.

Sumber: *ASTM E 102-93*

- c. Pemadatan akhir (*Finishing Rolling*) harus dilaksanakan dengan alat pemadat roda baja (tanpa penggetar) sampai jejak bekas pemadatan roda karet hilang.

### 2.3.3 Pemadatan di Laboratorium

Untuk perancangan campuran di laboratorium, proses pemadatan disimulasikan dengan membebani campuran di dalam cetakan (*mold*). Cetakan berupa silinder baja berdiameter 10 cm atau 4 inci dan tinggi 7,5 cm atau 3 inci.

Pengujian campuran aspal di laboratotium dengan menggunakan metode *Marshall*, proses pemadatan dilakukan dengan menggunakan palu (*compaction hammer*) seberat 10 pound atau 4,54 kg yang dijatuhkan dengan tinggi jatuh sekitar 18 inchi atau 457 mm. Pada perencanaan *Marshall* konvensional, yang menggunakan agregat berukuran maksimum 25,4 mm, maka jumlah tumbukan 2 x 50 disyaratkan untuk Latasir (Lapisan Tipis Aspal Pasir), namun untuk campuran lainnya diharuskan dengan 2 x 75 tumbukan. Untuk agregat berukuran maksimum lebih dari 25,4 mm digunakan peralatan *Marshall* modifikasi dengan cetakan berdiameter 152,4 mm, berat palu penumbuk 10,2 kg dan jumlah tumbukan 2 x 112 tumbukan. (No. 025/T/BM/1999 Lampiran No. 3 Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga No. 76/KPTS/Db/1999 Tanggal 20 Desember 1999).

**Tabel 2. 2** Persyaratan hasil marshall test gradasi menerus berdasarkan 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, <i>VIM</i> (%)	3	5	3	5	3	5
Rongga dalam agregat, <i>VMA</i> (%)			Lihat Tabel 2.5			
Indeks Perendaman (%)	75	-	75	-	75	-

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

**Tabel 2. 3** Persyaratan hasil marshall test gradasi senjang

Sifat-sifat Campuran	Lataston	
	WC	BC
Jumlah tumbukan per bidang	75	
Rongga dalam campuran (%) <sup>(3)</sup>	Min	3,0
	Max	6,0
Rongga dalam Agregat ( <i>VMA</i> ) (%)	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 <i>VIM</i> ±7% <sup>(4)</sup>	Min	80
Rongga dalam campuran (%) pada <sup>(2)</sup> kepadatan membal (refusal)	Min	2

Tidak ada keterangan pasti mengapa banyaknya tumbukan tersebut ditetapkan untuk tiap jenis kebutuhan perkerasan. Kemungkinannya adalah penetapan ini diambil berdasarkan hasil *trial error* berkali-kali sehingga didapat data yang dianggap dapat mewakili kesimpulan banyaknya tumbukan dengan nilai

stabilitas campuran aspal yang dihasilkan. Sebagai contoh hitungan kasar saja sebagai gambaran, untuk perencanaan *marshall* konvensional yang menggunakan:

- d. *Compaction hammer* : 4,54 kg
- e. Tinggi jatuh : 457 mm = 4,57 cm
- f. Luas bidang kontak : (diameter 10 cm) = 314,286 cm<sup>2</sup>
- g. Energi akibat *hammer* jatuh bebas, yaitu energi potensial akibat satu kali tumbukkan

$$E = mgh = 4,54 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,457 \text{ m}$$

$$= 20,354 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 = 20,354 \text{ joule}$$

- h. Gaya yang terjadi untuk satu kali tumbukkan

$$F = mg = 4,54 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 44,537 \text{ N}$$

- i. Tekanan yang diberikan kepada sampel untuk satu kali tumbukkan

$$P = \frac{F}{A} = \frac{44,537 \text{ N}}{314,286 \text{ cm}^2} = 0,142 \text{ N/cm}^2 = 0,142 \text{ Pa}$$

Hitungan tersebut tanpa memperhitungkan faktor-faktor seperti keadaan campuran aspal yang terkekang di dalam *mold* saat pembebanan, dan volume campuran aspal.

Aspal merupakan material yang memiliki sifat termoplastik, artinya terdapat fase di mana aspal bersifat menjadi plastis akibat tingkatan suhu tertentu yaitu pada suhu rendah. Semakin rendah suhu aspal maka wujud aspal akan semakin kaku dan sebaliknya jika semakin tinggi suhunya maka aspal mendekati wujud cair dengan viskositas tertentu. Dalam penggunaannya baik pada saat proses pencampuran, penghamparan, maupun pemadatan, kondisi campuran aspal selalu pada suhu tinggi. Hal ini dikarenakan :

- a) Pada suhu tinggi, aspal menjadi lebih elastis dan fleksibel sehingga hal ini memudahkan pengerjaannya. Sebaliknya jika dilakukan pada suhu rendah maka campuran menjadi cepat mengeras dan dapat mengakibatkan

campuran lebih cepat mengalami deformasi permanen pada saat pemadatan.

- b) Dengan suhu tinggi, aspal lebih mudah menyelimuti agregat dan mengisi rongga-rongga yang terbentuk antara agregat, sehingga daya ikat dan permeabilitas campuran aspal menjadi tinggi. Dengan demikian ketahanan atau stabilitasnya juga meningkat.

Kepadatan aspal bergantung dari persentase rongga-rongga di dalam campuran, dapat terlihat secara umum bahwa semakin tinggi suhu campuran maka pada saat proses pencampuran aspal lebih merata dan mengisi rongga, serta pada saat pemadatan sifat campuran menjadi lebih fleksibel atau lentur sehingga ketika diberikan pembebanan maka kemungkinan agregat dan aspal mampu ruang atau rongga-rongga kemungkinannya lebih besar. Dengan semakin sedikitnya rongga yang ada dalam campuran maka campuran tersebut semakin padat.

#### 2.3.4 Metode Pengujian *Marshall Test*

Konsep metode Marshall untuk campuran laston dirumuskan oleh *Bruce Marshall* dengan *The Mississippi State Highway Department*. Hasil yang diperoleh dari pengujian dengan alat Marshall, antara lain sebagai berikut :

1. Stabilitas, menunjukkan gaya maksimum yang mampu ditahan oleh campuran aspal sebelum mengalami keruntuhan.
2. Kelelahan (*flow*), menunjukkan deformasi yang terjadi pada campuran aspal sampai mengalami keruntuhan.
3. *Marshall Quotient* (MQ), menunjukkan perbandingan stabilitas dan kelelahan yang digunakan untuk menentukan kualitas dari campuran aspal yang diuji.
4. Rongga dalam campuran (VIM), menunjukkan persentase jumlah volume rongga dalam campuran aspal yang terbentuk antara agregat yang satu dengan agregat lainnya yang tidak terisi aspal.
5. Rongga dalam agregat (VMA), menunjukkan jumlah rongga dalam batuan agregat yang digunakan dalam campuran aspal.



**Gambar 2. 1** Alat uji marshall

(sumber: [http://www.eieinstruments.com/140\\_Marshall%20Stability.jpg](http://www.eieinstruments.com/140_Marshall%20Stability.jpg))

## 2.4 Metode Pengolahan Data Berdasarkan Teori Statistik

### 2.4.1 Metode chi square

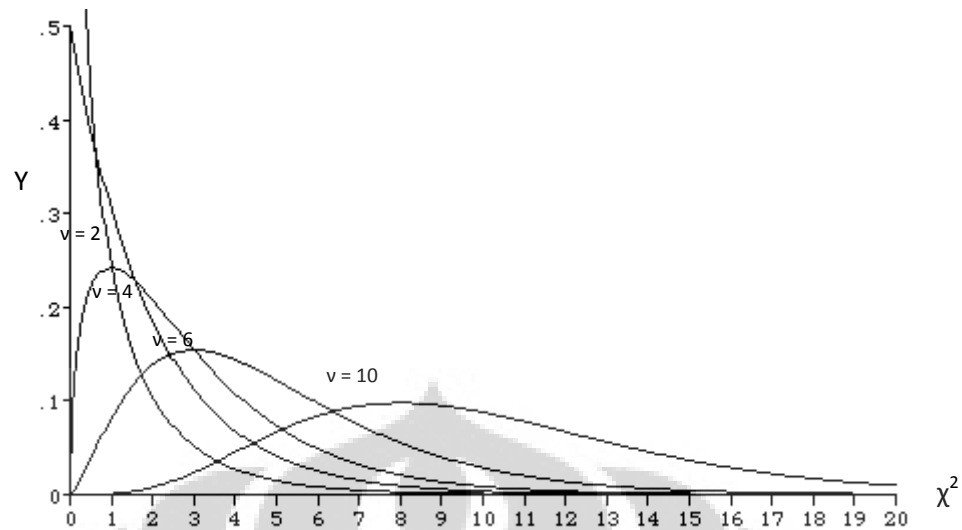
Dalam teori statistik didefinisikan

$$\chi^2 = \frac{Ns^2}{\sigma^2} = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2}{\sigma^2} \quad (2.1)$$

dimana  $\chi$  adalah huruf chi dalam abjad Yunani dan  $\chi^2$  dibaca sebagai chi kuadrat (*chi square*). Jika dipandang sampel – sampel berukuran N yang diambil dari sebuah populasi normal dengan deviasi standar  $\sigma$ , dan jika untuk setiap sampelnya kita hitung  $\chi^2$  maka sebuah distribusi sampling untuk  $\chi^2$  akan diperoleh. Distribusi ini yang disebut sebagai *chi square distribution*. Dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = Y_0 (\chi^2)^{(1/2)(v-2)} e^{-(1/2)\chi^2} = Y_0 \chi^{v-2} e^{-(1/2)\chi^2} \quad (2.2)$$

dimana  $v = N - 1$  adalah banyaknya derajat kebebasan, dan  $Y_0$  adalah konstanta yang besarnya bergantung pada  $v$  sedemikian sehingga total luas didaerah dibawah kurva sama dengan 1. Distribusi chi kuadrat yang berkorespondensi dengan berbagai nilai  $v$  ditunjukkan gambar dibawah ini. Nilai maksimum dari Y terjadi pada  $\chi^2 = v - 2$  untuk  $v \geq 2$ .



**Gambar 2.2** Chi Square Distribution untuk berbagai nilai  $v$ .

Interval kepercayaan dapat didefinisikan dengan batas – batas kepercayaan 95 %, 99 %, atau yang lainnya dan interval  $\chi^2$  dengan menggunakan tabel distribusi  $\chi^2$  (terlampir). Dalam hal ini kita misalkan besar ketidakpercayaan sebesar  $\alpha$  dan interval kepercayaan  $1 - \alpha$ , maka nilai – nilai kritis  $\chi^2$  menjadi :

$$\chi^2_{(\alpha/2)} < \frac{Ns^2}{\sigma^2} < \chi^2_{1-(\alpha/2)} \quad (2.3)$$

Sehingga dapat diperkirakan  $\sigma$  berada dalam interval :

$$\frac{s\sqrt{N}}{\chi_{1-(\alpha/2)}} < \sigma < \frac{s\sqrt{N}}{\chi_{(\alpha/2)}} \quad (2.4)$$



## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

##### 3.1.1 Standar Pengujian

Semua pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia dengan standar pengujian yang mengacu kepada Standar Nasional Indonesia (SNI), *American Society for Testing Material (ASTM)* maupun pada metode *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*. Adapun standar yang digunakan adalah sebagai berikut :

##### 1. Pengujian pemeriksaan untuk aspal

- Pemeriksaan penetrasi aspal sesuai dengan:  
PA-0301-76, AASHTO T-49-80, ASTM D-5-97
- Pemeriksaan titik lembek aspal sesuai dengan:  
PA-0302-76, AASHTO T-53-81, ASTM D-36-95
- Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar sesuai dengan:  
PA-0303-76, AASHTO T-48-81, ASTM D-92-02
- Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal sesuai dengan:  
PA-0304-76, AASHTO T-47-82, ASTM D-6-95
- Pemeriksaan kelarutan aspal dalam  $\text{CCl}_4$  sesuai dengan:  
PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-97
- Pemeriksaan daktilitas aspal sesuai dengan:  
PA-0306-76, AASHTO T-51-81, ASTM D-113-79
- Pemeriksaan berat jenis bitumen (aspal) sesuai dengan:  
PA-0307-76, AASHTO T-228-79, ASTM D-70-03



## 2. Pengujian pemeriksaan untuk agregat

- Analisa saringan agregat halus dan kasar sesuai dengan:  
PB-0201-76, AASHTO T-27-82, ASTM D-136-04
- Berat jenis dan penyerapan agregat kasar sesuai dengan:  
PB-0202-76, AASHTO T-85-81, ASTM D-127-04
- Berat jenis dan penyerapan agregat halus sesuai dengan:  
PB-0203-76, AASHTO T-84-81, ASTM D-128-04

## 3. Pengujian *Marshall test*

- *Marshall test* sesuai dengan:  
PC-0201 - 1976, AASHTO T-245-82, ASTM D-1559-76

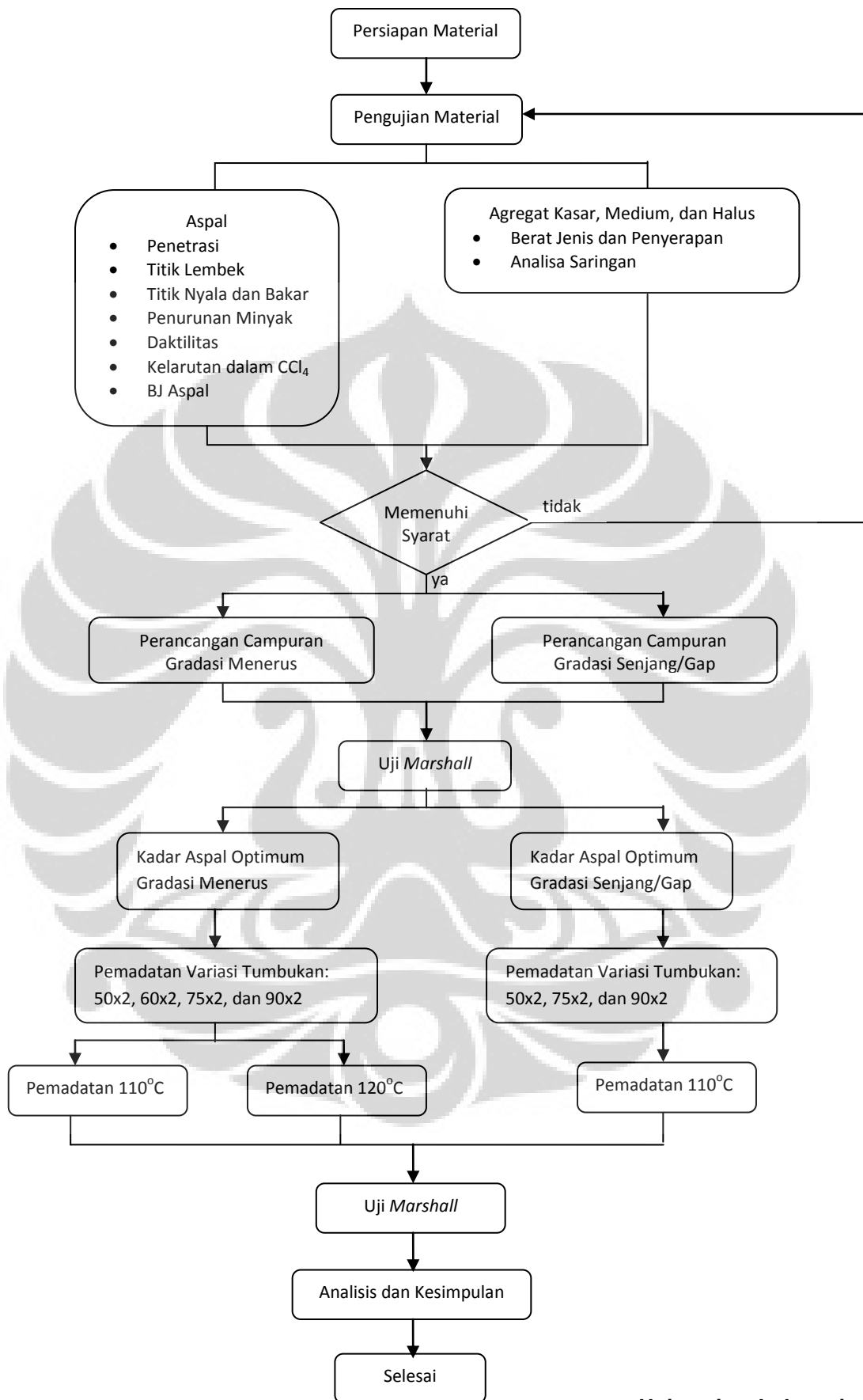
### 3.1.2 Bahan Pembentuk Campuran

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

- a. Aspal yang digunakan adalah aspal pen 60/70 produksi PT. Shell Indonesia.
- b. Agregat halus yang digunakan adalah abu batu dari hasil pemecah batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Utama Prima Bogor.
- c. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Gn.Sindur, Bogor dan diperoleh dari AMP PT. Utama Prima Bogor.
- d. *Filler* atau material pengisi yang digunakan adalah *portland cement* produksi dari PT. Semen Gresik, Tbk.

## 3.2 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir pelaksanaan penelitian di Laboratorium dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu pemeriksaan material (agregat dan aspal), penentuan gradasi campuran (menerus dan senjang/gap) dan perhitungan desain campuran, pengujian *Marshall*, dan secara skematis dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



**Gambar 3.1** Bagan Alir Penelitian

### **Tahapan penentuan kadar aspal optimum**

- Langkah awal dimulai dengan mempersiapkan material atau bahan yang akan digunakan untuk penelitian.
- Lalu material penyusun (aspal dan agregat) dilakukan pemeriksaan uji material untuk mengetahui apakah material tersebut telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.
- Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan sampel untuk mencari kadar aspal optimum. Kadar aspal yang digunakan 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% masing-masing sebanyak 3 sampel susunan gradasi yaitu gradasi menerus dan kadar aspal aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5% untuk sampel gradasi senjang. Kemudian diuji dengan alat *Marshall* sehingga hasilnya digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum.

### **Tahapan pembuatan sampel dengan kadar aspal optimum**

- Kemudian untuk pengujian selanjutnya yaitu variasi saat pemadatan dengan variasi tumbukan 2x50, 2x60, 2x75, dan 2x90. Dan temperatur pada saat pemadatan pada suhu 110°C, dan 120°C untuk gradasi menerus. Dan variasi tumbukan 2x50 dan 2x90 dengan temperatur pada saat pemadatan pada suhu 110°C untuk gradasi senjang.
- Pada saat pengujian variasi pemadatan, perubahan deformasi yang terjadi pada campuran dilakukan pembacaan setiap 5 tumbukan. Pengukuran perubahan deformasi sampel ini berlaku untuk semua sampel dengan semua variasi percobaan.
- Kemudian semua sampel diuji dengan alat *Marshall* untuk mendapatkan data seperti nilai stabilitas campuran, VIM, VMA, flow, dan MQ

### **Tahapan analisis data hasil percobaan**

- Setelah didapatkan data hasil percobaan dengan variasi pemadatan (tumbukan, suhu, dan gradasi) kemudian data tersebut dibandingkan dengan data hasil *Marshall* pada saat penentuan kadar aspal optimum.

**Universitas Indonesia**

Kemudian dianalisis perbedaannya, yaitu bagaimana dampak variasi pembebanan pada saat pemadatan campuran terhadap nilai stabilitas campuran.

- Data perubahan deformasi yang diukur per 5 kali tumbukan pada saat variasi tumbukan kemudian diplot dalam bentuk grafik sehingga terlihat keadaan campuran aspal pada saat pemadatan.

### 3.2.1 Pengujian Material

#### 3.2.1.1 Pengujian 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 (CCl<sub>4</sub>)

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

Tujuan : menentukan kadar bitumen yang larut dalam Karbon Tetra Klorida (CCl<sub>4</sub>).

- 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

### 3.2.1.2 Pemeriksaan 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.

- Berat jenis dan penyerapan agregat halus

(PB-0203-76, AASHTO T-84-81, ASTM D-128-04)

Tujuan : Menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*), dan penyerapan dari agregat halus.

### 3.2.1.3 Pengujian *Marshall Test*

- *Marshall test*

(PC-0201 - 1976, AASHTO T-245-82, ASTM D-1559-76)

Tujuan : Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (*stabilitas*) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal. Ketahanan (*stabilitas*) adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kilogram atau pound. Kelelahan platis adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam millimeter atau 0,01 inch.

#### **Modifikasi pengujian *Marshall***

Modifikasi pengujian *Marshall* untuk sampel dengan variasi temperatur (110°C, dan 120°C) dan variasi gradasi (gradasi senjang dan menerus) dilakukan dengan melakukan tumbukkan per 5 kali, ini dilakukan untuk membaca perubahan deformasi yang terjadi pada sampel selama penumbukkan. Dengan total tumbukkan pada sampel 2x50, 2x60, 2x75, dan 2x90 tumbukkan. Jadi pada pengujian ini penumbukkan dilakukan adanya interval waktu per 5 kali tumbukkan, selanjutnya untuk pengujian dengan alat *Marshall* sama dengan metode *Marshall* standar.

### 3.2.2 Perumusan sampel percobaan

Berikut ini adalah perincian jumlah sampel yang dibutuhkan selama penelitian yang dirincikan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 :

**Tabel 3.1** Banyak sampel untuk mencari kadar aspal optimum

Kadar aspal	5%	5,50%	6%	6,50%	7%	7,5%
Gradasi menerus	3	3	3	3		
Gradasi Senjang	3	3	3	3	3	3
<b>total</b>			<b>30</b>			

**Tabel 3.2** Banyak sampel untuk variasi proses pemadatan

	agregat	gradasi menerus		gradasi senjang
Temperatur (°C)	110	120	110	
tumbukan	50	3	3	3
	60	3	3	
	75	3	3	
	90	3	3	3
<b>total</b>	<b>30 sampel</b>			

Setelah dilakukan semua pengujian material pembentuk campuran beton aspal, maka langkah selanjutnya adalah merumuskan sampel yang akan digunakan untuk penelitian. Tahap awal penelitian adalah mencari kadar aspal optimum yang akan digunakan sebagai asuan kadar aspal dalam pembuatan sampel uji untuk pengujian variasi tumbukan pada saat pemadatan.

Berdasarkan Tabel 3.1 (*banyak sampel untuk mencari kadar aspal optimum*) maka langkah pertama adalah membuat sampel uji untuk mencari kadar aspal optimum untuk masing-masing variasi susunan gradasi dengan total sampel sebanyak 30 buah.

Setelah didapat komposisi untuk masing-masing sampel dengan kadar aspal yang berbeda-beda, kemudian semua sampel diuji dengan menggunakan alat *Marshall* untuk mendapatkan nilai stabilitas dari masing-masing sampel sehingga dapat diketahui sampel dengan kadar aspal yang memiliki angka stabilitas tertinggi (kadar aspal optimum).

### 3.3 Tahap Pengujian variasi tumbukan

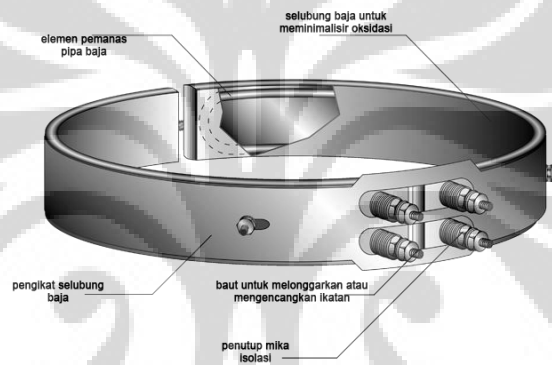
Setelah didapat angka kadar aspal optimum, maka pembuatan sampel sama dengan cara sebelumnya, yaitu dilakukan *mix design* dengan kadar aspal optimum. Tahapan pembuatannya sama dengan pembuatan sampel pada saat mencari kadar aspal optimum, hanya pada saat proses pemadatan dilakukan variasi jumlah tumbukkan, yaitu sebanyak 2x50; 2x60; 2x75; 2x90 tumbukan pada temperatur pemadatan 110°C dan 120°C untuk gradasi agregat menerus. Dan

**Universitas Indonesia**

variasi tumbukan yaitu 2x50 dan 2x90 pada temperatur pemadatan 110°C untuk gradasi senjang. Dengan masing-masing menggunakan 3 sampel untuk setiap variasi percobaan, maka total sampel untuk variasi tumbukan sebanyak 30 sampel sesuai dengan perincian yang dijelaskan pada tabel 3.2 sebelumnya.

Karena adanya pembacaan deformasi yang memakan waktu sehingga penurunan suhu campuran pasti terjadi, untuk itu suhu dijaga konstan dengan menggunakan bend heater yang menyelubungi mold yang terhubung termostat. Berikut ini penjelasan lebih lanjut mengenai peralatan tambahan yang digunakan untuk menunjang penelitian :

- *Band heater*



**Gambar 3.2.** Struktur band heater

Sumber: [http://www.tutco.com/\\_images/products/dimensiondrawing/ultima\\_band\\_drawing.png](http://www.tutco.com/_images/products/dimensiondrawing/ultima_band_drawing.png)

*Band heater*, merupakan alat pemanas berupa konduktor atau penghantar panas dengan sumber daya listrik. *Band heater* yang digunakan dalam penelitian ini menyelubungi  *mold* yang berdiameter 11,1 cm dan tinggi 6 cm

- *Thermostat*



**Gambar 3.3.** Thermostat



*Thermostat* merupakan instrumen yang mengatur satu atau lebih sumber pemanasan dan pendinginan secara langsung atau tidak langsung untuk mempertahankan temperatur yang diinginkan. *Thermostat* dapat berfungsi dalam pengaturan temperatur dengan alat pendeteksi temperatur dan sebuah *transducer*. *Thermostat* yang digunakan dalam penelitian memiliki suhu paling tinggi hingga 300<sup>0</sup>C.

- Jangka sorong



**Gambar 3.4.** jangka sorong

Sumber: [http://www.deben.com/images/products/shooting\\_accessories/digital\\_caliper.jpg](http://www.deben.com/images/products/shooting_accessories/digital_caliper.jpg)

Bagian pemegang jangka sorong biasanya yang dapat ditarik keluar dari sisi pemegang untuk mengukur kedalaman celah/lubang dengan cara menancapkan / menusukkan bagian pengukur. Metode pengukuran yang tersebut digunakan untuk pengukuran nilai deformasi campuran aspal beton akibat proses pemadatan. Sedangkan untuk ketelitian jangka sorong yang digunakan adalah 0,01 mm yaitu jangka sorong digital.

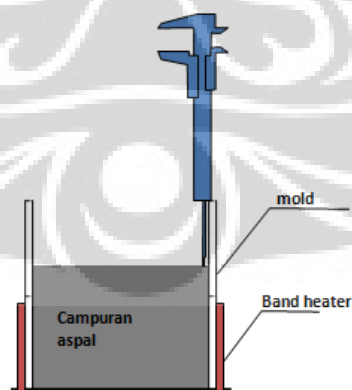
Pemadatan dilakukan dengan menggunakan mesin pemadat dengan periode satu tumbukan memiliki waktu yang konstan, alatnya adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.5.** alat penumbuk (*compactor*)

Untuk menjaga temperatur pada saat pemadatan berlangsung menggunakan *band heater* yang menyelubungi mold dan alat pengatur suhu *thermostat*. Sedangkan untuk pengukuran deformasi, maka setiap 5 kali tumbukkan dilakukan pembacaan deformasi/perubahan tinggi sampel secara vertikal yaitu dengan cara menggunakan jangka sorong. Caranya ialah sebagai berikut :

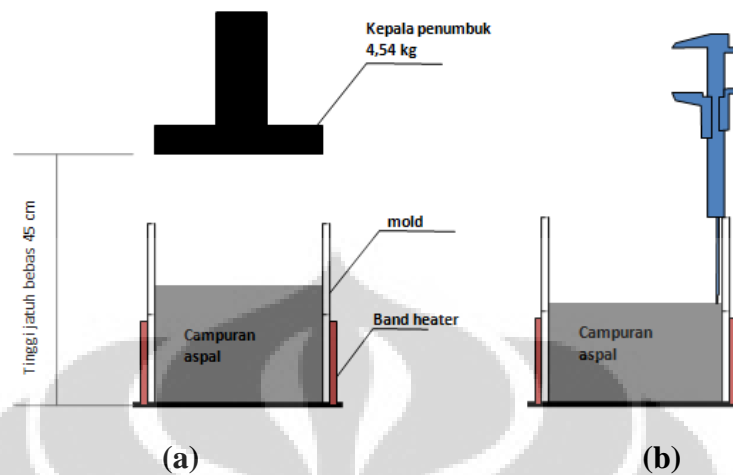
1. Pengukuran dilakukan dengan mengatur deformasi 0 atau awal sebelum sampel menerima tumbukkan, yaitu dengan cara menempatkan jangka sorong pada sisi dalam *mold*. Lalu diukur pada tinggi antara permukaan campuran dengan bibir *mold*. Pengukuran dilakukan pada tiga sisi yang berbeda untuk mendapatkan rata-rata tingginya (gambar3.6).



**Gambar 3.6.** Penampang melintang pengukuran sampel sebelum ditumbuk

2. Kemudian setelah campuran menerima 5 kali tumbukkan (gambar 3.7.a), dilakukan pengukuran kembali tinggi permukaan campuran terhadap

tinggi permukaan bibir  *mold*. Pengukuran dilakukan di tiga tempat berbeda pula untuk mendapatkan tinggi rata-ratanya (gambar 3.7.b).



**Gambar 3.7 (a).** penampang melintang sampel akan ditumbuk  
**Gambar 3.7 (b).** penampang melintang pengukuran sampel setelah ditumbuk

3. Kemudian sampel ditumbuk lagi sebanyak 5 kali tumbukkan. Lalu diukur pada tinggi antara permukaan campuran dengan bibir  *mold*. Pengukuran dilakukan pada tiga sisi yang berbeda untuk mendapatkan rata-rata tingginya. Kemudian setelah campuran menerima 5 kali tumbukkan lagi, dilakukan pengukuran kembali tinggi permukaan campuran terhadap tinggi permukaan bibir  *mold*. Pengukuran dilakukan di tiga tempat berbeda pula untuk mendapatkan tinggi rata-ratanya. Maka didapat deformasi campuran akibat tumbukkan kumulatif yaitu sebanyak 10 tumbukkan, begitu seterusnya sampai kumulasi tumbukkan rencana yaitu sebanyak 2x50; 2x60; 2x75; 2x90 tumbukkan.

Pengukuran deformasi seperti ini tidak dapat memperlihatkan  *rebound* deformasi pada campuran aspal setelah campuran ditumbuk. Untuk itu yang perlu diperhatikan agar data yang didapat seragam yaitu pada saat pengukuran deformasi pada campuran dilakukan dalam selang atau interval waktu yang sama waktu yang sama dan penumbukan dilakukan tanpa adanya tundaan atau  *delay*. Untuk melakukan pengukuran deformasi di tiga sisi permukaan sampel dibatasi dalam selang waktu 30 detik hingga sampel menerima 5 tumbukkan lagi.

Setelah semua sampel ditumbuk dan dicatat deformasi yang terjadi akibat tumbukkan, maka tahap selanjutnya adalah uji *Marshall*. Pengujian dilakukan dengan cara yang sama seperti pada saat uji *Marshall* untuk mencari kadar aspal optimum. Berdasarkan uji *Marshall* didapatkan angka stabilitas untuk masing-masing sampel. Setelah serangkaian penelitian ini dilakukan maka diharapkan dapat dibuat hubungan antara jumlah tumbukkan terhadap deformasi sampel; jumlah tumbukkan terhadap stabilitas; deformasi sampel terhadap stabilitas. Sehingga dapat dianalisis dan disimpulkan mengenai deformasi sampel ideal yang dapat menghasilkan campuran aspal dengan angka stabilitas yang tinggi.

### 3.4 Dasar Perhitungan

Perhitungan yang digunakan untuk menganalisis data-data yang dihasilkan dari uji *Marshall* menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

#### 3.4.1 Berat Jenis Curah (*Bulk*) dan semu (*Apparent*) dari Total Agregat

Total campuran agregat terdiri dari fraksi agregat kasar, agregat halus, dan *filler*, yang masing-masing memiliki berat jenis yang berbeda, sehingga berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dari total campuran agregat dapat dihitung berdasarkan persamaan (3.1) dan (3.2) di bawah ini :

- a. Berat jenis kering (*Bulk Specific Gravity*) dari total agregat

$$G_{sb \text{ total agregat}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb \ 1}} + \frac{P_2}{G_{sb \ 2}} + \frac{P_3}{G_{sb \ 3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sb \ n}}} \dots\dots\dots(3.1)$$

- b. Berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) dari total agregat

$$G_{sa \text{ total agregat}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa \ 1}} + \frac{P_2}{G_{sa \ 2}} + \frac{P_3}{G_{sa \ 3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sa \ n}}} \dots\dots\dots(3.2)$$

#### 3.4.2 Berat Jenis Efektif dari Total Agregat

Berat jenis efektif dari total campuran agregat dapat dicari berdasarkan hasil pengujian Kepadatan Maksimum Teoritis dengan menggunakan persamaan (3.3) dan (3.4), di bawah ini :

Berat jenis efektif dari total agregat

$$a. G_{se\ total\ agregat} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$b. G_{se\ total\ agregat} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(3.4)$$

### 3.4.3 Volume campuran dan berat jenis campuran setelah pemadatan

a. Volume campuran setelah pemadatan

$$V_{bulk} = V_{SSD} - W_w \dots\dots\dots(3.5)$$

b. Berat jenis campuran setelah pemadatan

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \dots\dots\dots(3.6)$$

c. Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan ( $G_{mm}$ )

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{100 - P_b}{G_{se\ total\ agregat}} + \frac{P_b}{G_{sb\ total\ agregat}}} \dots\dots\dots(3.7)$$

### 3.4.4 Penyerapan Aspal

Penyerapan Aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat total arggat, dan bukan terhadap campuran. Persamaan penyerapan aspal ( $P_{ba}$ ) dapat dilihat pada persamaan 3.8 di bawah ini.

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \times G_b \dots\dots\dots(3.8)$$

### 3.4.5 Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif ( $P_{be}$ ) campuran beraspal adalah total kadar aspal dikurangi jumlah kadar aspal yang diserap oleh agregat. Kadar aspal efektif akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang akan menentukan kinerja

perkerasan, di mana persamaan kadar aspal efektif ( $P_{be}$ ) seperti pada persamaan (3.9) di bawah ini.

$$P_{be} = P_b \times \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

#### 3.4.6 Rongga Udara (*Air Voids*)

##### a. Rongga udara dalam campuran (*VIM*)

Rongga udara dalam campuran (*VIM*) dalam campuran beraspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume udara dalam campuran beraspal dapat ditentukan dengan persamaan *VIM* seperti pada persamaan (3.10) berikut ini.

$$VIM = 100 - 100 \times \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

##### b. Rongga udara antar mineral agregat (*Voids in the Mineral Agregat/VMA*)

Rongga udara antar mineral agregat (*VMA*) merupakan ruang rongga di antara partikel agregat pada campuran beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang terserap agregat). *VMA* direncanakan berdasarkan berat jenis *bulk* ( $G_{sb}$ ) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *bulk* campuran beraspal. Persamaan *VMA* terhadap campuran beraspal dapat terlihat pada persamaan (3.11) berikut ini.

$$VMA = 100 - \left[ (100 - P_b) \times \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \right] \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

#### 3.4.7 Stabilitas dan *Flow*

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai yang ditunjukkan oleh jarum pada dial stabilitas pada alat *test Marshall*, kemudian dikonversikan pada tabel kalibrasi sesuai *proving ring* yang digunakan dalam penelitian ini *proving ring* dengan kekuatan 2500 kgf. Selanjutnya nilai stabilitas tersebut harus disesuaikan dengan angka koreksi akibat dari tebal benda uji. Untuk nilai *flow* ditunjukkan pada angka pada jarum dial *flow*, satuan pada dialnya menunjukkan satuan mm (milimeter), sehingga tidak diperlukan lagi konversi angka dan kalibrasi dial *flow*.

### 3.4.8 Marshall Quotient

*Marshall Quotient (MQ)*, merupakan hasil bagi dari stabilitas dibagi dengan *flow*, yang dapat dihitung melalui persamaan (3.12) berikut ini.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(3.12)$$

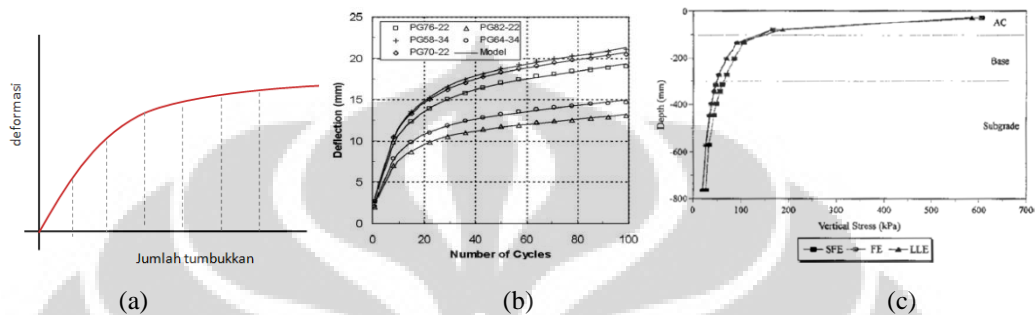
Keterangan :

Gsb	= Berat jenis kering/ <i>bulk specific gravity</i> (gr/cc)
Gsa	= Berat jenis semu/ <i>apparent specific gravity</i> (gr/cc)
Gse	= Berat jenis efektif (gr/cc)
Gsb <sub>total agregat</sub>	= Berat jenis kering agregat gabungan (gr/cc)
P1, P2, P3, ...	= Persentase berat dari masing-masing agregat (%)
Gsb <sub>1</sub> , Gsb <sub>2</sub> , Gsb <sub>3</sub> , ...	= Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1, 2, 3, ...n
Gsa <sub>total agregat</sub>	= Berat jenis semu agregat gabungan (gr/cc)
Gsa <sub>1</sub> , Gsa <sub>2</sub> , Gsa <sub>3</sub> , ...	= Berat jenis semu dari masing-masing agregat 1, 2, 3, ...n
Gse <sub>total agregat</sub>	= Berat jenis efektif agregat gabungan (gr/cc)
Gse <sub>1</sub> , Gse <sub>2</sub> , Gse <sub>3</sub> , ...	= Berat jenis efektif dari masing-masing agregat 1, 2, 3, ...n
V <sub>bulk</sub>	= Volume campuran setelah pemadatan (cc)
W <sub>SSD</sub>	= Berat dalam kondisi kering permukaan (gr)
W <sub>w</sub>	= Berat dalam air (gr)
Gmb	= Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
Gmm	= Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)
P <sub>b</sub>	= Persentase kadar aspal terhadap campuran (%)
P <sub>ba</sub>	= Penyerapan aspal, persen total agregat (%)
P <sub>bc</sub>	= Kadar aspal efektif, persen total campuran (%)
P <sub>f</sub>	= Persentase kadar <i>filler</i> terhadap campuran (%)
P <sub>s</sub>	= Kadar agregat, persen total campuran (%)
G <sub>b</sub>	= Berat jenis aspal (gr/cc)
VIM	= Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, persentase dari volume total (%)
VMA	= Rongga udara pada mineral agregat, persentase dari volume total (%)
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
MS	= <i>Marshall Stability</i>
MF	= <i>Kelelahan Marshall</i>

### 3.5 Analisa data hasil percobaan

Setelah didapat dari seluruh sampel kemudian dilakukan tahapan sebagai berikut:

- a) Memplot data perubahan deformasi yang terjadi selama pemadatan (per 5 kali tumbukan) untuk variasi tumbukan dengan perbedaan temperatur, dan gradasinya. Contoh grafik pola deformasi pada campuran aspal beton yang telah dilakukan dan contohnya pada jurnal penelitian berbeda berikut ini



**Gambar 3.8 a** Contoh grafik deformasi vs jumlah tumbukkan

**Gambar 3.8 b** Effects Of Mix Design Variables On Mechanical Properties Of Hot Mix Asphalt

Oleh: Murat Guler Journal Of Transportation Engineering © ASCE / March 2008

**Gambar 3.8 c** Analysis Of Stress-Dependent Behavior In Conventional Asphalt Pavements

Oleh: Seong-Wan Park Journal Of Civil Engineering © KSCE / Dec 2001, Vol. 5 No. 4

- b) Menganalisis hubungan antara pembebanan statis berulang pada proses pemadatan (yang disimulasi melalui tumbukan di laboratorium) terhadap perubahan deformasi campuran.
- c) Membandingkan data hasil *Marshall test* sampel kadar optimum dan metode *Marshall* standar dengan data hasil *Marshall test* sampel semua variasi tumbukan pemadatan.
- d) Menganalisa perubahan deformasi dengan nilai stabilitas campuran aspal.



## BAB 4

### HASIL DAN ANALISA PENELITIAN

#### 4.1. Pengujian Material

##### 4.1.1. Hasil pengujian aspal

Berikut ini adalah rincian hasil pemeriksaan material aspal yang digunakan dalam penelitian, yaitu aspal merk SHELL penetrasi 60/70. Hasil pengujian aspal tertera pada tabel 4.1 berikut ini:

**Tabel 4.1** Pengujian Fisik aspal SHELL Penetrasi 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Pen 60/70		Hasil pemeriksaan	Keterangan
			Min	maks		
1	Penetrasi 25°C, 100gr, 5 detik	0,1mm	60	79	62	Memenuhi
2	Titik lembek 5°C ( <i>ring and ball test</i> )	°C	48	58	52,45	Memenuhi
3	Titik nyala ( <i>cleaveland open cup</i> )	°C	232	-	332	Memenuhi
4	Kehilangan berat ( <i>thick film oven test</i> )	%	-	0,4	0,31	Memenuhi
5	Kelarutan dalam CCl <sub>4</sub>	%	99	-	99,75	Memenuhi
6	Daktilitas	Cm	100	-	>100	Memenuhi
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	%	75	-	83,4	Memenuhi
8	Berat jenis 25°C	gr/cc	1	-	1,03	Memenuhi

Sumber: *Manual Pemeriksaan Jalan, No.01/MN/BM/1976, Ditjen Bina Marga 1983*

- Pemeriksaan penetrasi aspal

Pengujian ini berdasarkan PA-0301-76, AASHTO T-49-80, ASTM D-5-97. Pengujian ini menggunakan beban penetrasi seberat 100gr selama 5 detik, terhadap sampel aspal yang dijaga suhunya pada 25°C selama 30 menit. Pemeriksaan menggunakan 2 sampel, di mana masing-masing sampel dipenetrasi sebanyak 5 kali di tiap titik yang berbeda. Hasil pengujian di laboratorium didapat sebesar 62 yang berarti aspal tersebut masuk ke dalam rentang penetrasi untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu pada rentang 60 – 79. Kemudian dilakukan pemeriksaan penetrasi setelah kehilangan berat dimana sampel dioven selama 24 jam lalu dilakukan

pemeriksaan penetrasi dengan prosedur yang sama. Hasil yang didapat mengalami penurunan dari penetrasi sebelum kehilangan berat. Hal ini disebabkan karena sifat aspal yang menjadi kurang lentur akibat penguapan minyak setelah dioven. Jika dibandingkan dengan nilai penetrasi sebelum kehilangan berat, maka besarnya penetrasi setelah kehilangan berat sebesar 83,4% dari nilai penetrasi sebelum kehilangan berat. Sehingga aspal dinyatakan memenuhi batas minimum penetrasi setelah kehilangan berat untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu sebesar 75% dari penetrasi sebelum kehilangan berat.

- Pemeriksaan titik lembek aspal

Pengujian ini berdasarkan PA-0302-76, AASHTO T-53-81, ASTM D-36-95. Untuk pemeriksaan titik lembek menggunakan sumber pemanas dengan bahan bakar gas, karena tingkat pemanasan lebih stabil dan mudah untuk diatur tingkat pemanasannya yaitu 5°C/menit. Sampel yang digunakan sebanyak 2 buah dengan tiap sampel sebanyak 2 ring, dengan suhu awal 5°C sebagai batas paling tinggi sifat kekakuan dari aspal yang disebabkan sifat termoplastik. Untuk aspal penetrasi 60/70, syarat titik lembek berada pada rentang 48°C – 58°C. Hasil pengujian yang dilakukan diperoleh nilai titik lembek yang memenuhi syarat

- Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar

Pengujian ini berdasarkan PA-0303-76, AASHTO T-48-81, ASTM D-92-02. Yaitu dengan cara menempatkan aspal pada *Cleveland open cup*, yaitu cawan kuningan, lalu dipanaskan di atas pemanas. Titik nyala adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal. Titik bakar adalah suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada suatu titik di atas permukaan aspal. Batas minimum titik nyala untuk aspal penetrasi 60/70 minimal 232°C. Dari hasil pemeriksaan didapat besarnya titik nyala sebesar 332°C.

- Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal

Pengujian ini berdasarkan PA-0304-76, AASHTO T-47-82, ASTM D-6-95. Untuk pengujian penurunan berat minyak dan aspal menggunakan sampel yang sama untuk pengujian penetrasi. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui penurunan berat aspal akibat unsur-unsur yang terkandung di dalam aspal. Pemeriksaan penurunan berat minyak untuk aspal penetrasi 60/70 memiliki batas maksimum sebesar 0,4% sedangkan hasil uji laboratorium didapat penurunan berat minyak sebesar 0,31% dengan demikian maka aspal masuk ke dalam spesifikasi pemeriksaan penurunan minyak dan asal.

- Pemeriksaan kelarutan aspal dalam karbon tetraklorida ( $\text{CCl}_4$ )

Pengujian ini berdasarkan PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-97. Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan jumlah unsur aspal dalam larutan  $\text{CCl}_4$  dengan adanya material lain yang terlarut dalam residu aspal. Persyaratan kelarutan aspal dalam  $\text{CCl}_4$  minimum sebesar 99%, sedangkan hasil uji lab didapatkan besarnya kelarutan aspal *SHELL* 60/70 sebesar 99,75% memenuhi syarat minimum. Artinya dalam aspal tersebut hanya 0,25% yang merupakan material lain yang terlarut dalam residu aspal.

- Pemeriksaan daktilitas aspal

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

- Pemeriksaan berat jenis bitumen (aspal)

Pengujian ini berdasarkan PA-0307-76, AASHTO T-228-79, ASTM D-70-03. Pemeriksaan dilakukan pada suhu kamar 27°C. Persyaratan minimum yang ditentukan untuk berat jenis aspal penetrasi 60/70 adalah 1 gr/cc. Berdasarkan data pemeriksaan hasil uji laboratorium didapat berat

jenis aspal sebesar 1,03 gr/cc. Dengan demikian aspal memenuhi persyaratan berat jenis.

#### 4.1.2. Hasil pengujian pemeriksaan untuk agregat

Berikut ini adalah rincian hasil pengujian agregat yang digunakan dalam penelitian, yaitu agregat dari PT. Hutama Prima, agregat berupa batu rumpin yang berasal dari gunung Sindur. Rincian hasil pengujian agregat dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

**Tabel 4.2** Pengujian Fisik Agregat

No.	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Syarat	Hasil Uji	Keterangan	Standart Pengujian
<b>Agregat Kasar</b>						
1	Berat jenis curah ( <i>Bulk SG</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	> 2,5	2,503	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
2	Berat jenis kering permukaan jenuh ( <i>SSD</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	> 2,5	2,536	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
3	Berat jenis semu ( <i>apparent</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	> 2,5	2,588	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
4	Penyerapan ( <i>absorption</i> )	%	< 3	1,32	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
<b>Agregat Medium</b>						
1	Berat jenis curah ( <i>Bulk SG</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	> 2,5	2,504	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
2	Berat jenis kering permukaan jenuh ( <i>SSD</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	> 2,5	2,550	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
3	Berat jenis semu ( <i>apparent</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	> 2,5	2,625	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
4	Penyerapan ( <i>absorption</i> )	%	< 3	1,84	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
<b>Agregat Halus</b>						
1	Berat jenis curah ( <i>Bulk SG</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	> 2,5	2,619	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
2	Berat jenis kering permukaan jenuh ( <i>SSD</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	> 2,5	2,646	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
3	Berat jenis semu ( <i>apparent</i> )	gr/cm <sup>3</sup>	> 2,5	2,690	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F
4	Penyerapan ( <i>absorption</i> )	%	< 3	1,01	Memenuhi	SK SNI M 10 1989 F

- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan medium

Pengujian ini berdasarkan PB-0202-76, AASHTO T-85-81, ASTM D-127-04. Agregat kasar dan medium berasal dari PT. Hutama Prima (AMP) berupa rumpin yang berasal dari Gn.Sindur, Bogor. Untuk pengujian agregat kasar, memakai agregat yang lolos saringan ¾” atau berdiameter sekitar 19,1 mm sedangkan untuk agregat medium memakai agregat lolos saringan ½” atau berdiameter sekitar 12,7 mm. Pada hasil pengujian didapat bahwa besarnya berat jenis curah (*bulk SG*) untuk agregat kasar sebesar 2,503 gr/cm<sup>3</sup> dan untuk agregat medium sebesar 2,504 gr/cm<sup>3</sup>. Berat jenis curah untuk kedua jenis agregat ini lebih besar dari persyaratan minimum yaitu 2,5 gr/cm<sup>3</sup>. Sedangkan untuk berat jenis semu (*apparent*) untuk agregat kasar sebesar 2,588 gr/cm<sup>3</sup> dan untuk agregat medium

sebesar  $2,625 \text{ gr/cm}^3$ . Berat jenis semu untuk kedua jenis agregat ini lebih besar dari persyaratan minimum berat jenis semu yaitu sebesar  $2,5 \text{ gr/cm}^3$ . Hasil uji penyerapan air untuk agregat kasar didapatkan nilai penyerapannya sebesar 1,32% sedangkan untuk agregat medium didapatkan sebesar 1,84%. Hasil pengujian penyerapan air untuk kedua jenis agregat, berada di bawah nilai maksimum untuk penyerapan air yaitu sebesar 3%. Semakin besar persentase nilai penyerapan air, maka semakin banyak air yang dapat terserap oleh agregat tersebut. nilai penyerapan air bergantung pada luas permukaan agregat dan banyaknya pori di dalam agregat itu sendiri.

- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus  
Pengujian ini berdasarkan PB-0203-76, AASHTO T-84-81, ASTM D-128-04. Pada pengujian agregat halus menggunakan abu batu yang dari PT Hutama Prima (AMP) yang berasal dari rumpin Gn.Sindur, Bogor. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai berat jenis curah (*bulk SG*) untuk agregat halus sebesar  $2,619 \text{ gr/cm}^3$  lebih besar dari batas minimum yaitu  $2,5 \text{ gr/cm}^3$ . Untuk nilai berat jenis semu (*apparent*) didapatkan sebesar  $2,690 \text{ gr/cm}^3$  melebihi batas minimum yaitu  $2,5 \text{ gr/cm}^3$ . Sedangkan untuk pemeriksaan penyerapan air untuk agregat halus didapatkan sebesar 1,01% berada di bawah batas maksimum yaitu sebesar 3%.
- Analisa saringan agregat kasar, medium dan halus  
Standar pengujiannya mengacu pada PB-0201-76, AASHTO T-27-82, ASTM D-136-04. Berikut ini adalah hasil analisa saringannya yang disajikan pada tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.3** Data sieve analysis agregat

Saringan No	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lewat
<b>Agregat Kasar</b>				
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
		<b>1998</b>	<b>100,00</b>	
<b>Agregat Medium</b>				
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
		<b>2005</b>	<b>100,00</b>	
<b>Agregat Halus</b>				
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
		<b>1000</b>	<b>100,00</b>	

Pada analisa saringan agregat kasar, sebagian besar sebanyak 90,94% dari total sampel analisa saringan agregat kasar merupakan agregat lolos saringan 3/4" atau 19,1 mm dan tertahan pada saringan 1/2" atau 12,7 mm, sedangkan 6,81% merupakan agregat lolos saringan 1/2" dan tertahan pada saringan 3/8" atau 9,52 mm. Untuk sebaran agregat medium, mayoritas atau sebanyak 61,9% dari total sampel analisa saringan agregat medium merupakan agregat lolos saringan 3/8" dan tertahan pada saringan no.4 atau sekitar 4,76 mm. Sedangkan untuk agregat halus, hampir terbagi rata di setiap partisi saringan, dua saringan dominan adalah agregat halus yang

lolos saringan no.4 atau 4,76 mm dan tertahan saringan no.8 atau 2,38 mm sebanyak 25,1% dari total sampel analisa saringan agregat halus. Dan agregat yang lolos saringan no.8 dan tertahan pada saringan no.30 atau sekitar 0,59 mm sebesar 25,6% dari total sampel untuk analisa saringan agregat halus.

## 4.2. Perumusan campuran sampel untuk mencari kadar aspal optimum

### 4.2.1 Mencari kadar aspal optimum gradasi menerus

- Analisa sebaran butiran gabungan agregat gradasi menerus (spek IV)

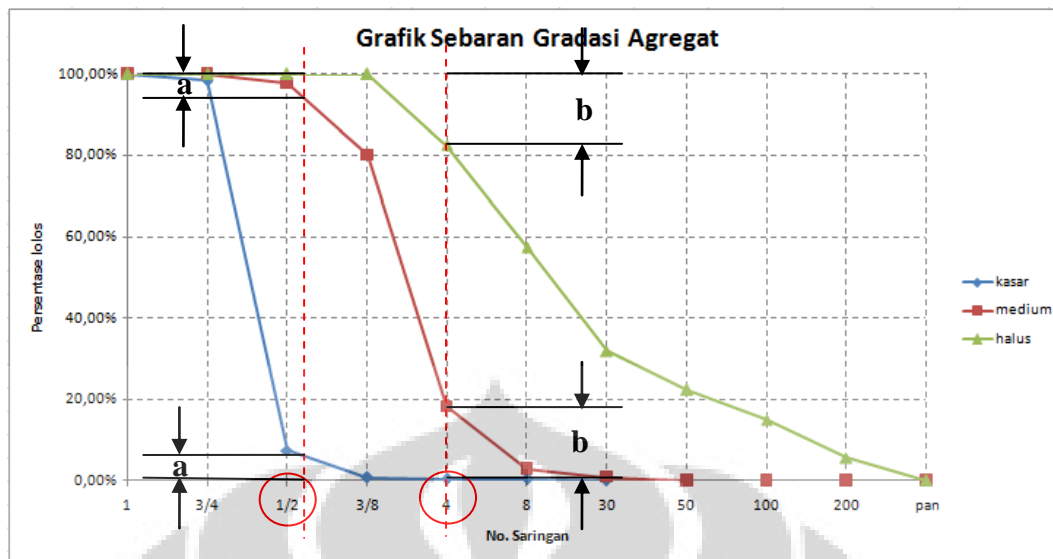
Untuk sebaran gradasi agregat menerus menggunakan spek IV menurut SNI 1737-1989-F Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan komposisi sebaran agregat untuk spek IV atau nomor campuran IV sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Distribusi agregat menurut jenis campurannya

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	26-38	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	12-20	10-18	-	-
no. 200 (0.074 mm)	2-8	2-8	4-10	4-10	1-8	6-12	6-12	6-12	5-10	4-8	4-9

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

Dari data tabel analisa masing-masing agregat kemudian diplot ke dalam satu grafik sebaran gradasi agregat sehingga dapat ditentukan besaran persentase proporsi agregat kasar, medium, dan halus terhadap total campuran agregat. Berikut ini adalah grafik untuk mencari persentase agregat gradasi menerus.



**Gambar 4.1** Grafik sebaran gradasi masing-masing agregat

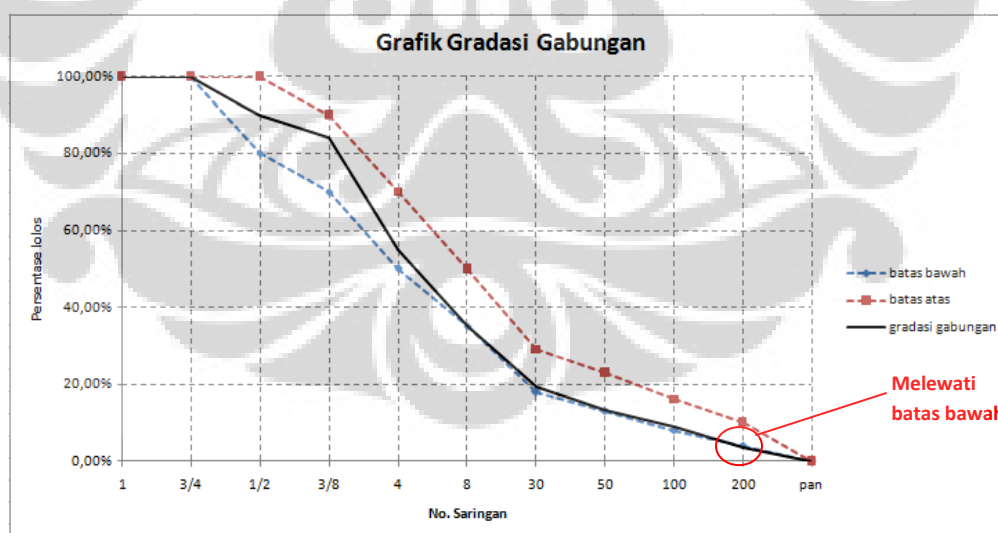
Untuk menentukan proporsi masing-masing agregat dilakukan dengan cara *trial and error*, yaitu dengan perpotongan dua grafis sebaran gradasi. Untuk menentukan proporsi agregat halus ditentukan dengan menentukan jarak potong yang sama (b) antara garis putus-putus dengan grafik agregat halus dan medium, lalu melihat letak perpotongan cenderung mendekat ke saringan no.4. kemudian dengan mengacu ke spek IV lolos saringan no.4 memiliki rentang 50 – 70% lalu diambil nilai tengahnya yaitu 60%, jadi didapatkan proporsi agregat halus 60%. Dengan cara yang sama untuk menentukan proporsi agregat kasar, sehingga didapatkan proporsi perkiraan awal sebesar 10% agregat kasar, 30% agregat medium, dan 60% agregat halus. Berdasarkan proporsi perkiraan awal tersebut kemudian tiap agregat dikalkulasikan berdasarkan proporsi masing-masing agregat, berikut ini adalah rinciannya pada tabel 4.5.



**Tabel 4.5** Persentase agregat untuk 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

Setelah didapat bobot masing-masing saringan, kemudian dijumlahkan menurut nomor saringannya sehingga didapat total persentase agregat di setiap saringannya. Akan tetapi ketika dicocokkan pada spek IV khususnya untuk persentase total lolos saringan no.200 sebesar 3,36% tidak memenuhi standar spek 4 dimana berada pada rentang 4 – 10%. Untuk lebih jelasnya grafik gradasi agregat gabungan dapat terlihat pada gambar 4.2 di bawah ini.

**Gambar 4.2** Grafik sebaran gradasi agregat gabungan

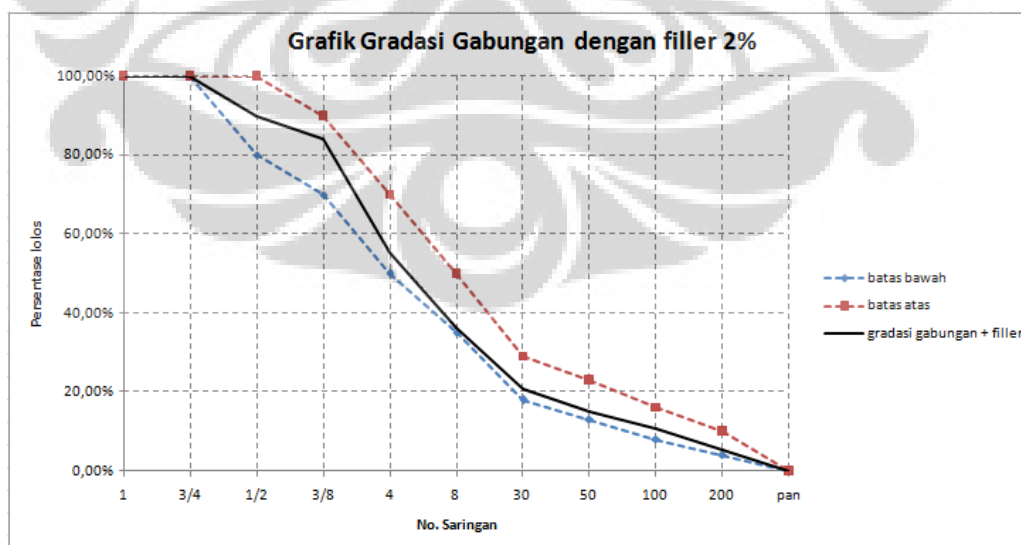
Untuk itu ditambahkan material filler berupa semen portland dengan pemeriksaan berat jenis 3,14 ditambahkan sebanyak 2% dari total

campuran agregat, sehingga jika dikalkulasikan dapat terlihat pada tabel 4.6 di bawah ini.

**Tabel 4.6** Persentase agregat dengan penambahan filler 2% untuk spek IV

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

Berdasarkan perhitungan total agregat yaitu dengan penambahan filler sebesar 2%, sehingga proporsi campuran untuk agregat kasar sebesar 10%, proporsi agregat medium sebesar 30%, dan proporsi agregat halus menjadi sebesar 58%. Dengan penambahan filler sebanyak 2% terlihat sebaran gradasi agregat gabungan sudah memenuhi batas-batas proporsi saringan spek 4. Berikut ini adalah grafik gradasi gabungan dengan penambahan filler 2% pada gambar 4.3 di bawah ini.



**Gambar 4.3** Grafik sebaran gradasi agregat gabungan dengan filler 2%

- Sampel Kadar Aspal Optimum Gradasi Menerus

Untuk mencari kadar aspal optimum yang selanjutnya akan digunakan sebagai kadar aspal penelitian dengan variasi tumbukan dilakukan dengan menetapkan beberapa kadar aspal awal, yaitu 5%, 5.5%, 6%, 6.5%. Sehingga dapat diketahui proporsi antara agregat dan untuk masing-masing kadar aspal. Berikut ini adalah rinciannya:

a. kadar aspal 5%

berat total sampel	= 1200 gr	
berat aspal	= 5% x 1200 gr	= 60 gr
agregat	= 95% x 1200 gr	= 1140 gr
▪ agregat kasar	= 10% x 1140 gr	= 114 gr
▪ agregat medium	= 30% x 1140 gr	= 342 gr
▪ agregat halus	= 58% x 1140 gr	= 661,2 gr
▪ filler	= 2% x 1140 gr	= 22,8 gr

b. kadar aspal 5.5%

berat total sampel	= 1200 gr	
berat aspal	= 5.5% x 1200 gr	= 66 gr
agregat	= 94.5% x 1200 gr	= 1128 gr
▪ agregat kasar	= 10% x 1134 gr	= 113,4 gr
▪ agregat medium	= 30% x 1134gr	= 340,2 gr
▪ agregat halus	= 58% x 1134 gr	= 657,72 gr
▪ filler	= 2% x 1134 gr	= 22,68 gr

c. kadar aspal 6%

berat total sampel	= 1200 gr	
berat aspal	= 6% x 1200 gr	= 72 gr
agregat	= 94% x 1200 gr	= 1128 gr
▪ agregat kasar	= 10% x 1128 gr	= 112,8 gr
▪ agregat medium	= 30% x 1128 gr	= 338,4 gr
▪ agregat halus	= 58% x 1128 gr	= 654,24 gr
▪ filler	= 2% x 1128 gr	= 22,56 gr

d. kadar aspal 6.5%

berat total sampel	= 1200 gr	
--------------------	-----------	--

berat aspal	= 6.5% x 1200 gr	= 78 gr
agregat	= 93.5% x 1200 gr	= 1122 gr
▪ agregat kasar	= 10% x 1122 gr	= 112,2 gr
▪ agregat medium	= 30% x 1122 gr	= 336,6 gr
▪ agregat halus	= 58% x 1122 gr	= 650,76 gr
▪ filler	= 2% x 1122 gr	= 22,44 gr

Berikut ini adalah perincian jumlah sampel yang dibutuhkan untuk mencari kadar aspal optimum untuk campuran gradasi menerus, yang dirincikan pada tabel berikut ini :

**Tabel 4.7** Banyak sampel mencari kadar aspal optimum gradasi menerus

Kadar aspal	5%	5,50%	6%	6,50%
Gradasi menerus	3	3	3	3
<b>total</b>	<b>12</b>			

Kemudian dibuatkan sampel berdasarkan proporsi yang telah ditetapkan dan untuk proses pencampuran dan pepadatan dilakukan dengan metode *Marshall* standar yaitu aspal dipanaskan hingga 110°C, agregat dipanaskan pada suhu 150°C, sehingga suhu campuran menjadi 120°C dan pepadatan dilakukan pada suhu campuran berkisar 110°C dengan melakukan pepadatan sebanyak 75x2. Setelah sampel selesai, dilakukan pengukuran fisik terhadap sampel untuk masing-masing persentase kadar aspal, berikut ini adalah perincian pengukuran fisik pada masing-masing sampel yang tertera pada tabel 4.8 di bawah ini:

**Tabel 4.8** Data sampel campuran gradasi menerus mencari kadar aspal optimum

Benda uji	Diameter (cm)	Tinggi (cm)				W <sub>kering udara</sub> (gram)	W <sub>dalam air</sub> (gram)	W <sub>jenuh</sub> (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

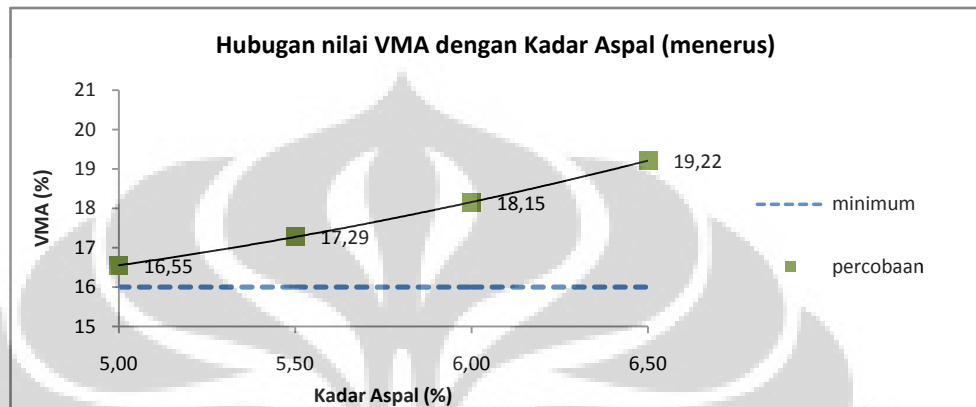
Setelah itu sampel diuji dengan menggunakan mesin uji *Marshall* sesuai dengan metode standar yaitu sampel direndam dalam *waterbath* pada suhu 60°C selama 30 menit. Kemudian setelah data diolah, maka didapatkan hasil-hasil pengujian *Marshall* pada tabel 4.9 berikut:

**Tabel 4.9** Hasil uji Marshall untuk mencari kadar aspal optimum campuran gradasi menerus

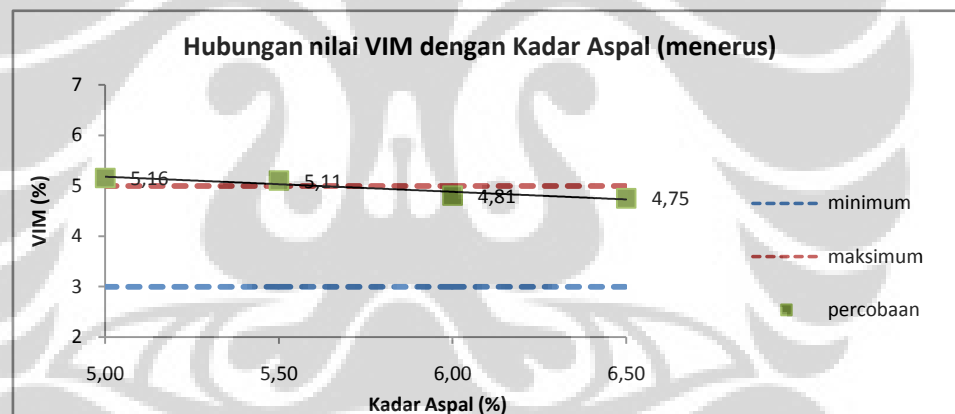
sampel	VMA (%)			VIM (%)			stabilitas (kg)		flow (mm)			MQ (kg/mm)		
	min	percobaan		min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan
5%	1	16	16,68	3	5	5,31	550	787,88	2	4	3,30	200	350	238,75
	2	16	16,97	3	5	5,63	550	839,73	2	4	3,50	200	350	239,92
	3	16	16,00	3	5	4,53	550	788,44	2	4	3,30	200	350	238,92
	Δ	16	16,55	3	5	5,16	550	805,35	2	4	3,37	200	350	239,20
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	17,48	3	5	5,32	550	1003,27	2	4	3,55	200	350	282,61
	Δ	16	17,29	3	5	5,11	550	992,04	2	4	3,28	200	350	303,28
6%	1	16	18,53	3	5	5,25	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	17,74	3	5	4,33	550	1103,34	2	4	3,50	200	350	315,24
	Δ	16	18,15	3	5	4,81	550	1111,03	2	4	3,43	200	350	323,78
6,50%	1	16	19,15	3	5	4,67	550	713,87	2	4	3,30	200	350	216,32
	2	16	19,06	3	5	4,57	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
	Δ	16	19,22	3	5	4,75	550	891,68	2	4	3,70	200	350	239,73

Δ = nilai rata-rata dari sampel 1, 2, dan 3

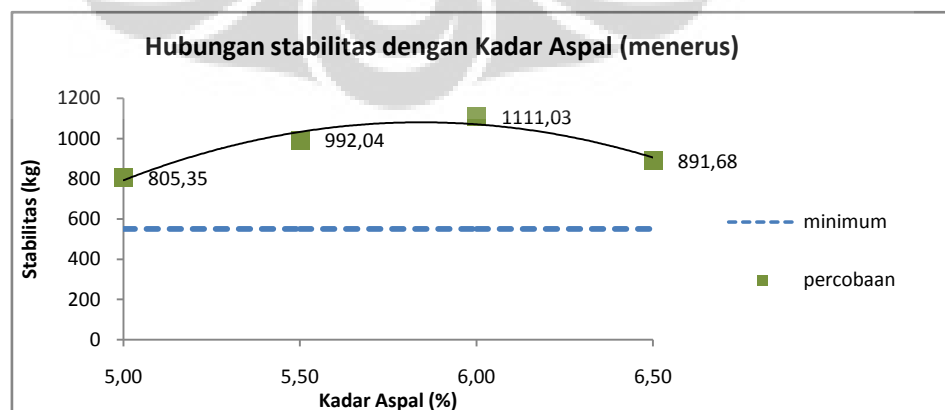
Kemudian dari data-data hasil pengujian *marshall* tersebut diplot ke dalam beberapa grafik berdasarkan nilai-nilai *Marshall test*. Berikut ini adalah grafik-grafik hasil pengujian *Marshall* untuk mencari kadar aspal optimum gradasi sampel menerus (spek IV), yaitu pada gambar 4.4 s.d. gambar 4.9.



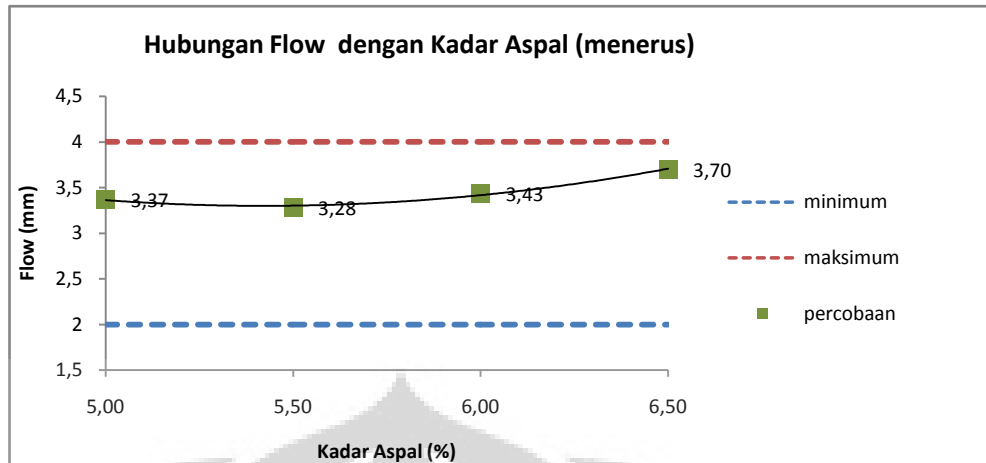
**Gambar 4.4** Grafik hubungan VMA dengan Kadar aspal (gradasi menerus)



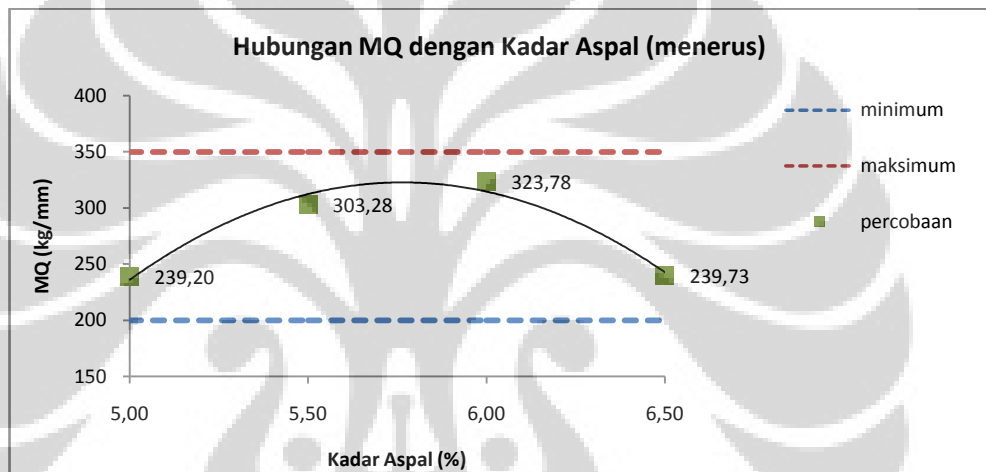
**Gambar 4.5** Grafik hubungan VIM dengan Kadar aspal (gradasi menerus)



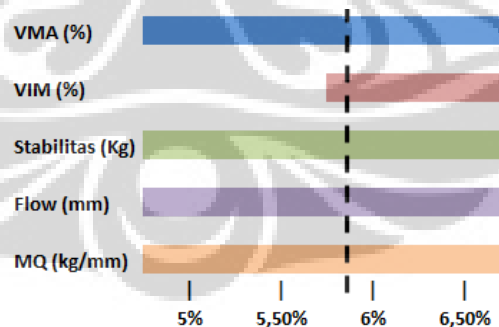
**Gambar 4.6** Grafik hubungan stabilitas dengan Kadar aspal (gradasi menerus)



**Gambar 4.7** Grafik hubungan flow dengan Kadar aspal (gradasi menerus)



**Gambar 4.8** Grafik hubungan MQ dengan Kadar aspal (gradasi menerus)



**Gambar 4.9** Rekap hasil Marshall untuk kadar aspal optimum (gradasi menerus)

Dengan menggunakan grafis dan perbandingan dengan nilai-nilai yang didapat, maka didapatkan kadar aspal optimum untuk sampel gradasi menerus sebesar 5,85%. Di mana pada kadar aspal 5,85% hasil pengujian

nilai VIM masih masuk ke dalam spesifikasi batas minimum dan maksimum, serta nilai stabilitas dan MQ berada pada nilai maksimum.

#### 4.2.2 Mencari kadar aspal optimum gradasi senjang

- Analisa sebaran butiran gagregat untuk sampel gradasi senjang/gap

Untuk sebaran gradasi agregat senjang menggunakan HRS-WC menurut SPESIFIKASI UMUM BIDANG JALAN DAN JEMBATAN DIVISI 1 UMUM, Desember 2007. Berikut ini adalah data tabel sebaran gradasi agregat untuk komposisi campuran menggunakan gradasi agregat senjang/gap yang menggunakan acuan lataston (HRS-WC), berikut tertera pada tabel 4.10 di bawah ini:

**Tabel 4.10** Spesifikasi persentase sebaran gradasi agregat senjang HRS-WC

Ukuran Saringan		% Berat Yang Lolos						
ASTM	(mm)	Latasir (SS)		Lataston (HRS)		LASTON (AC) <sup>2</sup>		
		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 <sup>1</sup>	35 - 55 <sup>1</sup>	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
<b>DAERAH YANG DIHINDARI</b>								
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

Sumber: SPESIFIKASI UMUM BIDANG JALAN DAN JEMBATAN DIVISI 1 UMUM, Desember 2007

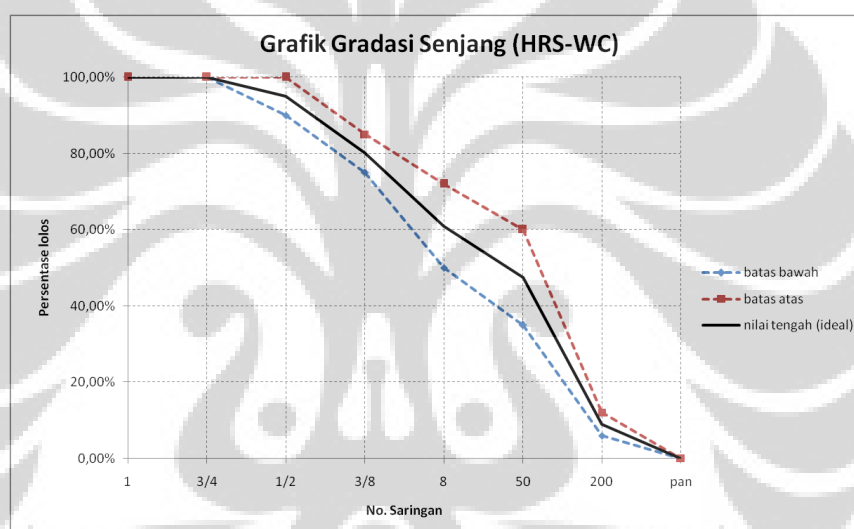
Untuk penentuan komposisi gradasi agregat yang digunakan sebagai campuran gradasi senjang memiliki cara yang berbeda dengan penentuan persentase untuk gradasi menerus (spek IV). Penentuan komposisi agregat gradasi senjang menggunakan komposisi ideal yang merupakan nilai tengah dari rentang persentase tiap partisi saringan sesuai dengan spesifikasi yang ada. Dengan demikian bobot persentase lolos tiap saringan gradasi senjang adalah sebagai berikut pada tabel 4.11 di bawah ini.



**Tabel 4.11** Sebaran gradasi agregat senjang HRS-WC

No. Saringan	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

Berikut ini adalah grafik gradasi senjang pada gambar 4.10 di bawah ini.

**Gambar 4.10** Grafik sebaran agregat gradasi senjang

- **Sampel Kadar Aspal Optimum Gradasi Senjang**

Beberapa kadar aspal awal untuk mencari kadar aspal optimum gradasi senjang (HRS-WC), yaitu 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, dan 7.5% Dengan demikian diketahui proporsi antara agregat dan untuk masing-masing kadar aspal. Berikut ini adalah rincian bobot aspal dan masing-masing agregat pada tiap partisi saringannya untuk tiap kadar aspalnya pada tabel 4.12 dan 4.13 di bawah ini.

**Tabel 4.12** Bobot aspal tiap persentase aspal pada campuran gradasi senjang

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

**Tabel 4.13** Bobot agregat tiap persentase aspal pada campuran gradasi senjang

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
pan	9	102,6	102,06	101,52	100,98	100,44	99,9
<b>Jumlah</b>	<b>100</b>	<b>1140</b>	<b>1134</b>	<b>1128</b>	<b>1122</b>	<b>1116</b>	<b>1110</b>

Dengan banyak sampel untuk mencari kadar aspal optimum campuran gradasi senjang/gap (HRS-WC) tertera pada tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Banyak sampel untuk mencari kadar aspal optimum gradasi senjang

Kadar aspal	5%	5,50%	6%	6,50%	7%	7,50%
Gradasi menerus	3	3	3	3	3	3
<b>total</b>	<b>18</b>					

Dengan metode dan cara yang sama ketika mencari kadar aspal optimum untuk gradasi menerus, maka didapat data pengukuran fisik masing-masing sampel untuk setiap persentase kadar aspal pada tabel 4.15.

**Tabel 4.15** Data sampel campuran gradasi senjang mencari kadar aspal optimum

Benda uji	Diameter (cm)	Tinggi (cm)				W <sub>kering udara</sub> (gram)	W <sub>dalam air</sub> (gram)	W <sub>jenuh</sub> (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

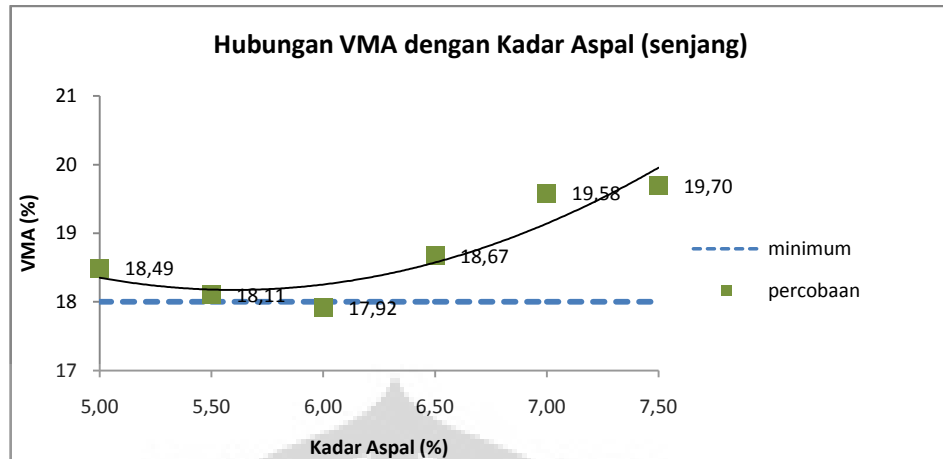
Setelah itu sampel diuji dengan menggunakan mesin uji *Marshall* sesuai dengan metode standar yaitu sampel direndam dalam *waterbath* pada suhu 60°C selama 30 menit. Kemudian dari data yang ada diolah, maka didapatkan hasil pengujian *Marshall* dengan nilai-nilai pada tabel 4.16 berikut.

**Tabel 4.16** Hasil uji Marshall untuk mencari kadar aspal optimum campuran gradasi senjang

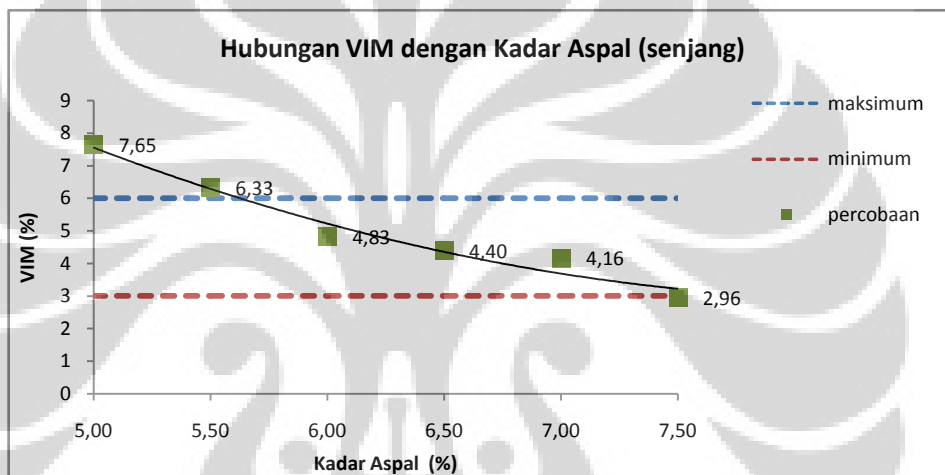
sampel	VMA (%)		VIM (%)			stabilitas (kg)		flow (mm)			MQ (kg/mm)			
	min	percobaan	min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan	
5%	1	18	17,80	3	6	6,86	800	765,81	3	-	2,90	250	-	264,07
	2	18	18,82	3	6	8,01	800	765,81	3	-	3,20	250	-	239,32
	3	18	18,87	3	6	8,07	800	726,54	3	-	2,90	250	-	250,53
	Δ	18	18,49	3	6	7,65	800	752,72	3	-	3,00	250	-	251,31
5,50%	1	18	18,13	3	6	6,36	800	851,06	3	-	3,20	250	-	265,96
	2	18	18,13	3	6	6,36	800	863,99	3	-	3,20	250	-	270,00
	3	18	18,06	3	6	6,28	800	930,23	3	-	3,10	250	-	300,07
	Δ	18	18,11	3	6	6,33	800	881,76	3	-	3,17	250	-	278,68
6%	1	18	18,07	3	6	5,00	800	969,81	3	-	3,10	250	-	312,84
	2	18	17,73	3	6	4,61	800	969,81	3	-	3,10	250	-	312,84
	3	18	17,96	3	6	4,88	800	879,71	3	-	3,20	250	-	274,91
	Δ	18	17,92	3	6	4,83	800	939,78	3	-	3,13	250	-	300,20
6,50%	1	18	18,73	3	6	4,47	800	1009,40	3	-	3,10	250	-	325,61
	2	18	18,67	3	6	4,40	800	1167,74	3	-	3,40	250	-	343,45
	3	18	18,61	3	6	4,34	800	1123,66	3	-	3,30	250	-	340,50
	Δ	18	18,67	3	6	4,40	800	1100,27	3	-	3,27	250	-	336,52
7%	1	18	19,61	3	6	4,20	800	1009,40	3	-	3,20	250	-	315,44
	2	18	19,99	3	6	4,64	800	993,29	3	-	3,10	250	-	320,42
	3	18	19,15	3	6	3,65	800	1019,67	3	-	3,20	250	-	318,65
	Δ	18	19,58	3	6	4,16	800	1007,45	3	-	3,17	250	-	318,17
7,50%	1	18	19,69	3	6	2,95	800	979,02	3	-	3,20	250	-	305,94
	2	18	19,69	3	6	2,95	800	930,62	3	-	3,40	250	-	273,71
	3	18	19,71	3	6	2,98	800	1048,10	3	-	3,00	250	-	349,37
	Δ	18	19,70	3	6	2,96	800	985,91	3	-	3,20	250	-	309,67

Δ = nilai rata-rata dari sampel 1, 2, dan 3

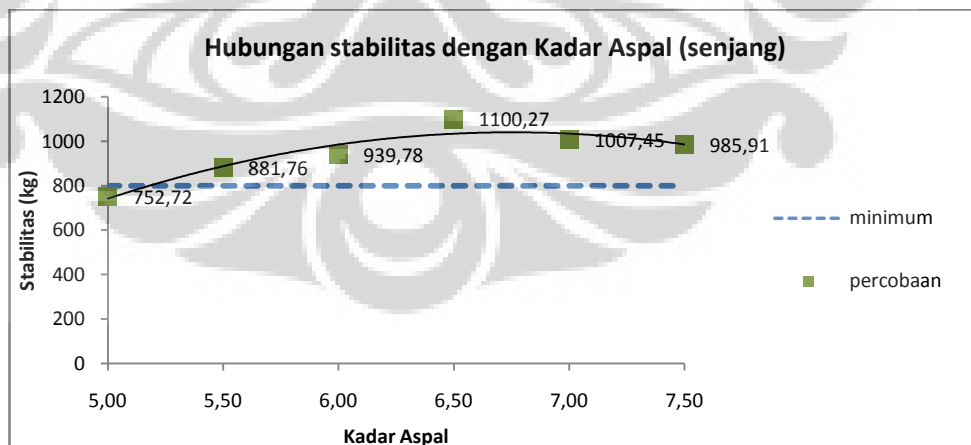
Kemudian dari data-data hasil pengujian *marshall* tersebut diplot ke dalam beberapa grafik berdasarkan nilai-nilai *Marshall test*. Berikut ini adalah grafik-grafik hasil pengujian *Marshall* untuk mencari kadar aspal optimum gradasi sampel senjang/gap (HRS-WC), yaitu pada gambar 4.11 s.d. gambar 4.15.



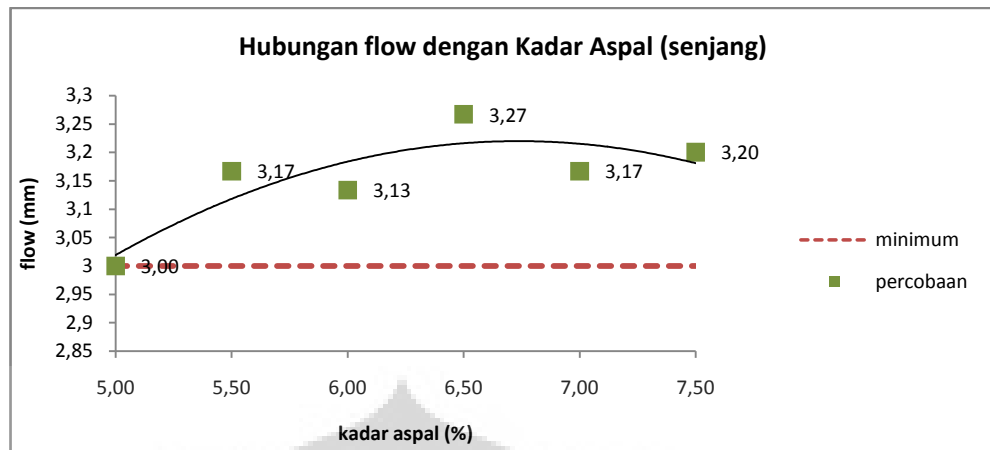
**Gambar 4.11** Grafik hubungan VMA dengan Kadar aspal (gradasi senjang)



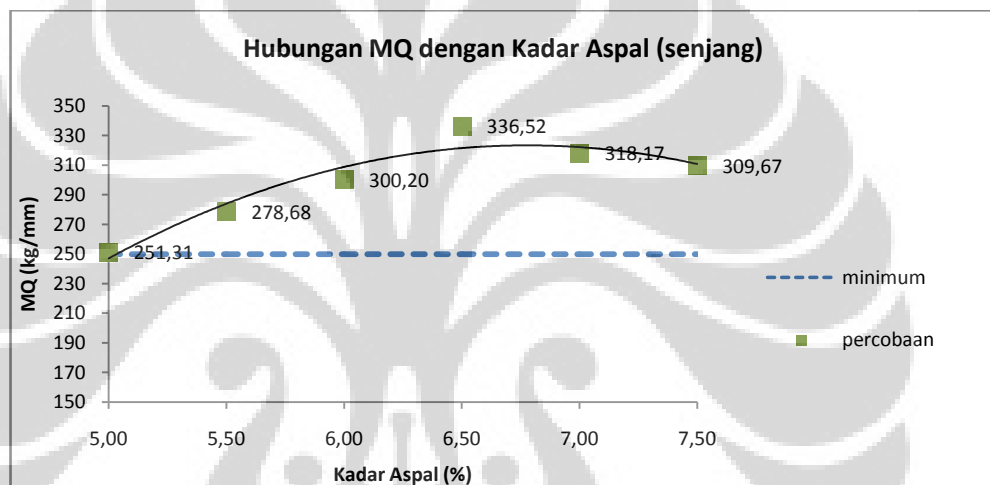
**Gambar 4.12** Grafik hubungan VIM dengan Kadar aspal (gradasi senjang)



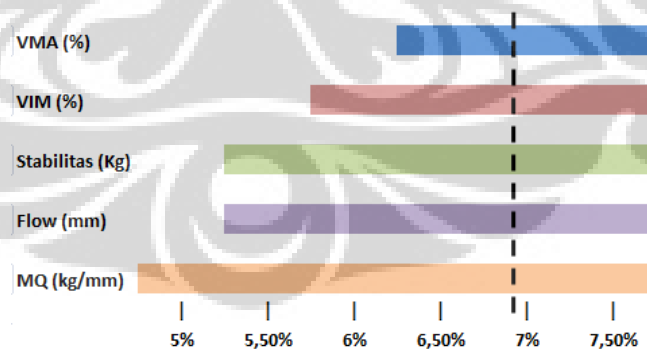
**Gambar 4.13** Grafik hubungan stabilitas dengan Kadar aspal (gradasi senjang)



**Gambar 4.14** Grafik hubungan flow dengan Kadar aspal (gradasi senjang)



**Gambar 4.15** Grafik hubungan MQ dengan Kadar aspal (gradasi senjang)



**Gambar 4.16** Rekap hasil Marshall untuk kadar aspal optimum (gradasi senjang)

Dengan menggunakan skala grafis dan perbandingan dengan nilai-nilai yang didapat, maka didapatkan kadar aspal optimum untuk sampel gradasi menerus sebesar 6,9%. Di mana pada kadar aspal 6,9% angka hasil pengujian stabilitas dan MQ menunjukkan nilai tertinggi.

### 4.3. Pengujian dengan variasi jumlah tumbukan pada proses pemadatan

Pengujian dengan menggunakan variasi jumlah tumbukan dilakukan pada campuran sampel dengan menggunakan kadar aspal optimum untuk masing-masing gradasi campuran. Yaitu 5,85% untuk campuran gradasi menerus (spek IV) dan 6,9% untuk campuran gradasi senjang (HRS-WC). Dengan demikian proporsi aspal dan agregatnya dapat dirinci sebagai berikut:

- Campuran gradasi agregat menerus
 

Aspal	= 5,85%	= 70,20 gr
Agregat	= 94,15%	= 1129,80 gr
Agregat kasar	= 10%	= 112,98 gr
Agregat medium	= 30%	= 338,94 gr
Agregat halus	= 58%	= 655,28 gr
Filler	= 2%	= 22,60 gr
- Campuran gradasi agregat senjang
 

Aspal	= 6,9%	= 82,8 gr
Agregat	= 93,1%	= 1117,2 gr

**Tabel 4.17** Bobot agregat kadar aspal optimum gradasi senjang

Saringan No.	Tertahan (%)	Bobot agregat (gr)
3/4	0	0
1/2	5	55,86
3/8	15	167,58
4	-	0
8	19	212,27
16	-	0
30	13,5	150,82
200	38,5	430,12
pan	9	100,55

Berikut ini adalah rincian mengenai variasi jumlah tumbukkan yang dilakukan pada penelitian pada tabel 4.18 berikut ini.

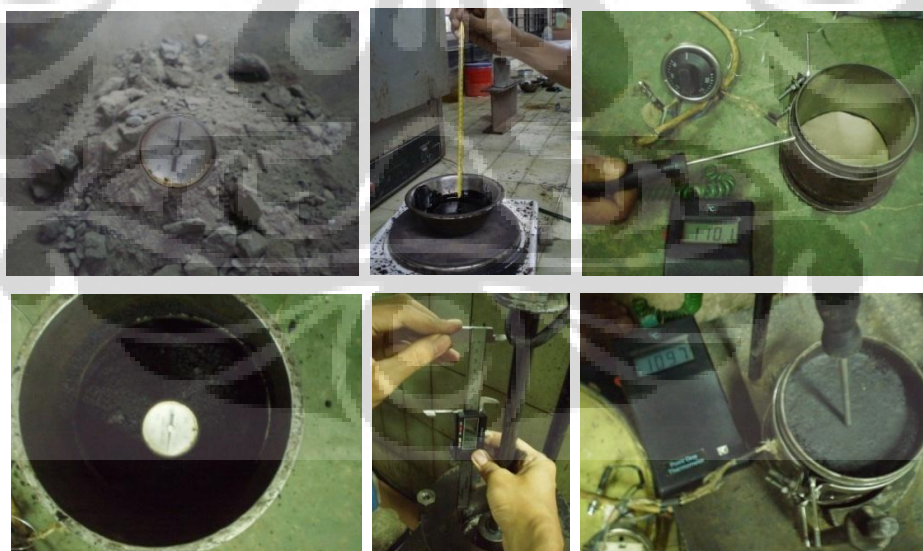
**Tabel 4.18** Jumlah sampel untuk variasi jumlah tumbukan

tumbukan	menerus		senjang
	110°C	120°C	110°C
50 x 2	3	3	3
60 x 2	3	3	-
75 x 2	3	3	-
90 x 2	3	3	3
<b>total</b>			<b>30</b>

#### 4.4. Deformasi sampel dengan uji variasi tumbukan

##### 4.4.1 Deformasi campuran gradasi menerus (Spek IV)

Pembuatan sampel dengan uji variasi tumbukan dilakukan dengan cara memanaskan agregat sampai 150°C dan memanaskan aspal hingga 110°C, lalu dilakukan pencampuran sehingga suhu campuran berkisar 120°C. Sedangkan pada saat pemadatan suhu campuran dalam mold atau cetakan dijaga sesuai dengan suhu yang sudah ditentukan yaitu untuk campuran gradasi menerus pada 110°C dan 120°C, sedangkan untuk gradasi senjang pada suhu 110°C.

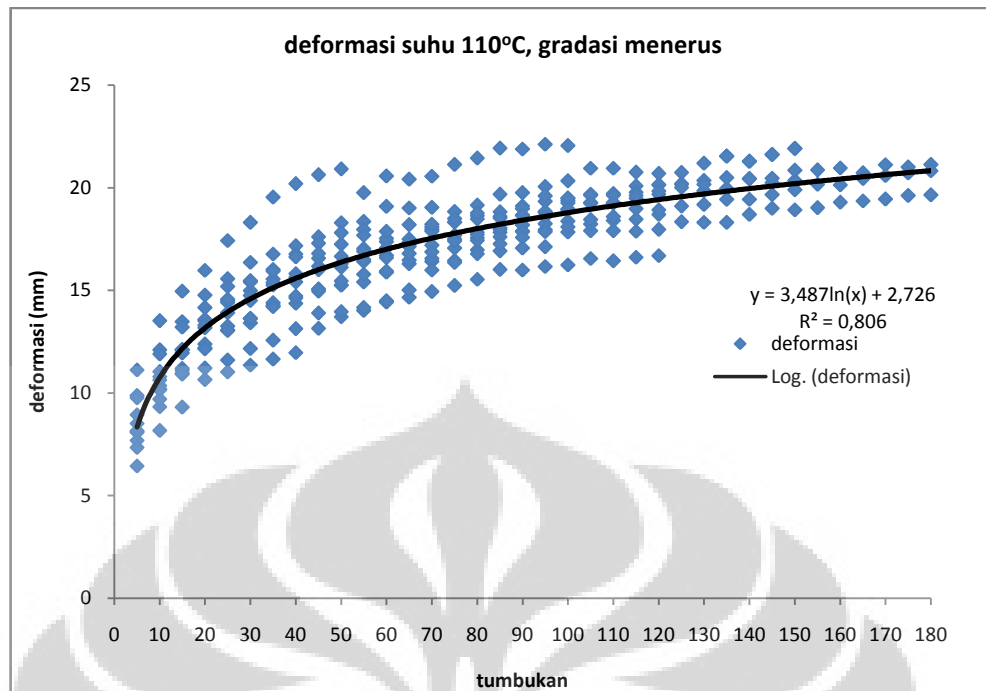
**Gambar 4.17** Rangkaian kegiatan pengukuran deformasi sampel

Berikut ini adalah data deformasi yang terjadi yang diukur dengan jangka sorong digital untuk tiap 5 tumbukan pada sampel selama proses pemadatan:



- Deformasi gradasi menerus suhu  $110^{\circ}\text{C}$  dengan tumbukan  $50 \times 2$ . Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar  $110^{\circ}\text{C}$ .
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara  $28^{\circ}\text{C}$ , dengan suhu akhir  $103^{\circ}\text{C}$ .
  - b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara  $29,5^{\circ}\text{C}$  dengan suhu akhir  $108^{\circ}\text{C}$ .
  - c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara  $29,8^{\circ}\text{C}$  dengan suhu akhir  $102^{\circ}\text{C}$ .
- Deformasi gradasi menerus suhu  $110^{\circ}\text{C}$  dengan tumbukan  $60 \times 2$ . Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar  $110^{\circ}\text{C}$ .
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara  $28,5^{\circ}\text{C}$ , dengan suhu akhir  $109^{\circ}\text{C}$ .
  - b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara  $29,8^{\circ}\text{C}$  dengan suhu akhir  $107^{\circ}\text{C}$ .
  - c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara  $29,8^{\circ}\text{C}$  dengan suhu akhir  $105^{\circ}\text{C}$ .
- Deformasi gradasi menerus suhu  $110^{\circ}\text{C}$  dengan tumbukan  $75 \times 2$ . Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar  $110^{\circ}\text{C}$ .
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara  $29,8^{\circ}\text{C}$ , dengan suhu akhir  $108^{\circ}\text{C}$ .
  - b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara  $28,8^{\circ}\text{C}$  dengan suhu akhir  $108^{\circ}\text{C}$ .
  - c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara  $28,8^{\circ}\text{C}$  dengan suhu akhir  $108^{\circ}\text{C}$ .
- Deformasi gradasi menerus suhu  $110^{\circ}\text{C}$  dengan tumbukan  $90 \times 2$ . Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar  $110^{\circ}\text{C}$ .
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara  $27,4^{\circ}\text{C}$ , dengan suhu akhir  $104^{\circ}\text{C}$ .
  - b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara  $28,2^{\circ}\text{C}$  dengan suhu akhir  $110^{\circ}\text{C}$ .
  - c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara  $28,5^{\circ}\text{C}$  dengan suhu akhir  $109^{\circ}\text{C}$ .

Maka jika grafik deformasi tiap sampel direkap ke dalam satu grafik maka dapat terlihat seperti gambar 4.18.

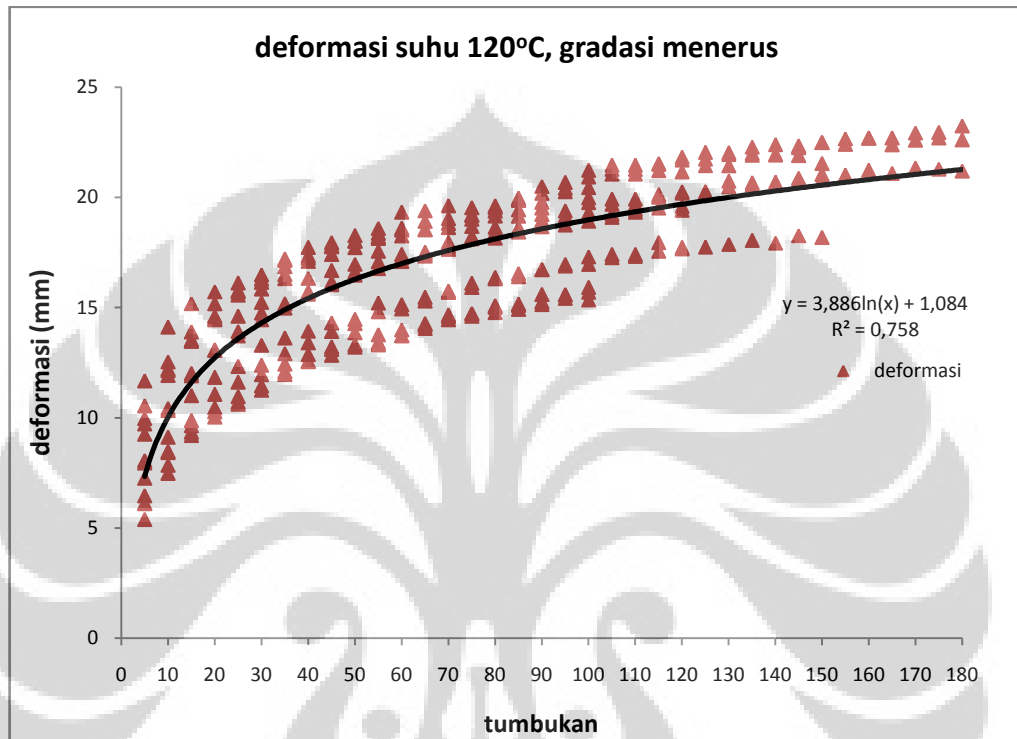


**Gambar 4.18** Rekap deformasi 110°C; menerus sampel 1, sampel 2, dan sampel 3

- Deformasi gradasi menerus suhu 120°C dengan tumbukan 50 x 2. Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar 120°C.
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara 28,5°C, dengan suhu akhir 115°C.
  - b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara 29,5°C dengan suhu akhir 117°C.
  - c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara 29,1°C dengan suhu akhir 113°C.
- Deformasi gradasi menerus suhu 120°C dengan tumbukan 60 x 2. Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar 120°C.
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara 29,7°C, dengan suhu akhir 115°C.
  - b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara 29°C dengan suhu akhir 120°C.
  - c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara 28°C dengan suhu akhir 115°C.
- Deformasi gradasi menerus suhu 120°C dengan tumbukan 75 x 2. Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar 120°C.
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara 28,8°C, dengan suhu akhir 115°C.
  - b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara 29,5°C dengan suhu akhir 120°C.
  - c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara 28,8°C dengan suhu akhir 115°C.
- Deformasi gradasi menerus suhu 120°C dengan tumbukan 90 x 2. Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar 120°C.
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara 28,6°C, dengan suhu akhir 120°C.

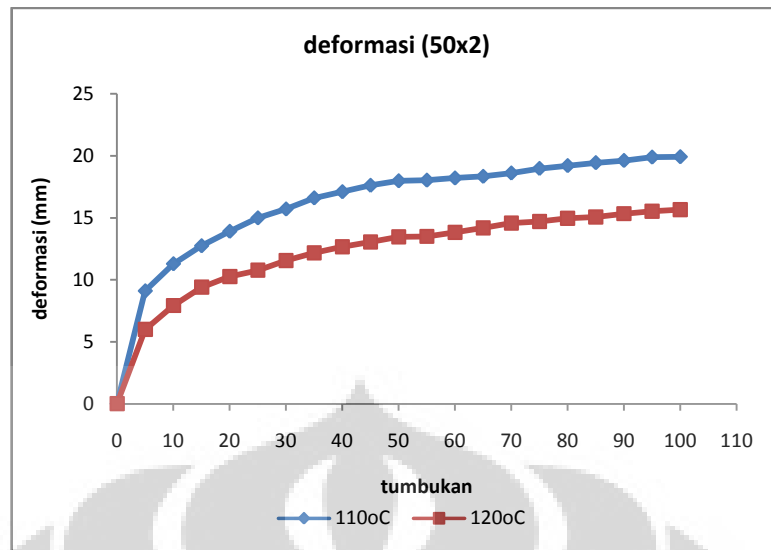
- b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara 28,5°C dengan suhu akhir 119°C.
- c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara 27,9°C dengan suhu akhir 119°C.

Berikut ini grafik deformasi tiap sampel direkap ke dalam satu grafik maka dapat terlihat seperti di bawah ini:

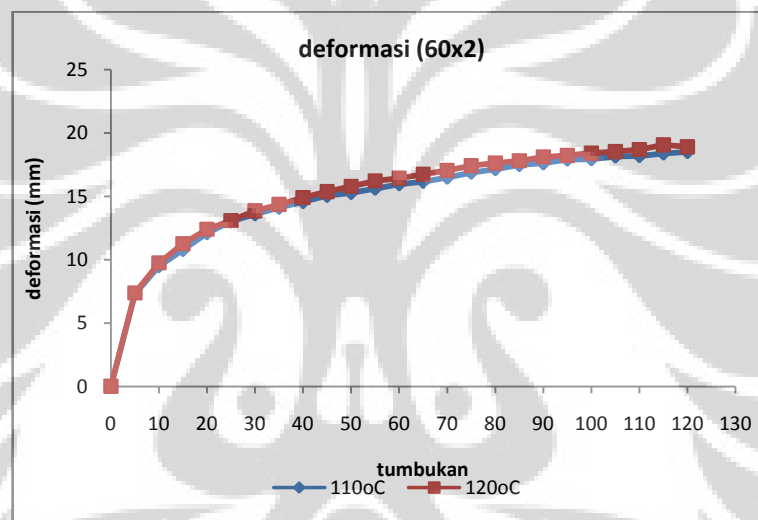


**Gambar 4.19** Rekap deformasi 120°C; menerus sampel 1, sampel 2, dan sampel 3

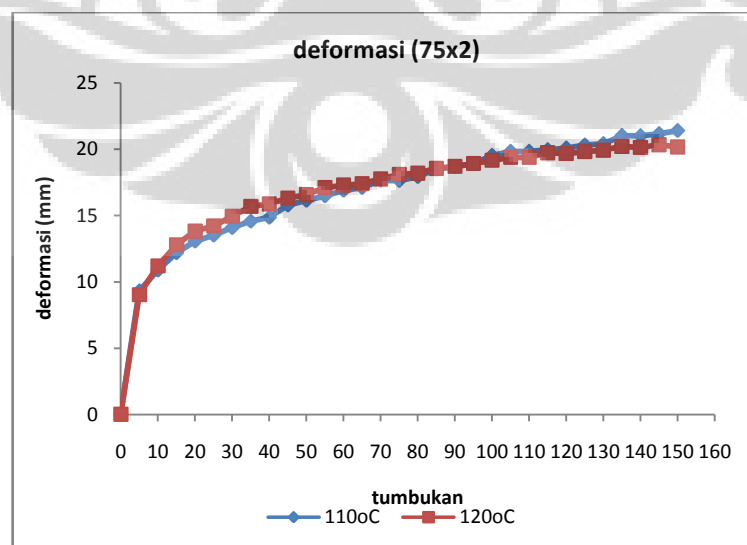
Berdasarkan kedua persamaan grafik deformasi yang didapat berdasarkan bantuan persamaan garis *trendline* perangkat lunak *microsoft excel* maka dapat dibandingkan grafik deformasi untuk semua variasi jumlah pemadatan pada temperatur 110°C dengan grafik deformasi untuk semua variasi jumlah pemadatan pada temperatur 120°C, berikut adalah perbandingannya pada gambar 4.21



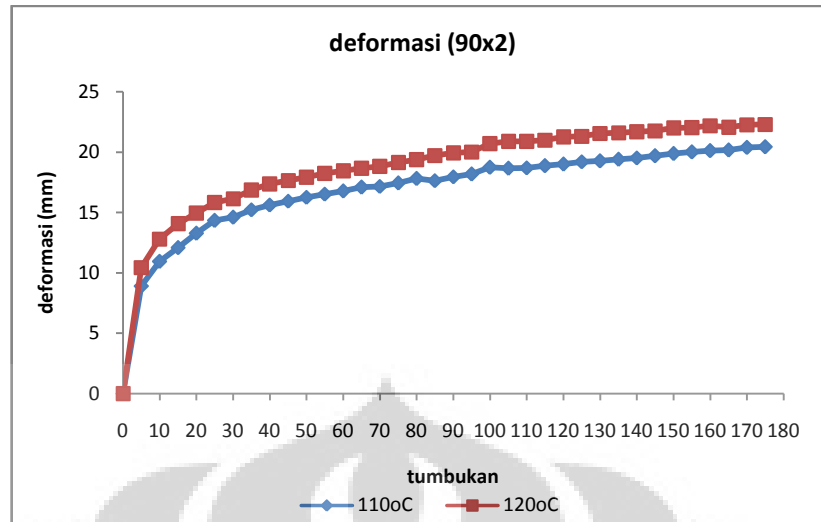
(a)



(b)



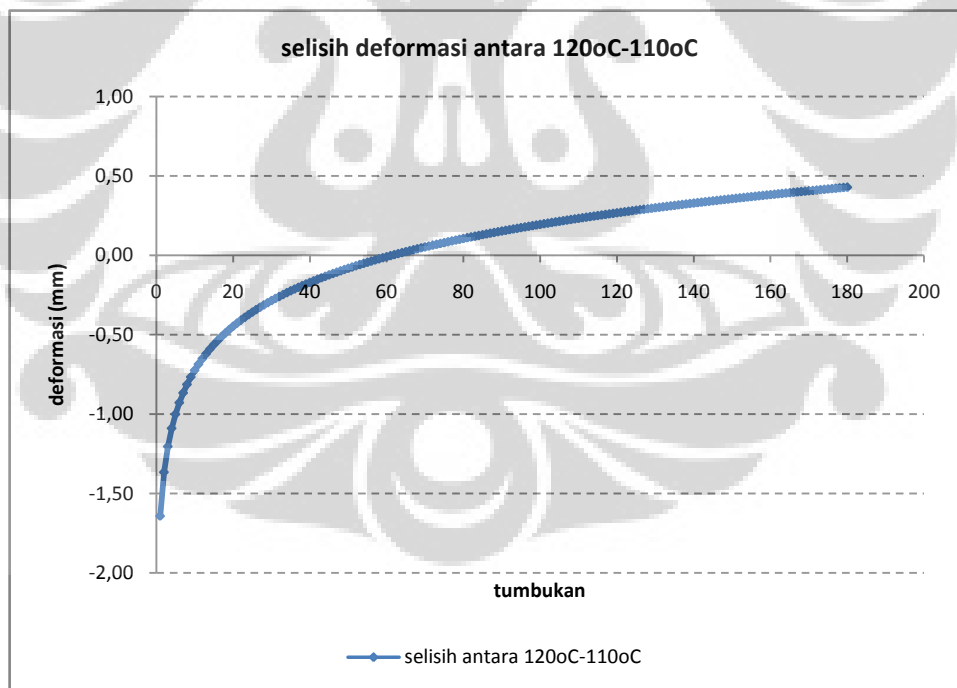
(c)



(d)

**Gambar 4.20 a,b,c,d** Perbandingan deformasi pemadatan 110°C dengan 120°C pada variasi tumbukan 50x2, 60x2, 75x2, dan 90x2

Berikut ini adalah grafik selisih deformasi antar yang dipadatkan pada suhu 120°C dengan sampel yang dipadatkan pada suhu 110°C pada gambar 4.22

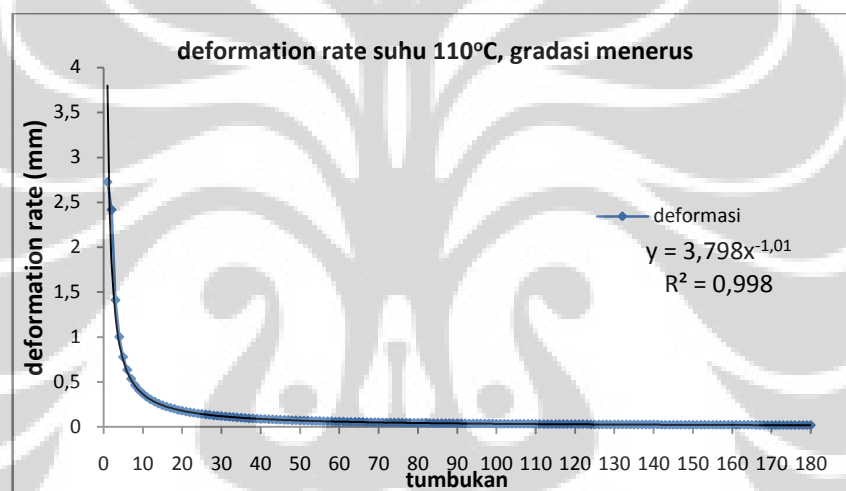


**Gambar 4.21** Selisih deformasi antara pemadatan 120°C dengan 110°C

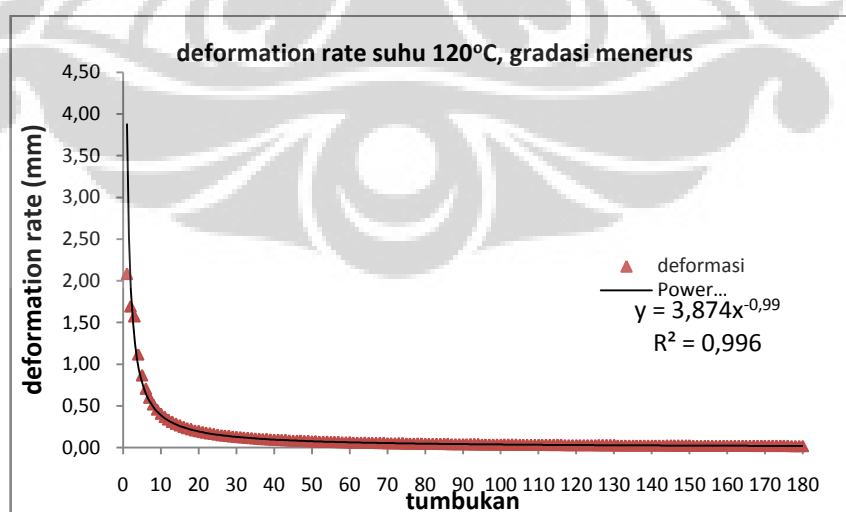
Sesuai pada gambar 4.22, selisih deformasi menunjukkan kenaikan, dimulai pada tumbukan ke-1 hingga tumbukan ke-60 selisih deformasi antara pemadatan

120°C dengan 110°C bergerak dari -1,6 hingga 0 menunjukkan bahwa deformasi pemadatan 110°C lebih tinggi dibandingkan deformasi pemadatan 120°C seperti yang telah diulas sebelumnya. Untuk tumbukan ke-61 hingga tumbukan ke-180, selisih deformasi bergerak naik menuju angka positif hingga pada tumbukan 180 selisih deformasinya mencapai 0,43mm. Ini berarti pada rentang setelah tumbukan ke-60 tingkat deformasi 120°C lebih tinggi dibandingkan tingkat deformasi pada sampel 110°C.

Berdasarkan persamaan perubahan deformasi untuk masing-masing suhu pemadatan maka dapat dicari tingkat perubahan deformasi (*deformation rate*) untuk masing-masing suhu pemadatan, yaitu sebagai berikut.

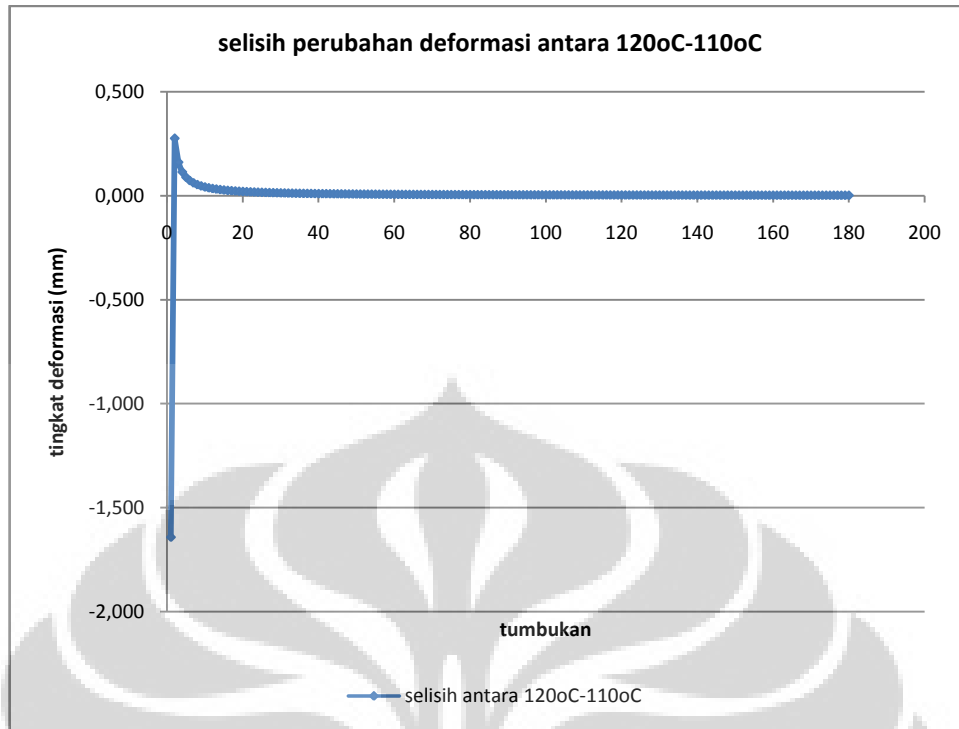


(a)



(b)

**Gambar 4.22 a,b** Tingkat perubahan deformasi pemadatan 110°C dengan 120°C

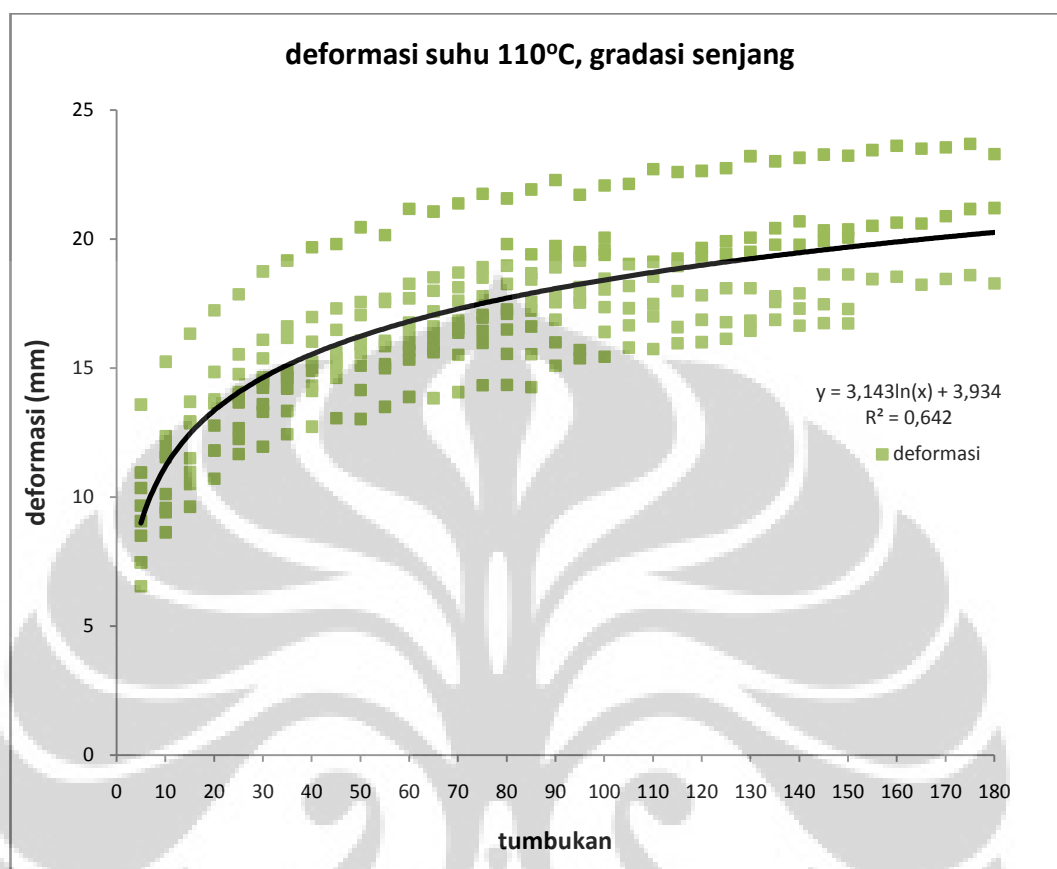


**Gambar 4.23** Selisih tingkat perubahan deformasi pemadatan 120°C dengan 110°C

#### 4.4.2 Deformasi campuran gradasi senjang/gap (HRS-WC)

- Deformasi gradasi senjang suhu 110°C dengan tumbukan 50 x 2. Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar 110°C.
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara 29,5°C, dengan suhu akhir 105°C.
  - b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara 30,4°C dengan suhu akhir 109°C.
  - c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara 30,1°C dengan suhu akhir 108°C.
- Deformasi gradasi senjang suhu 110°C dengan tumbukan 75 x 2. Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar 110°C.
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara 28,7°C, dengan suhu akhir 105°C.
  - b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara 27,9°C dengan suhu akhir 109°C.
  - c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara 28,7°C dengan suhu akhir 108°C.
- Deformasi gradasi senjang suhu 110°C dengan tumbukan 90 x 2. Ketiga sampel dipadatkan pada suhu campuran terjaga sekitar 110°C.
  - a. Sampel 1 dibuat pada suhu udara 29,9°C, dengan suhu akhir 110°C.
  - b. Sampel 2 dibuat pada suhu udara 29,9°C dengan suhu akhir 110°C.
  - c. Sampel 3 dibuat pada suhu udara 29,7°C dengan suhu akhir 106°C.

Maka jika grafik deformasi tiap sampel direkap ke dalam satu grafik maka dapat terlihat seperti di bawah ini:



**Gambar 4.24** Rekap deformasi 110°C;senjang sampel 1, sampel 2, dan sampel 3

#### 4.4.3 Pengaruh jumlah tumbukan terhadap deformasi campuran

Secara umum tingkat deformasi yang terjadi pada sampel 1, 2, dan 3 untuk campuran gradasi menerus yang dipadatkan pada suhu 110°C maupun 120°C memiliki pola kecenderungan yang sama yaitu pola tingkat perubahan deformasi semakin kecil seiring dengan semakin bertambahnya jumlah tumbukan. Akan tetapi besarnya berbeda-beda untuk tiap sampel. Hal ini dapat diakibatkan karena perbedaan *timing* pada saat melakukan tumbukan yang dapat mempengaruhi reaksi *rebound* pada sampel. Serta adanya perbedaan temperatur ruangan atau terjadinya fluktuasi suhu pada saat pemadatan. Untuk pemadatan pada suhu 110°C didapatkan persamaan kurva deformasi perkiraan yang berdasarkan hasil *trendline* dari software *microsoft excel* dengan tipe *trendline* logaritma, yaitu sebagai berikut :



**Tabel 4.19** Persamaan hubungan deformasi terhadap jumlah tumbukan

Deformasi	Metode rata - rata	
	Persamaan	R <sup>2</sup>
110oC menerus	$y=3,487\ln(x)+2,726$	0,806
120oC menerus	$y=3,886\ln(x)+1,804$	0,758
110oC senjang	$y = 3,143\ln(x) + 3,934$	0,642

Nilai Y adalah besarnya tingkat deformasi yang dialami sampel pada tumbukan ke-X, sedangkan nilai R<sup>2</sup> merupakan indeks ketepatan/kebenaran persamaan kurva deformasi perkiraan yang terbentuk dari sebaran titik deformasi, terhadap keadaan deformasi yang terjadi untuk setiap sampelnya. Ketiga kurva menggambarkan keadaan sampel jika diberi tumbukan, semakin lama tingkat perubahan deformasi semakin kecil dan menuju nilai “0” yang berarti sampel tidak mengalami deformasi lagi. Ini disebabkan karena pemadatan campuran beraspal di laboratorium dilakukan dalam keadaan terkekang *unconfined* yang terselubung  *mold*. Jika dilihat ketiga kurva perkiraan tingkat deformasi maka tingkat perubahan paling signifikan berada pada 30 tumbukan pertama. Jika pada ketiga persamaan deformasi tersebut dimasukan nilai X (tumbukan) sampai tumbukan ke-30 maka perubahan deformasi dan tingkat deformasinya dapat terlihat pada tabel 4.23 berikut ini:

**Tabel 4.20** Perubahan deformasi

tumbukan	110°C		120°C		110°C	
	deform.total	tingkat def.	deform.total	tingkat def.	deform.total	tingkat def.
1	2,726	2,726	1,084	1,084	3,394	3,394
2	5,143004219	2,417004219	3,777569944	2,6935699	5,572561588	2,1785616
3	6,556861051	1,413856832	5,353207354	1,5756374	6,846938423	1,2743768
4	7,560008437	1,003147387	6,471139887	1,1179325	7,751123177	0,9041848
5	8,338110001	0,778101563	7,338275728	0,8671358	8,452463359	0,7013402
6	8,973865269	0,635755269	8,046777297	0,7085016	9,025500012	0,5730367
7	9,51138869	0,537523421	8,645806839	0,5990295	9,509995598	0,4844956
8	9,977012656	0,465623966	9,164709831	0,518903	9,929684765	0,4196892
9	10,3877221	0,410709445	9,622414708	0,4577049	10,29987685	0,3701921
10	10,75511422	0,367392118	10,03184567	0,409431	10,63102495	0,3311481
11	11,08746082	0,332346597	10,40222103	0,3703754	10,93058484	0,2995599
12	11,39086949	0,303408672	10,74034724	0,3381262	11,2040616	0,2734768
13	11,66997841	0,279108922	11,0513932	0,311046	11,45563583	0,2515742
14	11,92839291	0,258414499	11,33937678	0,2879836	11,68855719	0,2329214
15	12,16897105	0,240578143	11,60748308	0,2681063	11,90540178	0,2168446
16	12,39401687	0,225045823	11,85827977	0,2507967	12,10824635	0,2028446
17	12,60541493	0,211398056	12,09386706	0,2355873	12,29878954	0,1905432

18	12,80472632	0,199311389	12,31598465	0,2221176	12,47843844	0,1796489
19	12,99325872	0,188532401	12,52608987	0,2101052	12,64837171	0,1699333
20	13,17211844	0,178859718	12,72541562	0,1993257	12,80958654	0,1612148
21	13,34224974	0,170131302	12,91501419	0,1895986	12,96293402	0,1533475
22	13,50446503	0,162215295	13,09579097	0,1807768	13,10914643	0,1462124
23	13,65946833	0,155003296	13,26853052	0,1727395	13,24885832	0,1397119
24	13,80787371	0,148405375	13,43391718	0,1653867	13,38262319	0,1337649
25	13,95022	0,142346295	13,59255146	0,1586343	13,51092672	0,1283035
26	14,08698263	0,136762627	13,74496315	0,1524117	13,63419742	0,1232707
27	14,21858315	0,131600524	13,89162206	0,1466589	13,75281527	0,1186179
28	14,34539713	0,126813975	14,03294673	0,1413247	13,86711878	0,1143035
29	14,46776056	0,122363432	14,1693116	0,1363649	13,97741079	0,110292
30	14,58597527	0,118214711	14,30105303	0,1317414	14,08396337	0,1065526

Ket : data deformasi dan tingkat perubahan deformasi dalam mm

Pada saat tumbukan pertama, sampel dengan gradasi senjang mengalami deformasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel gradasi menerus baik yang dipadatkan pada suhu 110°C maupun yang dipadatkan pada suhu 120°C. Hal ini disebabkan karena pada campuran gradasi senjang lebih banyak komposisi agregat ukuran halusnnya. Sehingga kesempatan dari setiap butiran agregat untuk masuk ke dalam rongga hingga menjadi kesatuan yang padat lebih besar dibandingkan dengan campuran dengan susunan gradasi agregat menerus.

#### 4.5. Pengujian sampel variasi dengan *Marshall test*

Pengujian ini menggunakan acuan PC-0201 - 1976, AASHTO T-245-82, ASTM D-1559-76. Pengujian dengan menggunakan mesin uji *marsall* dan dilakukan dengan metode dan prosedur standar. Setelah dilakukan proses pemadatan pada tiap campuran, kemudian sampel beserta *molnya* didiamkan selama 24 jam kemudian baru sampel dilepaskan dari *molnya* dengan menggunakan alat *extruder*. Hal ini bertujuan agar suhu pada campuran sudah menurun sehingga pada saat sampel dikeluarkan dari *mold* sampel tidak berdeformasi akibat alat *extruder*. Seperti kita ketahui bahwa campuran aspal juga memiliki sifat viskoelastis pada suhu tinggi, sehingga campuran menjadi lembek. Dan jika proses pengeluaran sampel dilakukan tanpa menunggu suhu campurannya menurun dikhawatirkan sampel akan berdeformasi akibat kompresi piston alat *extruder*. Setelah sampel terlepas dari *mold*, lalu dilakukan pengukuran

fisik pada sampel, pengukuran meliputi pengukuran tinggi sampel yang dilakukan sebanyak tiga kali pada sisi yang berbeda dan mengukur berat sampel dalam keadaan kering udara

Sebelum ditest dengan menggunakan alat *marshall*, sampel direndam terlebih dahulu selama 24 jam di bak perendam kemudian dilakukan pengukuran berat sampel di dalam air dan berat sampel pada keadaan kering permukaan (SSD) setelah itu sampel dimasukkan dalam *waterbath* pada suhu 60°C selama kurang lebih 30 menit sebelum akhirnya diletakan pada mesin *marshall*. Hasil pengujian dari *marshall test* kemudian disaring dengan menggunakan metode statistik yaitu metode *chi square*. Metode *chi square* yang digunakan adalah *chi square two tailed* yang memiliki batas atas dan batas bawah pada rentang sebaran sampel dengan tingkat kepercayaan 95%. Hasil pengujiannya adalah sebagai berikut:

#### 4.5.1. Hasil *Marshall Test* sampel gradasi menerus.

Nilai-nilai hasil uji *marshall* untuk campuran gradasi menerus yang dipadatkan pada suhu 110°C dan 120°C dapat dilihat pada tabel 4.24, sedangkan data sampel yang sudah terseleksi dengan menggunakan metode *chi square* dengan tingkat kepercayaan 95% dapat dilihat pada tabel 4.25.

**Tabel 4.21** Nilai Marshall sampel campuran gradasi menerus

Tumbukan (kumulatif)	VMA (%)			VIM (%)			stabilitas (kg)		flow (mm)			MQ (kg/mm)		
	min	percobaan	max	min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan
<b>Pemadatan Pada Temperatur 110°C</b>														
100	1	16	20,30	3	5	7,46	550	1170,47	2	4	3,90	200	350	300,12
	2	16	16,74	3	5	3,32	550	837,72	2	4	3,80	200	350	220,45
	3	16	18,01	3	5	4,80	550	898,93	2	4	3,80	200	350	236,56
120	1	16	19,73	3	5	6,80	550	1299,65	2	4	3,20	200	350	406,14
	2	16	19,92	3	5	7,02	550	1155,77	2	4	3,70	200	350	312,37
	3	16	19,91	3	5	7,01	550	1048,10	2	4	3,20	200	350	327,53
150	1	16	17,52	3	5	4,22	550	1446,38	2	4	3,70	200	350	390,91
	2	16	18,56	3	5	5,43	550	1458,17	2	4	3,05	200	350	478,09
	3	16	18,11	3	5	4,92	550	1519,62	2	4	3,60	200	350	422,12
180	1	16	18,96	3	5	5,90	550	1480,27	2	4	3,20	200	350	462,58
	2	16	16,20	3	5	2,69	550	2225,92	2	4	3,20	200	350	695,60
	3	16	18,36	3	5	5,20	550	1680,03	2	4	3,40	200	350	494,13

Pemadatan Pada Temperatur 120°C														
100	1	16	19,58	3	5	6,62	550	1519,62	2	4	3,90	200	350	389,65
	2	16	20,09	3	5	7,22	550	1348,40	2	4	3,20	200	350	421,37
	3	16	21,00	3	5	8,27	550	1467,34	2	4	3,40	200	350	431,57
120	1	16	19,20	3	5	6,18	550	1131,32	2	4	2,85	200	350	396,95
	2	16	18,85	3	5	5,78	550	1446,38	2	4	3,40	200	350	425,41
	3	16	19,44	3	5	6,46	550	1502,36	2	4	3,90	200	350	385,22
150	1	16	17,47	3	5	4,17	550	2010,51	2	4	3,60	200	350	558,48
	2	16	18,40	3	5	5,25	550	1568,64	2	4	3,30	200	350	475,35
	3	16	19,02	3	5	5,97	550	1679,11	2	4	3,25	200	350	516,65
180	1	16	16,83	3	5	3,43	550	2408,20	2	4	2,75	200	350	875,71
	2	16	21,49	3	5	8,84	550	1962,64	2	4	2,70	200	350	726,90
	3	16	19,27	3	5	6,26	550	1866,90	2	4	2,90	200	350	643,76

**Tabel 4.22** Nilai Marshall sampel campuran gradasi menerus terseleksi *chi square*

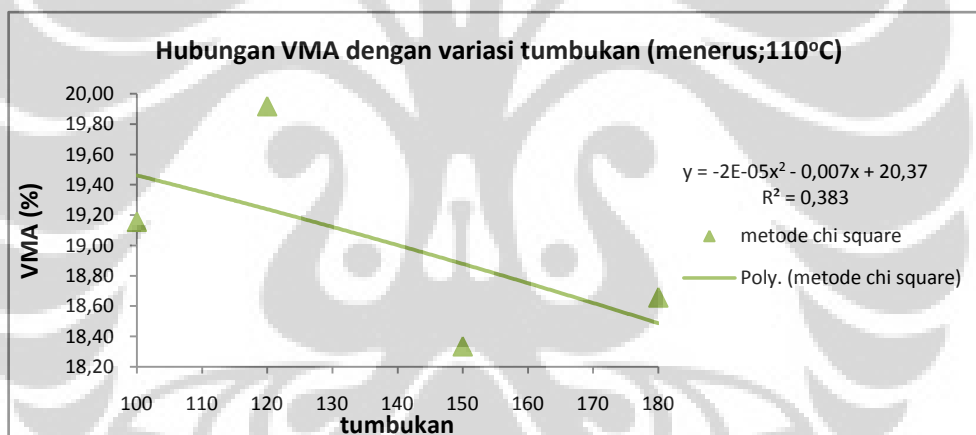
Tumbukan (kumulatif)	VMA (%)		VIM (%)			stabilitas (kg)		flow (mm)			MQ (kg/mm)			
	min	percobaan	min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan	
<b>Pemadatan Pada Temperatur 110°C</b>														
100	1	16	20,30	3	5	7,46	550	1170,47	2	4	3,90	200	350	300,12
	2	16	-	3	5	-	550	-	2	4	3,80	200	350	-
	3	16	18,01	3	5	4,80	550	898,93	2	4	3,80	200	350	236,56
120	1	16	-	3	5	-	550	1299,65	2	4	3,20	200	350	406,14
	2	16	19,92	3	5	7,02	550	1155,77	2	4	3,70	200	350	-
	3	16	19,91	3	5	7,01	550	-	2	4	3,20	200	350	327,53
150	1	16	-	3	5	-	550	-	2	4	3,70	200	350	-
	2	16	18,56	3	5	5,43	550	1458,17	2	4	-	200	350	478,09
	3	16	18,11	3	5	4,92	550	1519,62	2	4	3,60	200	350	422,12
180	1	16	18,96	3	5	5,90	550	-	2	4	3,20	200	350	-
	2	16	-	3	5	-	550	2225,92	2	4	3,20	200	350	695,60
	3	16	18,36	3	5	5,20	550	1680,03	2	4	3,40	200	350	494,13
<b>Pemadatan Pada Temperatur 120°C</b>														
100	1	16	-	3	5	-	550	1519,62	2	4	3,90	200	350	-
	2	16	20,09	3	5	7,22	550	-	2	4	-	200	350	421,37
	3	16	21,00	3	5	8,27	550	1467,34	2	4	3,40	200	350	431,57
120	1	16	19,20	3	5	6,18	550	-	2	4	-	200	350	396,95
	2	16	-	3	5	-	550	1446,38	2	4	3,40	200	350	425,41
	3	16	19,44	3	5	6,46	550	1502,36	2	4	3,90	200	350	-
150	1	16	-	3	5	-	550	2010,51	2	4	3,60	200	350	558,48
	2	16	18,40	3	5	5,25	550	-	2	4	3,30	200	350	-
	3	16	19,02	3	5	5,97	550	1679,11	2	4	-	200	350	516,65

	1	16	-	3	5	-	550	2408,20	2	4	2,75	200	350	875,71
180	2	16	21,49	3	5	8,84	550	1962,64	2	4	-	200	350	726,90
	3	16	19,27	3	5	6,26	550	-	2	4	2,90	200	350	-

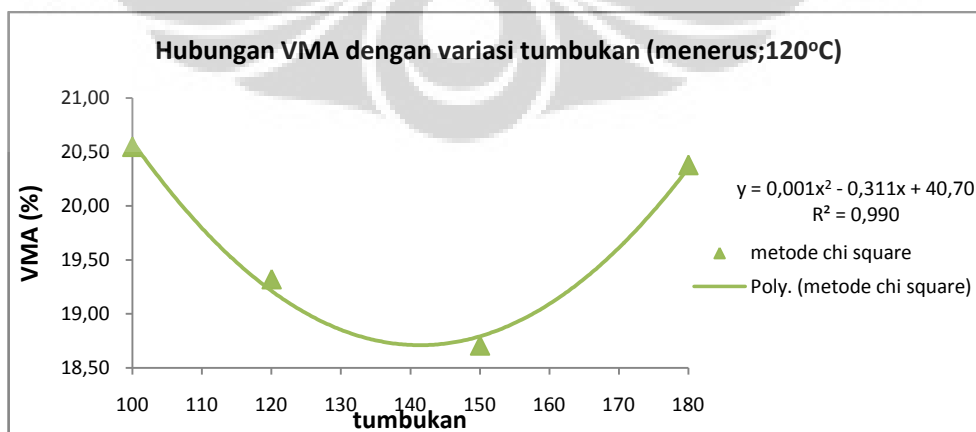
- Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai VMA (%)

**Tabel 4.23** VMA sampel gradasi menerus suhu 110°C dan 120°C

sampel	Rata-rata VMA (%)	
	3 sampel	Chi square
110°C	50 x 2	18,35
	60 x 2	19,86
	75 x 2	18,06
	90 x 2	17,84
120°C	50 x 2	20,22
	60 x 2	19,17
	75 x 2	18,29
	90 x 2	19,20



**Gambar 4.25** Grafik hubungan VMA dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 110°C



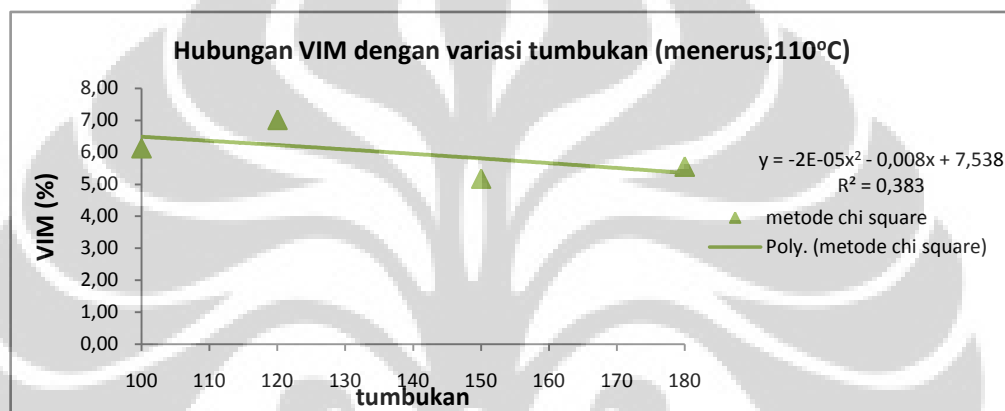
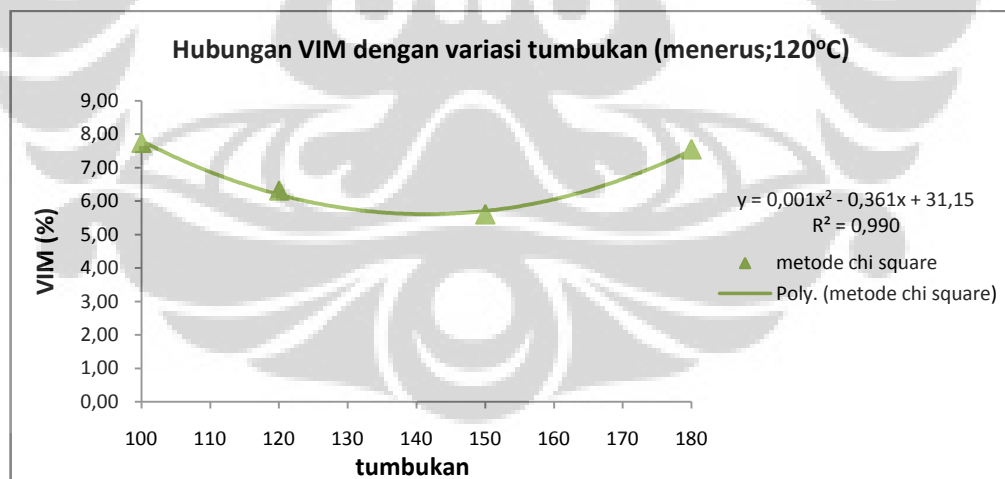
**Gambar 4.26** Grafik hubungan VMA dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 120°C

Pada grafik diatas data-data VMA diwakili dengan menggunakan persamaan polinomial dengan alasan nilai  $R^2$  yang merupakan indikasi keakuratan persamaan garis perkiraan terhadap titik sebaran aslinya, memiliki nilai yang cukup tinggi. Kondisi VMA yang terjadi terhadap bertambahnya jumlah tumbukan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Pada grafik pemadatan suhu  $110^{\circ}\text{C}$ , berdasarkan kurva kecenderungan yang terwakili oleh persamaan polinomial dari sebaran data VMA, terlihat bahwa semakin banyak jumlah tumbukan yang diterima campuran pada saat pemadatan maka nilai VMA cenderung menurun. Pada gambar, grafik terlihat mendekati linier tetapi pada kenyataan jika ditinjau berdasarkan persamaannya kecenderungan bukan sebagai linier melainkan persamaan kurva parabola terbuka ke bawah. Persamaan kurva ini memiliki tingkat  $R^2$  sebesar 0,383 yang terbilang masih kurang kuat untuk sebuah keakuratan garis perkiraan.
  - b. Sedangkan untuk grafik pemadatan pada suhu  $120^{\circ}\text{C}$ , nilai VMA sangat berbeda dengan pemadatan  $110^{\circ}\text{C}$ . Pada grafik yang terwakili oleh persamaan polinomial terlihat perubahan nilai VMA terhadap bertambahnya jumlah tumbukan menyerupai kurva parabola terbuka ke atas, dengan nilai VMA minimum sekitar 18,75% yang berada pada rentang tumbukan 140 sampai dengan 150 tumbukan. Pada tumbukan 100 menuju tumbukan ke 140 nilai VMA terlihat cenderung menurun, tetapi pada rentang tumbukan 140 menuju tumbukan ke 180 nilai VMA justru terlihat naik kembali. Harga  $R^2$  untuk persamaan kurva perkiraan sebesar 0,990 merupakan angka yang cukup akurat untuk mewakili sebaran titik aslinya.
  - c. VMA digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran aspal. Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, susunan gradasi agregat, jumlah tumbukan, dan temperatur pemadatan.
- Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai VIM (%)

**Tabel 4.24** VIM sampel gradasi menerus suhu 110°C dan 120°C

sampel	Rata-rata VIM (%)	
	3 sampel	Chi Square
110°C	50 x 2	5,19
	60 x 2	6,94
	75 x 2	4,86
	90 x 2	4,60
120°C	50 x 2	7,37
	60 x 2	6,14
	75 x 2	5,13
	90 x 2	6,18

**Gambar 4.27** Grafik hubungan VIM dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 110°C**Gambar 4.28** Grafik hubungan VIM dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 120°C

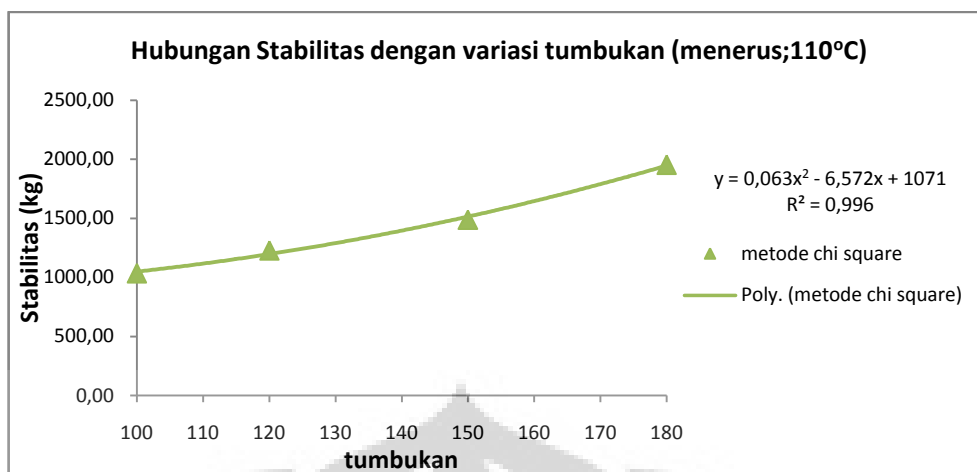
Kondisi VIM yang terjadi terhadap bertambahnya jumlah tumbukan yang diterima sampel dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Untuk sampel yang dipadatkan pada suhu 110°C berdasarkan grafik kecenderungan nilai VIM akibat bertambahnya jumlah tumbukan, terlihat bahwa nilai VIM cenderung turun seiring bertambahnya jumlah tumbukan. Persamaan kurva perkiraan yang terbentuk merupakan persamaan kurva parabola terbuka ke bawah. Harga  $R^2$  yang terbentuk dari persamaan kurva perkiraan sebesar 0,383 yang masih terbilang kurang cukup kuat untuk menggambarkan keakuratan kurva perkiraan.
  - b. Sedangkan pada grafik VIM dengan pemadatan sampel pada suhu 120°C, persamaan garis perkiraan yang terbentuk merupakan persamaan kurva parabola terbuka ke atas. Dari grafik terlihat bahwa nilai VIM memiliki nilai minimum sekitar 5,7% yang berada pada rentang tumbukan 140 sampai dengan 150 tumbukan. Pada tumbukan 100 menuju tumbukan ke-140, nilai VIM terlihat cenderung menurun. Tetapi mulai dari 140 menuju tumbukan ke 180 nilai VIM terlihat cenderung naik. Harga  $R^2$  yang terbentuk sebesar 0,990. Sama seperti harga  $R^2$  VMA 120°C, nilai  $R^2$  sebesar ini merupakan nilai yang cukup akurat untuk persamaan garis perkiraan terhadap sebaran titik asli pada rentang yang ada.
  - d. VIM menyatakan banyaknya persentase rongga dalam campuran total.
- Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai stabilitas (kg)

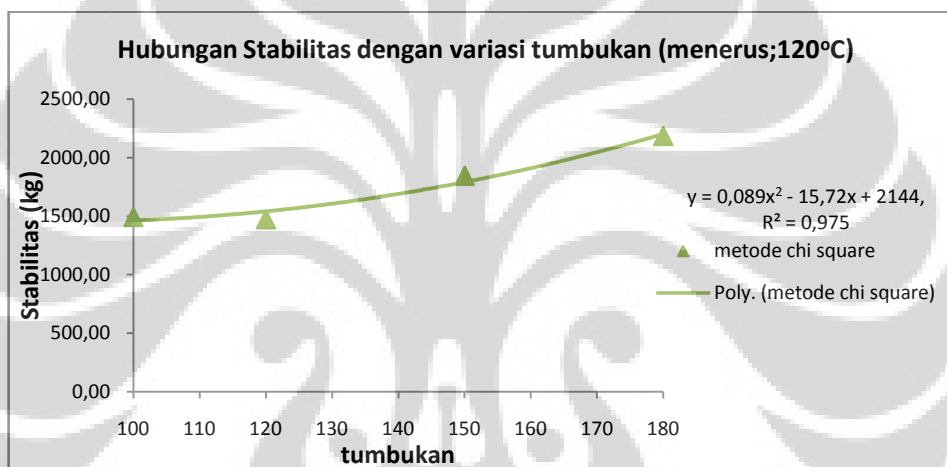
**Tabel 4.25** Stabilitas sampel gradasi menerus suhu 110°C dan 120°C

Sampel	Rata-rata Stabilitas (kg)		
	3 sampel	<i>Chi Square</i>	
110°C	50 x 2	969,04	1034,70
	60 x 2	1167,84	1227,71
	75 x 2	1474,72	1488,90
	90 x 2	1795,41	1952,98
120°C	50 x 2	1445,12	1493,48
	60 x 2	1360,02	1474,37
	75 x 2	1752,75	1844,81
	90 x 2	2079,25	2185,42





**Gambar 4.29** Grafik hubungan Stabilitas dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 110°C



**Gambar 4.30** Grafik hubungan Stabilitas dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 120°C

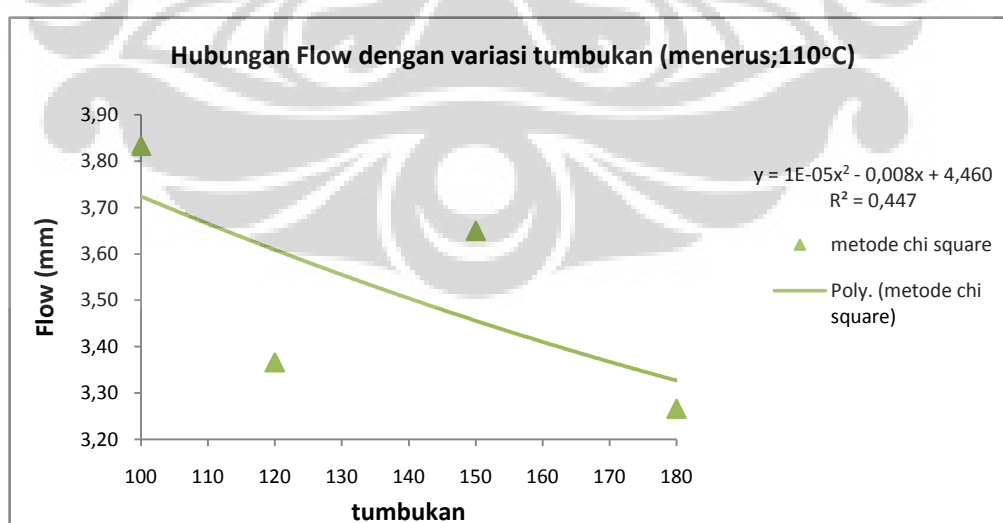
Nilai Stabilitas yang terjadi terhadap bertambahnya jumlah tumbukan yang diterima sampel dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Pada campuran dengan pemadatan 110°C, berdasarkan kurva perkiraan sebaran data stabilitas terlihat bahwa nilai stabilitas campuran cenderung naik berdasarkan jumlah tumbukan pada saat pemadatan. Mulai dari tumbukan ke-100 yang berada pada nilai stabilitas sekitar 1000 kg kemudian nilai stabilitas perlahan naik sampai tumbukan ke-180 yaitu dengan nilai stabilitasnya sekitar 1900 kg. Harga  $R^2$  yang terbentuk dari persamaan garis perkiraan yang merupakan persamaan kurva parabola terbuka ke atas, sebesar 0,996. Harga  $R^2$  tersebut cukup akurat bagi persamaan garis perkiraan untuk mewakili sebaran titik stabilitas asli yang ada.

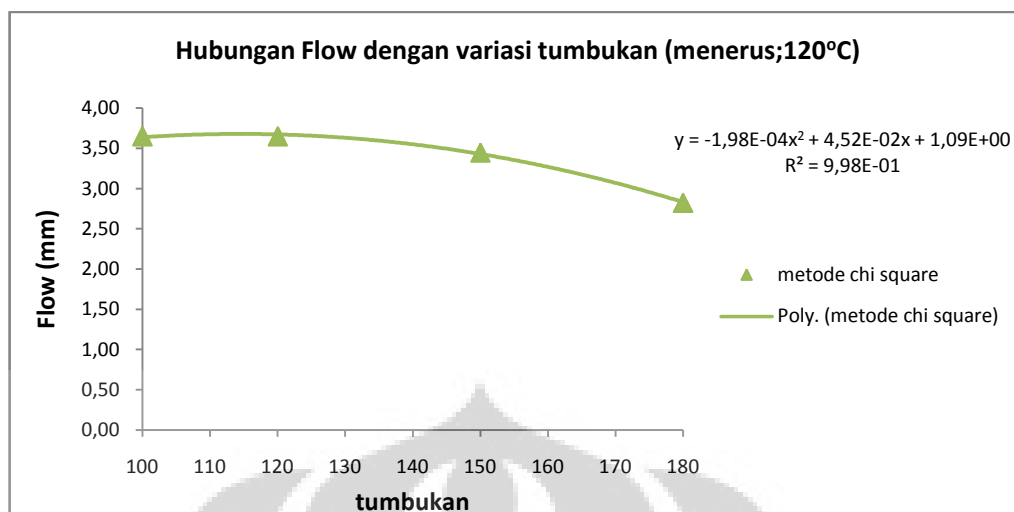
- b. Untuk campuran yang dipadatkan pada suhu 120°C, pola kecenderungan stabilitas terhadap bertambahnya jumlah tumbukan pemadatan juga menunjukkan pola cenderung naik. Dari tumbukan ke-100 yang memiliki stabilitas sekitar 1400 kg kemudian naik seiring bertambahnya jumlah tumbukan hingga tumbukan ke-180 yang menghasilkan nilai stabilitas sekitar 2100 kg. Harga  $R^2$  yang terbentuk sebesar 0,975 terbilang cukup akurat bagi persamaan garis perkiraan nilai stabilitas terhadap jumlah tumbukan yang diterima campuran.
- c. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapisan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas.
- Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai *flow* (mm)

**Tabel 4.26** Flow sampel gradasi menerus suhu 110°C dan 120°C

Sampel	Rata-rata <i>Flow</i> (mm)		
	3 sampel	<i>Chi Square</i>	
110°C	50 x 2	3,83	3,83
	60 x 2	3,37	3,37
	75 x 2	3,45	3,65
	90 x 2	3,27	3,27
120°C	50 x 2	3,50	3,65
	60 x 2	3,38	3,65
	75 x 2	3,38	3,45
90 x 2	2,78	2,83	



**Gambar 4.31** Grafik hubungan Flow dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 110°C



**Gambar 4.32** Grafik hubungan Flow dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus 120°C

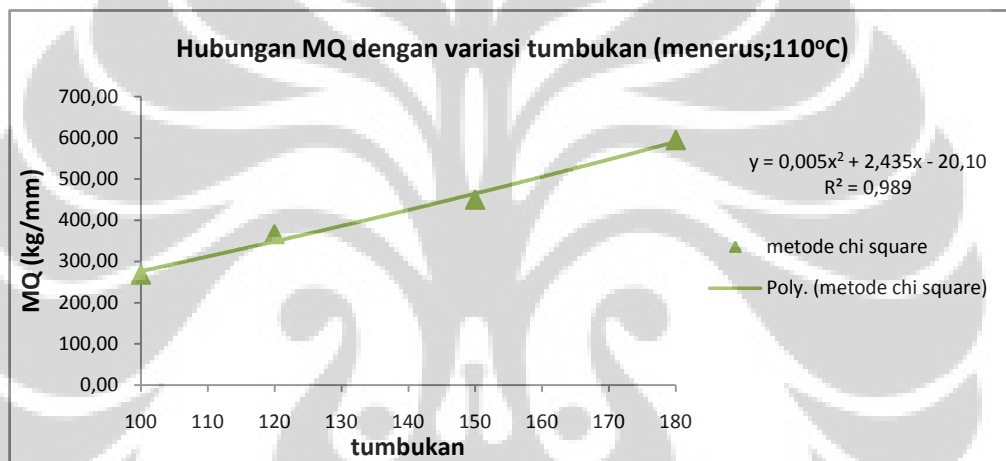
Nilai *Flow* yang terjadi terhadap bertambahnya jumlah tumbukan yang diterima sampel dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Pada suhu pemadatan 110°C, berdasarkan grafik perkiraan sebaran nilai *flow*, terlihat nilai *flow* cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jumlah tumbukan yang diterima sampel pada proses pemadatan. Mulai dari tumbukan ke-100 yang memiliki nilai *flow* menurut persamaan garis perkiraan sekitar 3,7 mm lalu menurun hingga tumbukan ke-180 dengan harga *flow* menurut persamaan garis perkiraan sekitar 3,30 mm. Harga  $R^2$  yang terbentuk sebesar 0,447 merupakan angka yang kurang cukup akurat bagi persamaan garis perkiraan yang mewakili harga *flow*nya.
- b. Sedangkan untuk pemadatan 120°C, nilai *flow* terlihat cenderung menurun. Dengan penurunan berupa kurva parabola tertutup ke bawah. Pola kecenderungan memiliki kisaran *flow* maksimum pada rentang tumbukan 100 dan 120, yaitu sekitar 3,60 mm. Harga  $R^2$  yang terbentuk sebesar 0,998 merupakan angka yang cukup akurat bagi persamaan garis perkiraan terhadap sebaran titik *flow* aslinya.
- c. *Flow* merupakan indikator kelenturan campuran aspal dalam menahan beban lalu lintas. *Flow* menyatakan besarnya deformasi dari sampel campuran. Jika nilai *flow* rendah dengan stabilitas yang tinggi maka mengakibatkan campuran kaku dan getas.

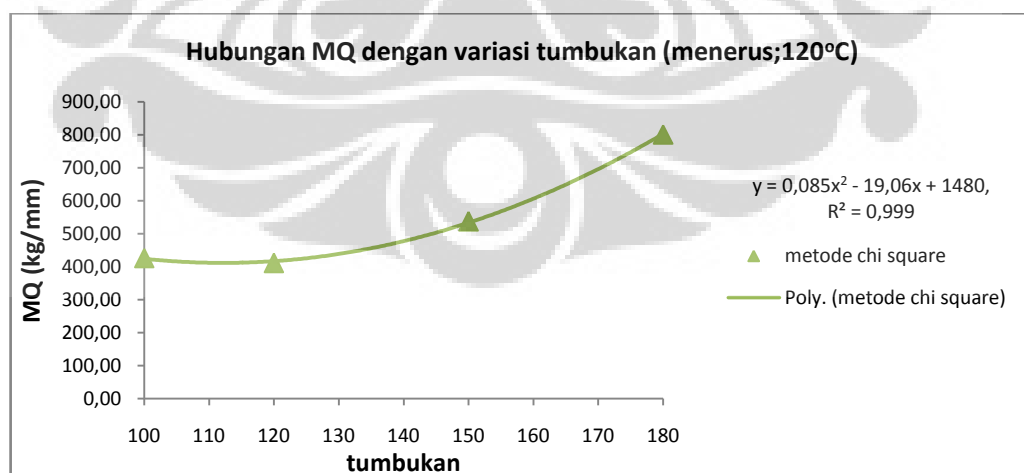
- Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai  $MQ$  (kg/mm)

**Tabel 4.27**  $MQ$  sampel gradasi menerus suhu  $110^{\circ}\text{C}$  dan  $120^{\circ}\text{C}$

sampel	Rata-rata $MQ$ (kg/mm)		
	3 sampel	<i>Chi square</i>	
$110^{\circ}\text{C}$	50 x 2	252,38	268,34
	60 x 2	348,68	366,84
	75 x 2	430,37	450,10
	90 x 2	550,77	594,86
$120^{\circ}\text{C}$	50 x 2	414,20	426,47
	60 x 2	402,53	411,18
	75 x 2	516,82	537,56
	90 x 2	748,79	801,31



**Gambar 4.33** Grafik hubungan  $MQ$  dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus  $110^{\circ}\text{C}$



**Gambar 4.34** Grafik hubungan  $MQ$  dengan variasi tumbukan pada gradasi menerus  $120^{\circ}\text{C}$

Nilai  $MQ$  yang terjadi terhadap bertambahnya jumlah tumbukan yang diterima sampel dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Nilai  $MQ$  untuk kedua pemadatan pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$  cenderung naik seiring dengan bertambahnya jumlah tumbukan yang diterima sampel pada saat pemadatan campuran. Mulai dari tumbukan ke-100 yang menghasilkan nilai  $MQ$  sekitar  $250\text{ kg/mm}$  hingga tumbukan ke-180 yang menghasilkan nilai  $MQ$  sekitar  $590\text{ kg/mm}$ . Persamaan garis kecenderungan  $MQ$  perkiraan memiliki nilai  $R^2$  sebesar  $0,989$  yang merupakan indikasi bahwa persamaan garis perkiraan tersebut cukup akurat untuk mewakili sebaran  $MQ$  yang ada.
- b. Untuk pemadatan pada suhu  $120^{\circ}\text{C}$ , kecenderungan  $MQ$  juga menunjukkan pola yang serupa yaitu sepiintas cenderung naik berdasarkan jumlah tumbukan. Namun besarnya kenaikan agak lebih besar, mulai dari tumbukan ke-100 dengan nilai  $MQ$  sekitar  $400\text{ kg/mm}$  sampai tumbukan ke-180 dengan nilai  $MQ$  sekitar  $800\text{ kg/mm}$ . Namun jika ditinjau berdasarkan persamaan garis perkiraan yang ada yang berupa persamaan kurva parabola terbuka ke atas, sebenarnya terdapat nilai  $MQ$  minimum pada rentang tumbukan 100 dan 110, namun beda nilai  $MQ$ nya sangat kecil sehingga tak kasat mata secara grafis. Harga  $R^2$  yang terbentuk sebesar  $0,999$  sehingga persamaan garis perkiraan cukup akurat mewakili sebaran titik perubahan  $MQ$  asli yang ada.
- c. Nilai  $MQ$  untuk pemadatan  $120^{\circ}\text{C}$  lebih tinggi dibanding pemadatan pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$ . Hal ini dikarenakan nilai stabilitasnya yang juga lebih tinggi. Campuran dengan nilai  $MQ$  lebih rendah maka campuran akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi.

**Tabel 4.28** Persamaan hubungan nilai Marshall test sampel gradasi menerus (metode *chi square*)

Nilai	Pemadatan 110°C		Pemadatan 120°C	
	Persamaan	R <sup>2</sup>	Persamaan	R <sup>2</sup>
VMA (%)	$y = -0,00002x^2 - 0,00737x + 20,37020$	0,383	$y = 0,00110x^2 - 0,31115x + 40,70630$	0,991
VIM (%)	$y = -0,00002x^2 - 0,00856x + 7,53862$	0,383	$y = 0,00128x^2 - 0,36128x + 31,15168$	0,991
Stabilitas (kg)	$y = 0,06350x^2 - 6,57272x + 1.070,98948$	0,996	$y = 0,08914x^2 - 15,72588x + 2.144,62020$	0,975
Flow (mm)	$y = 0,00001x^2 - 0,00870x + 4,46072$	0,447	$y = -0,00020x^2 + 0,04525x + 1,09101$	0,998
MQ (kg/mm)	$y = 0,00531x^2 + 2,43559x - 20,10736$	0,989	$y = 0,08500x^2 - 19,06727x + 1.480,70349$	0,999

Keterangan :

Y = nilai hasil-hasil uji marshall

X = variasi jumlah tumbukan

R<sup>2</sup> = tingkat keakuratan sebaran titik sebenarnya terhadap persamaan garis perkiraan

Berdasarkan dua variasi suhu pemadatan pada campuran bergradasi menerus yang dipadatkan pada suhu 110°C dan 120°C. Terlihat bahwa nilai-nilai dari pengujian *Marshall* memiliki pola kecenderungan yang sama terhadap variasi jumlah tumbukan pemadatannya. Pola kecenderungan dapat terlihat dengan bantuan program *microsoft excel* yaitu dengan menggunakan *trend line* tipe polinomial. Persamaan yang dihasilkan berupa persamaan garis polinomial dengan nilai R<sup>2</sup> sebagai indikasi ketepatan garis *trend line* sebagai garis perkiraan sebaran data yang ada, dengan nilai maksimum adalah 1 yang berarti mutlak tepat. Pola kecenderungan nilai *Marshall* terhadap bertambahnya jumlah tumbukan adalah sebagai berikut; nilai VMA, VIM, dan *flow* memiliki kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya jumlah tumbukan, sedangkan untuk nilai stabilitas dan MQ memiliki kecenderungan naik seiring bertambahnya jumlah tumbukan.

#### 4.5.2. Hasil *Marshall Test* sampel gradasi senjang (HRS-WC)

Nilai-nilai hasil uji marshall untuk campuran gradasi senjang/gap yang dipadatkan pada suhu 110°C dapat dilihat pada tabel 4.31, sedangkan data sampel yang sudah terseleksi dengan menggunakan metode *chi square* dengan tingkat kepercayaan 95% dapat dilihat pada tabel 4.32.

**Tabel 4.29** Nilai Marshall sampel gradasi senjang suhu 110°C

tumbukan	VMA (%)			VIM (%)			stabilitas (kg)		flow (mm)			MQ (kg/mm)		
	min	percobaan		min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan
100	1	18	21,13	3	6	8,43	800	1369,80	3	-	3,35	250	-	408,90
	2	18	20,01	3	6	7,12	800	1612,83	3	-	3,80	250	-	424,43
	3	18	19,80	3	6	6,88	800	1488,30	3	-	3,30	250	-	451,00
150	1	18	19,24	3	6	3,68	800	1771,17	3	-	2,60	250	-	681,22
	2	18	19,97	3	6	4,55	800	1413,99	3	-	2,20	250	-	642,72
	3	18	19,63	3	6	4,14	800	1590,74	3	-	3,00	250	-	530,25
180	1	18	18,65	3	6	2,97	800	1855,86	3	-	3,80	250	-	488,38
	2	18	19,14	3	6	3,56	800	1767,48	3	-	3,70	250	-	477,70
	3	18	19,25	3	6	3,69	800	1789,58	3	-	3,40	250	-	526,35

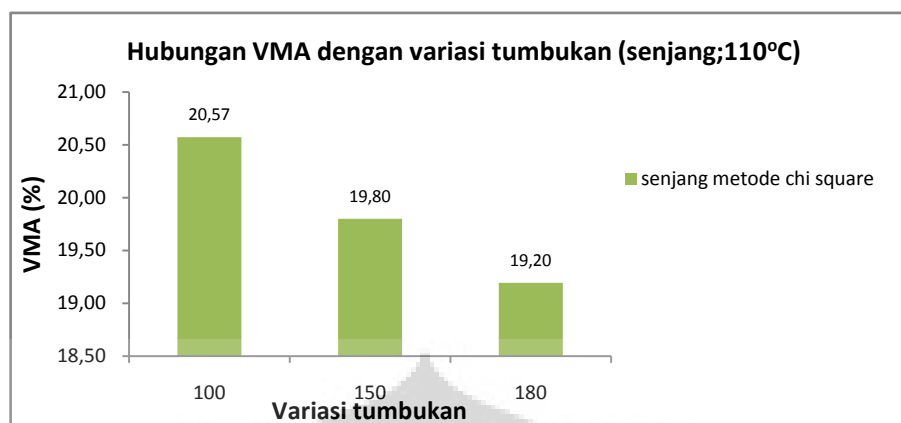
**Tabel 4.30** Nilai Marshall sampel gradasi senjang suhu 110°C terseleksi *chi square*

tumbukan	VMA (%)			VIM (%)			stabilitas (kg)		flow (mm)			MQ (kg/mm)		
	min	percobaan		min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan
100	1	18	21,13	3	6	8,43	800	-	3	-	3,35	250	-	-
	2	18	20,01	3	6	7,12	800	1612,83	3	-	3,80	250	-	424,43
	3	18	-	3	6	-	800	1488,30	3	-	-	250	-	451,00
150	1	18	-	3	6	-	800	1771,17	3	-	2,60	250	-	681,22
	2	18	19,97	3	6	4,55	800	-	3	-	-	250	-	642,72
	3	18	19,63	3	6	4,14	800	1590,74	3	-	3,00	250	-	-
180	1	18	-	3	6	-	800	1855,86	3	-	3,80	250	-	488,38
	2	18	19,14	3	6	3,56	800	-	3	-	3,70	250	-	-
	3	18	19,25	3	6	3,69	800	1789,58	3	-	-	250	-	526,35

- Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai VMA (%)

**Tabel 4.31** VMA sampel gradasi senjang suhu 110°C

Sampel	Rata-rata VMA (%)		
	3 sampel	Chi Square	
110°C	50 x 2	20,32	20,57
	75 x 2	19,62	19,80
	90 x 2	19,01	19,20



**Gambar 4.35** Histogram VMA gradasi senjang pemadatan 110°C

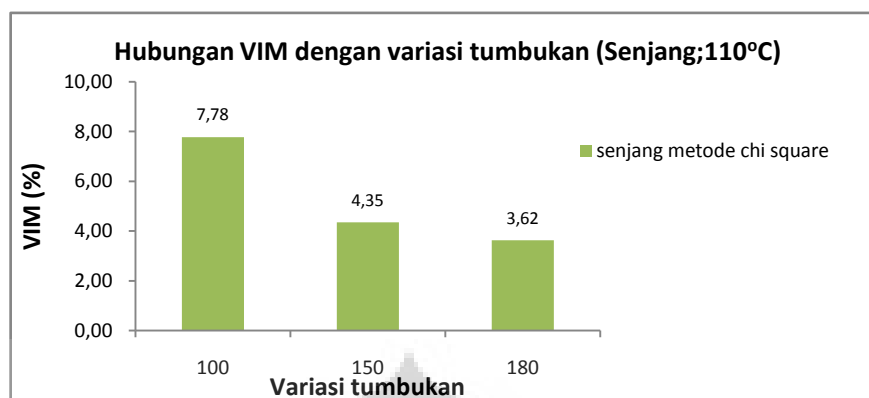
Kondisi VMA yang terjadi terhadap bertambahnya jumlah tumbukan yang diterima sampel untuk gradasi senjang dengan suhu pemadatan 110°C dari diagram batang yang terbentuk, terlihat nilai VMA cenderung menurun seiring bertambahnya jumlah tumbukan pemadatan. Mulai dari tumbukan ke-100 nilai VMAnya sebesar 20,57% lalu menurun untuk tumbukan ke-150 yaitu VMAnya sebesar 19,80%, hingga tumbukan ke-180 dengan VMA sebesar 19,20%. Batas minimum VMA untuk gradasi senjang HRS-WC adalah 18%, dengan kata lain hasil VMA yang didapatkan berada di atas ambang minimum.

- Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai VIM (%)

**Tabel 4.32** VIM sampel gradasi senjangs suhu 110°C

Sampel		Rata-rata VIM (%)	
		3 sampel	Chi Square
110°C	50 x 2	7,48	7,78
	75 x 2	4,13	4,35
	90 x 2	3,41	3,62





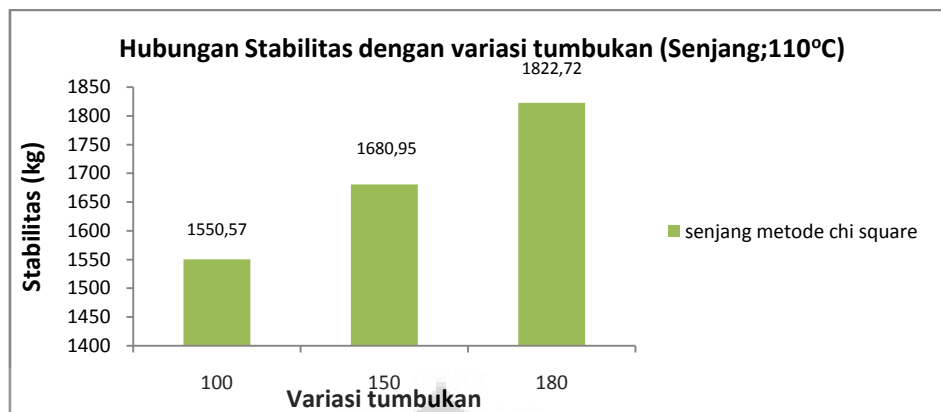
**Gambar 4.36** Histogram VIM gradasi senjang pemadatan 110°C

Kondisi VIM yang terjadi terhadap bertambahnya jumlah tumbukan yang diterima sampel untuk gradasi senjang dengan suhu pemadatan 110°C dari diagram batang terlihat grafik VIM cenderung menurun seiring bertambahnya jumlah tumbukan pemadatan. Mulai dari tumbukan ke-100 dengan nilai VIM sebesar 7,78%, kemudian tumbukan ke-150 dengan nilai VIMnya 4,35%, hingga tumbukan ke-180 dengan nilai VIMnya sebesar 3,62%. Batas minimum VIM untuk HRS-WC adalah 3% dan batas maksimumnya adalah 6%. Sampel gradasi senjang yang dipadatkan pada 110°C yang masuk dalam batas kadar VIM adalah sampel yang dipadatkan 75x2 dan 90x2 tumbukan.

- Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai Stabilitas (kg)

**Tabel 4.33** Stabilitas sampel gradasi senjangs suhu 110°C

Sampel	Rata-rata Stabilitas (kg)	
	3 sampel	<i>Chi Square</i>
110°C	50 x 2	1490,31    1550,57
	75 x 2	1591,96    1680,95
	90 x 2	1804,31    1822,73



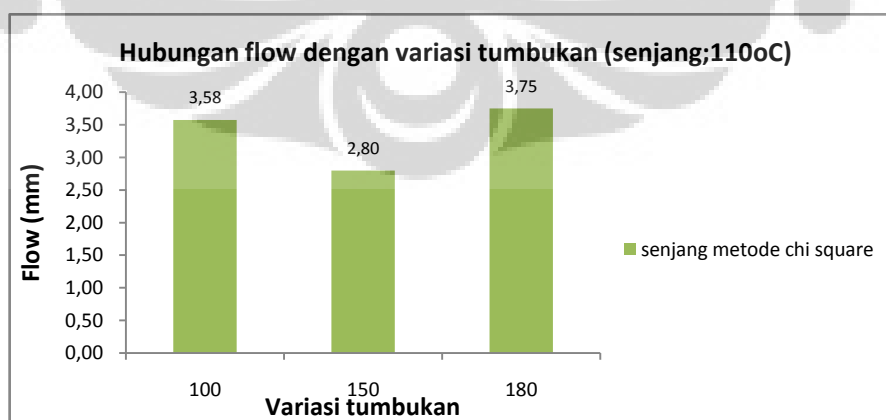
**Gambar 4.37** Histogram stabilitas gradasi senjang 110°C

Kondisi stabilitas yang terjadi terlihat diagram batang stabilitas cenderung meningkat seiring bertambahnya jumlah tumbukan pemadatan. Nilai stabilitas untuk 100 tumbukan sebesar 1550,67 kg, stabilitas untuk 150 tumbukan sebesar 1680,95 kg, dan stabilitas untuk 180 tumbukan sebesar 1822,73 kg. Nilai stabilitas yang didapatkan di atas nilai stabilitas minimum yaitu 800kg.

- Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai *Flow* (mm)

**Tabel 4.34** Flow sampel gradasi senjangs suhu 110°C

Sampel	Rata-rata <i>Flow</i> (mm)	
	3 Sampel	<i>Chi Square</i>
110°C 50 x 2	3,48	3,58
75 x 2	2,60	2,80
90 x 2	3,63	3,75



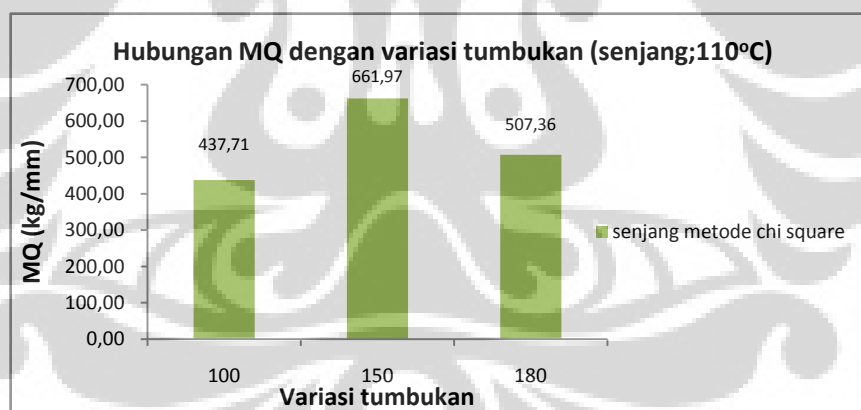
**Gambar 4.38** Histogram perbandingan flow gradasi senjang dan menerus pemadatan 110°C

Kondisi *flow* yang terjadi, dari diagram batang *flow* terlihat bahwa nilai *flow* pada sampel yang ditumbuk sebanyak 150 kali (75x2) memiliki nilai yang lebih kecil yaitu sebesar 2,80 mm dibandingkan pada sampel yang ditumbuk 50x2 kali dengan *flow* sebesar 3,58 mm dan tumbukan 90x2 kali nilai *flow*nya sebesar 3,75 mm. Untuk sampel gradasi senjang yang ditumbuk 90x2 memiliki *flow* yang paling tinggi. Batas minimum *flow* untuk HRS-WC adalah 3mm dengan kata lain sampel senjang yang melewati batas minimum *flow*nya adalah sampel dengan tumbukan 50x2 dan 90x2 tumbukan.

- Pengaruh jumlah tumbukan terhadap nilai *MQ* (kg/mm)

**Tabel 4.35** *MQ* sampel gradasi senjangs suhu 110°C

Sampel	Rata-rata <i>MQ</i> (kg/mm)		
	3 Sampel	<i>Chi Square</i>	
110°C	50 x 2	428,11	437,71
	75 x 2	618,06	661,97
	90 x 2	497,48	507,36



**Gambar 4.39** Histogram perbandingan *MQ* gradasi senjang dan menerus pemadatan 110°C

Kondisi *MQ* yang terjadi, dari diagram batang terlihat grafik *MQ* pada sampel yang ditumbuk 150 kali memiliki *MQ* lebih tinggi dibanding sampel yang ditumbuk 50x2 dan 90x2. Nilai *MQ* berkebalikan dengan pola nilai *flow*, hal ini terjadi karena nilai *MQ* berbanding terbalik dengan nilai *flow* campuran. Ketiga sampel variasi tumbukan memiliki *MQ* yang lebih tinggi dibandingkan *MQ* minimum yaitu 250kg/mm.

Penggunaan sampel gradasi senjang hanyalah sebagai pembandingan untuk melihat pola kecenderungan nilai-nilai *marshall* yang divariasikan menurut jumlah tumbukannya. Sehingga dapat terlihat bagaimana perubahan nilai-nilai uji *Marshall* terhadap perubahan tumbukan yang dialami campuran pada proses pemadatan.

#### 4.5.3. Penyimpangan Hasil *Marshall Test* sampel gradasi menerus dan senjang

- Perbedaan pola pada nilai VMA dan VIM pada sampel gradasi menerus antara campuran yang dipadatkan pada suhu 110°C dengan yang dipadatkan pada suhu 120°C. Pada campuran gradasi menerus yang dipadatkan pada suhu 110°C, pola VMA dan VIM cenderung menurun seiring bertambahnya jumlah tumbukan pada rentang tumbukan 2x50 sampai 90x180. Sedangkan pada campuran yang dipadatkan pada suhu 120°C terlihat pola VMA dan VIMnya cenderung menurun hingga berada pada rentang tumbukan 140 – 150 tumbukan, kemudian kadar VMA dan VIM naik lagi sampai sampel menerima 180 tumbukan. Jika dibandingkan dengan campuran sampel gradasi senjang yang dipadatkan pada suhu 110°C yang terlihat pola VMA dan VIMnya cenderung menurun. Pola VMA dan VIM pada campuran tidaklah cenderung pada satu arah saja, perbedaan yang terjadi pada campuran ini kemungkinan adanya faktor perbedaan temperatur pemadatan.
- Perbedaan pola pada nilai *flow* pada sampel gradasi menerus didapatkan pola *flow* menurun seiring jumlah tumbukan, akan tetapi nilai *flow* yang didapat untuk sampel gradasi senjang dengan pemadatan 110°C cenderung menurun dari tumbukan 50x2 sampai ke tumbukan 75x2, akan tetapi terjadi kenaikan kembali untuk tumbukan 90x2.

Penyebab perbedaan data hasil pengujian dapat disebabkan beberapa faktor, diantaranya sebagai berikut:

- Perbedaan komposisi yang kurang presisi
- perbedaan *timing* pada saat melakukan tumbukan yang dapat mempengaruhi reaksi *rebound* pada sampel.

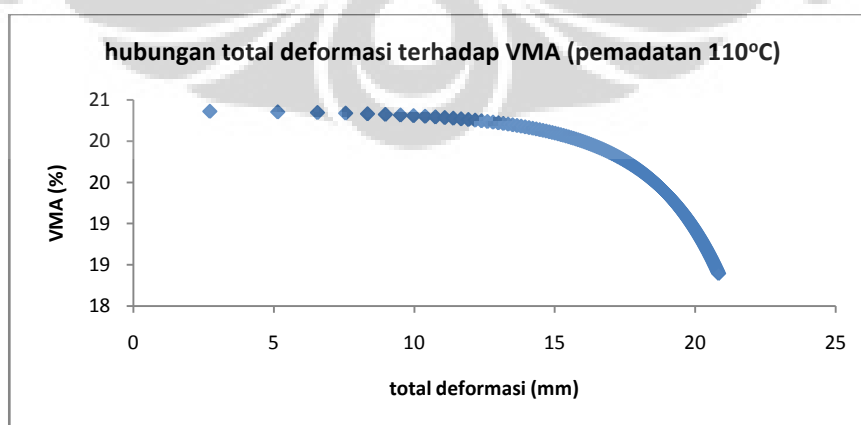
- Adanya perbedaan temperatur ruangan atau terjadinya fluktuasi suhu pada saat pemadatan.
- Pada saat pengukuran tinggi sampel, adanya bagian di tepi sampel yang dibuang untuk mendapatkan ketebalan di tepi dan tengah campuran yang sama.

#### 4.6. Hasil Uji *Marshall test* Terhadap Perubahan Deformasi Campuran

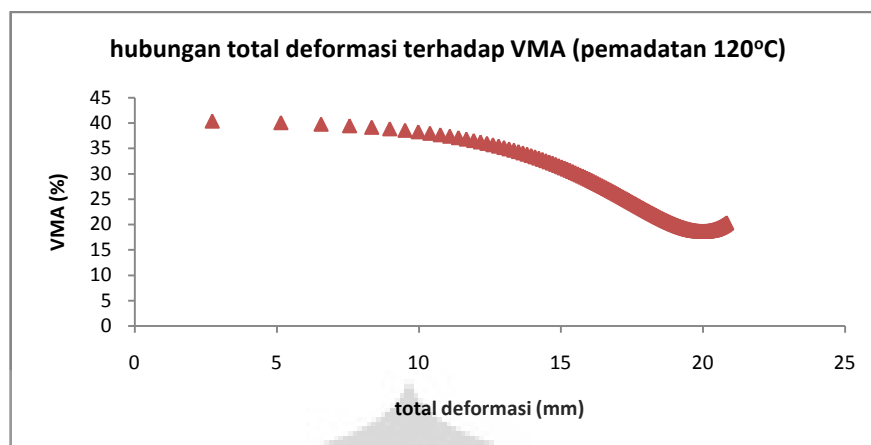
Karena hasil uji marshall pada campuran gradasi senjang hanya dikaji secara visual saja dan hanya berfungsi sebagai pembanding untuk melihat kecenderungan hasil-hasil uji *marshall* terhadap variasi tumbukan pada proses pemadatan yang terjadi pada campuran gradasi meneus. Maka peninjauan hasil uji *marshall* terhadap deformasi yang dialami campuran hanya dilakukan pada campuran gradasi menerus dengan dua jenis temperatur pemadatan, yaitu pada suhu 110°C dan pada suhu 120°C.

Berdasarkan pada persamaan hubungan deformasi terhadap jumlah tumbukan yaitu pada tabel 4.22 dan persamaan hubungan nilai uji *marshall* untuk gradasi menerus pada tabel 4.30 maka dapat dibuat grafik hubungan antara perubahan deformasi kumulatif yang terjadi pada campuran gradasi menerus yang dipadatkan pada temperatur 110°C dan 120°C terhadap perubahan nilai-nilai uji *Marshall*nya.

- Perubahan nilai VMA terhadap deformasi yang terjadi



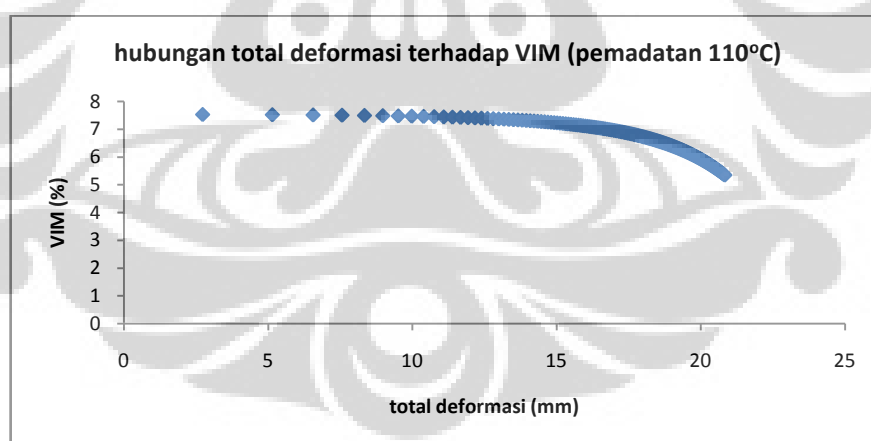
**Gambar 4.40** Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 110°C terhadap VMA



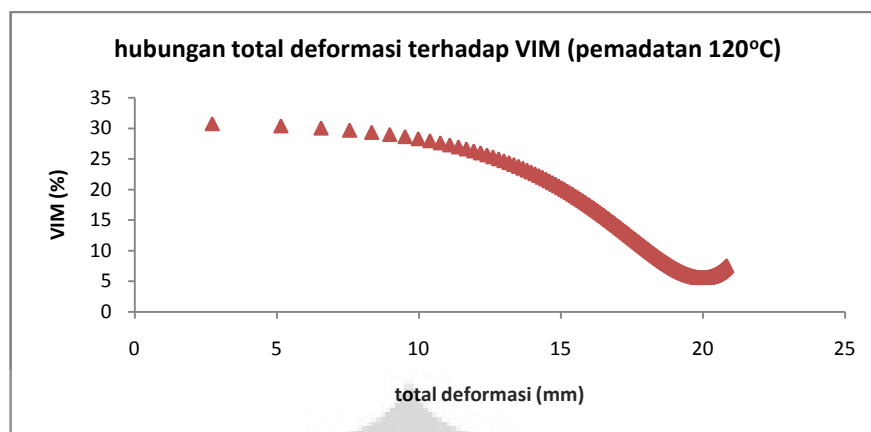
**Gambar 4.41** Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 120°C terhadap VMA

Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa pada pemadatan 110°C kadar VMA cenderung menurun seiring bertambahnya deformasi yang dialami campuran, penurunan kadar VMA cukup signifikan ketika deformasi yang terjadi pada sampel mulai mencapai 15 mm hingga menuju 21 mm. Sedangkan pada campuran yang dipadatkan pada suhu 120°C, kadar VMA cenderung menurun sampai ke deformasi sekitar 20 mm kemudian kadar VMA kembali naik.

- Perubahan nilai VIM terhadap deformasi yang terjadi



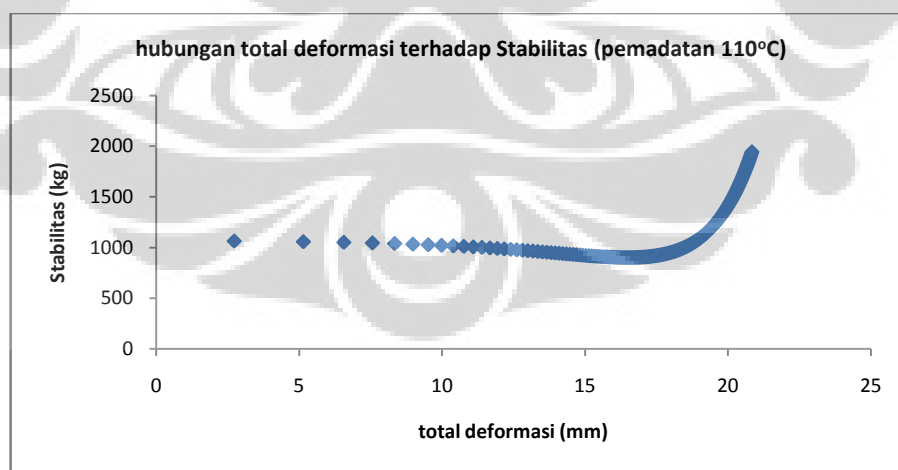
**Gambar 4.42** Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 110°C terhadap VIM



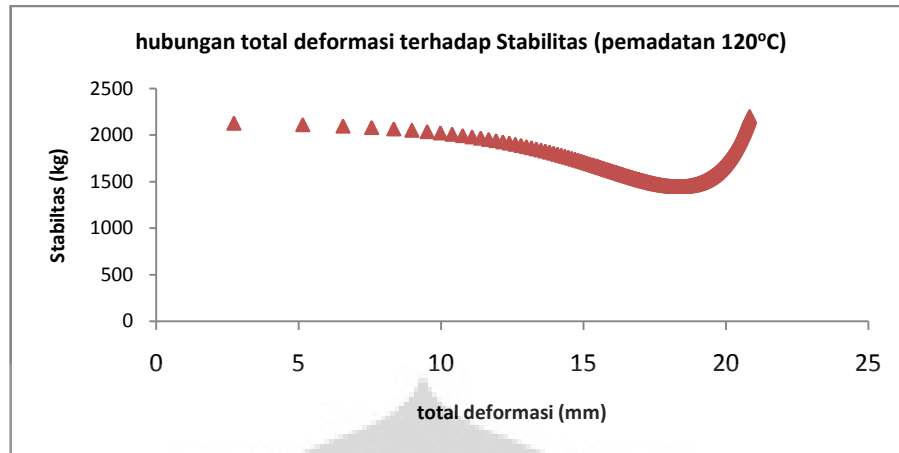
**Gambar 4.43** Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 120°C terhadap VIM

Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa pada pemadatan 110°C kadar VIM cenderung menurun seiring bertambahnya deformasi yang dialami campuran, penurunan kadar VIM cukup signifikan ketika deformasi yang terjadi pada sampel mulai mencapai 18 mm hingga menuju 21 mm. Sedangkan pada campuran yang dipadatkan pada suhu 120°C, kadar VMA cenderung menurun sampai ke deformasi sekitar 20 mm kemudian kadar VMA kembali naik. Penurunan secara signifikan terjadi pada rentang deformasi 15 mm menuju 20 mm.

- Perubahan nilai Stabilitas terhadap deformasi yang terjadi



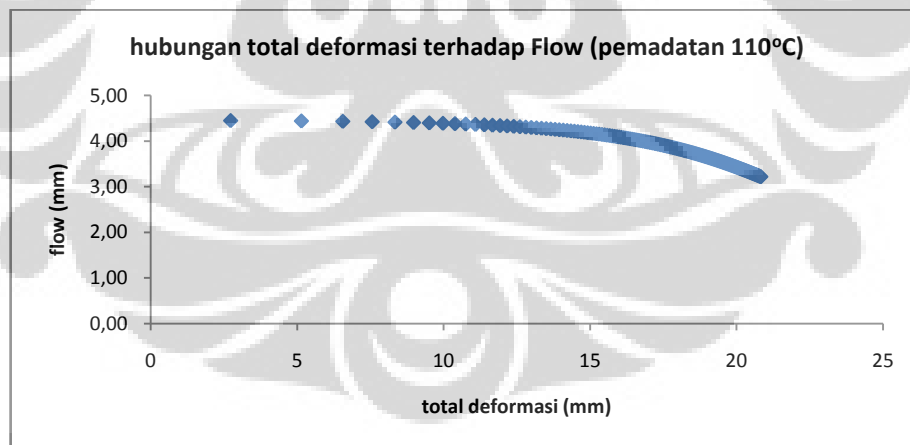
**Gambar 4.44** Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 110°C terhadap Stabilitas



**Gambar 4.45** Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 120°C terhadap Stabilitas

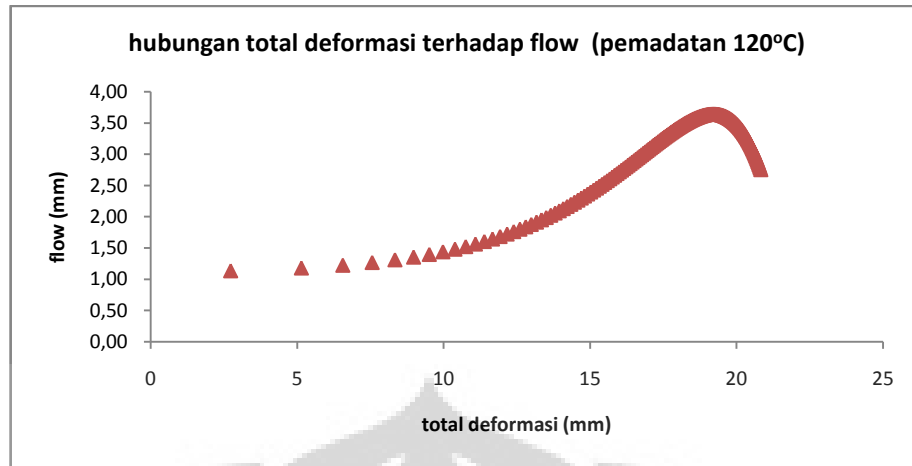
Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa pada pemadatan 110°C nilai stabilitas campuran cenderung menurun perlahan pada deformasi 0 mm sampai sekitar 17 mm, kemudian nilai stabilitas naik secara signifikan menuju tingkat deformasi 21 mm. Pada campuran yang dipadatkan pada suhu 120°C, nilai stabilitas juga mengalami kecenderungan yang sama yaitu menurun sampai ke deformasi sekitar 17 mm kemudian kembali naik secara signifikan.

- Perubahan nilai *flow* terhadap deformasi yang terjadi



**Gambar 4.46** Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 110°C terhadap flow

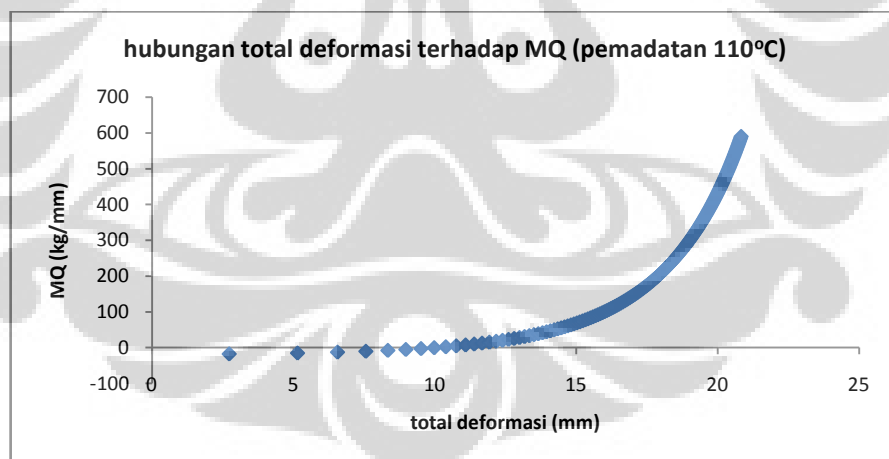




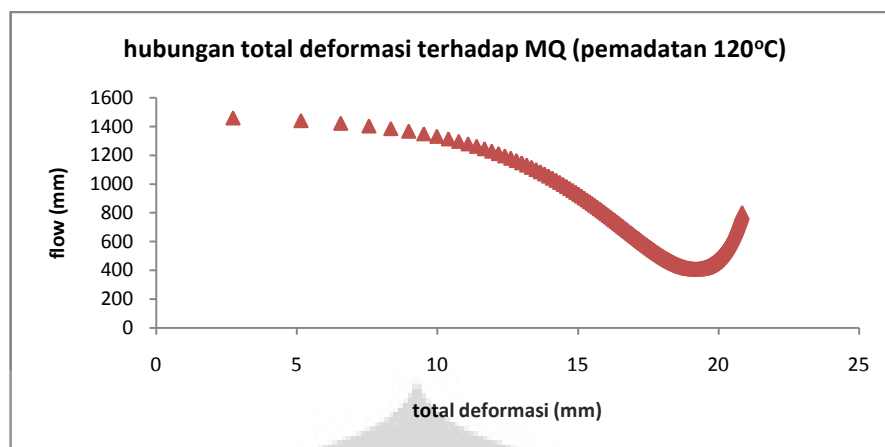
**Gambar 4.47** Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 120°C terhadap flow

Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa pada pemadatan 110°C nilai *flow* cenderung menurun perlahan seiring bertambahnya deformasi hingga menuju 21 mm. Sedangkan pada campuran yang dipadatkan pada suhu 120°C, nilai *flow* cenderung naik sampai ke deformasi sekitar 17 mm kemudian kadar mengalami penurunan secara signifikan terjadi pada rentang menuju deformasi 21 mm.

- Perubahan nilai MQ terhadap deformasi yang terjadi



**Gambar 4.48** Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 110°C terhadap MQ



**Gambar 4.49** Grafik hubungan deformasi gradasi menerus pemadatan 120°C terhadap MQ

Pola nilai MQ hampir memiliki pola yang sama dengan pola kecenderungan nilai stabilitasnya. Perbedaannya pada pemadatan 110°C, MQ naik secara signifikan hingga deformasi ke 21 mm. Sedangkan untuk pemadatan 120°C, nilai MQ cenderung turun hingga deformasi ke 19 mm, kemudian naik secara signifikan hingga mencapai deformasi ke 21 mm.

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh variasi jumlah tumbukan terhadap pada proses pemadatan campuran aspal beton dapat disimpulkan sebagai berikut :

##### 1. Tingkat perubahan deformasi

Deformasi	Metode rata - rata	
	Persamaan	R <sup>2</sup>
110oC menerus	$y=3,487\ln(x)+2,726$	0,806
120oC menerus	$y=3,886\ln(x)+1,804$	0,758
110oC senjang	$y = 3,178\ln(x) + 4,709$	0,706

Keterangan :

Y = nilai tingkat deformasi

X = variasi jumlah tumbukan

R<sup>2</sup>= tingkat keakuratan grafik perkiraan terhadap titik-titik sebaran

Secara umum tingkat deformasi untuk semua sampel dengan berbagai variasi memiliki tingkat perubahan deformasi semakin kecil seiring dengan semakin bertambahnya jumlah tumbukan. Tingkat deformasi untuk pemadatan 120°C lebih tinggi dibandingkan pemadatan pada suhu 110°C. Semakin lama tingkat perubahan deformasi semakin kecil hingga mencapai tak hingga yang berarti sampel tidak mengalami deformasi lagi. Ini disebabkan karena pemadatan campuran beraspal di laboratorium dilakukan dalam keadaan terkekang *unconfined* yang terselubung *mold*.

## 2. Marshall test

- gradasi menerus

Nilai	Pemadatan 110°C		Pemadatan 120°C	
	Persamaan	R <sup>2</sup>	Persamaan	R <sup>2</sup>
VMA (%)	$y = -0,00002x^2 - 0,00737x + 20,37020$	0,383	$y = 0,00110x^2 - 0,31115x + 40,70630$	0,991
VIM (%)	$y = -0,00002x^2 - 0,00856x + 7,53862$	0,383	$y = 0,00128x^2 - 0,36128x + 31,15168$	0,991
Stabilitas (kg)	$y = 0,06350x^2 - 6,57272x + 1.070,98948$	0,996	$y = 0,08914x^2 - 15,72588x + 2.144,62020$	0,975
Flow (mm)	$y = 0,00001x^2 - 0,00870x + 4,46072$	0,447	$y = -0,00020x^2 + 0,04525x + 1,09101$	0,998
MQ (kg/mm)	$y = 0,00531x^2 + 2,43559x - 20,10736$	0,989	$y = 0,08500x^2 - 19,06727x + 1.480,70349$	0,999

Keterangan :

Y = nilai marshall test

X = variasi jumlah tumbukan

R<sup>2</sup>=tingkat keakuratan sebaran titik sebenarnya terhadap persamaan garis perkiraan

Secara umum *marshall test* untuk campuran gradasi menerus yang dipadatkan pada suhu 110°C dan 120°C, maupun campuran gradasi senjang yang dipadatkan pada suhu 110°C memiliki pola kecenderungan yang sama yaitu untuk nilai VMA dan VIM cenderung turun seiring bertambahnya jumlah tumbukan, sedangkan nilai stabilitas, *flow*, dan MQ cenderung naik seiring bertambahnya jumlah tumbukan.

### 3. Perbedaan hasil pengujian dengan menggunakan sampel gradasi senjang

- Perbedaan pola pada nilai *flow* pada sampel gradasi menerus didapatkan pola *flow* menurun seiring jumlah tumbukan, akan tetapi nilai *flow* yang didapat untuk sampel gradasi senjang dengan pemadatan 110°C cenderung menurun dari tumbukan 50x2 sampai ke tumbukan 75x2, akan tetapi terjadi kenaikan kembali untuk tumbukan 90x2.
- Perbedaan pola pada nilai VMA dan VIM. Pada campuran gradasi menerus yang dipadatkan pada suhu 110°C, pola VMA dan VIM cenderung menurun. Sedangkan pada campuran yang dipadatkan pada suhu 120°C terlihat pola VMA dan VIMnya cenderung menurun hingga hingga sekitar 140 – 150 tumbukan, kemudian kadar VMA dan VIM naik lagi sampai sampel menerima 180 tumbukan. Jika dibandingkan dengan campuran sampel gradasi senjang yang dipadatkan pada suhu 110°C yang terlihat pola VMA dan VIMnya cenderung menurun.

### 4. Hasil Uji Marshall Terhadap Perubahan Deformasi Campuran menerus

Universitas Indonesia

- Secara keseluruhan semai kecil tingkat perubahan deformasi tingkat perubahan nilai-nilai hasil uji *marshally* (VMA, VIM, stabilitas, *flow*, dan MQ)
- Pada pemadatan 120°C terdapat antiklimaks dari perubahan nilai uji *Marsshall*:

Penyebab perbedaan data hasil pengujian dapat disebabkan beberapa faktor, diantaranya sebagai berikut:

- Perbedaan komposisi yang kurang presisi
- perbedaan *timing* pada saat melakukan tumbukan yang dapat mempengaruhi reaksi *rebound* pada sampel.
- Adanya perbedaan temperatur ruangan atau terjadinya fluktuasi suhu pada saat pemadatan.
- Pada saat pengukuran tinggi sampel, adanya bagian di tepi sampel yang dibuang untuk mendapatkan ketebalan di tepi dan tengah campuran yang sama.

## 5.2 Saran

Dari penelitian pengaruh variasi jumlah tumbukan terhadap pada proses pemadatan campuran aspal beton, maka dapat dikemukakan beberapa saran sebagai berikut;

1. Untuk menghasilkan keseragaman data, pada saat pengukuran perubahan deformasi pada proses pemadatan perlu dilakukan dalam rentang waktu yang sama, karena *timing* sampel mengalami *rebound* setelah menerima pemadatan tidak diketahui.
2. Menjaga sebisa mungkin suhu pada saat pencampuran, dan suhu alat bantu pemanas *mold* yaitu *thermostat* dan *bendheater* pada saat pemadatan sehingga dapat menghasilkan suhu akhir sampel yang hampir seragam.
3. Perlunya penambahan data pengamatan penelitian, banyaknya jumlah sampel akan mempengaruhi variasi hasil baik.

Untuk pengembangan penelitian berikutnya dapat dilakukan penelitian lanjutan seperti sebagai berikut:

1. Menambahkan variasi jumlah tumbukan menjadi 35x2, 50x2, 60x2, 75x2, 90x2, dan 100x2 dengan penggunaan sampel menjadi 5 sampel sehingga grafik dan data statistik yang terbentuk menjadi lebih baik.
2. Menggunakan variasi tumbukan yang sama untuk campuran gradasi senjang (HRS-WC) sehingga lebih dapat mewakili pengaruh jumlah tumbukan pada gradasi senjang sebagai pembanding untuk campuran gradasi menerus (Spek IV).



## DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute. 1983 *Asphalt Paving Manual (MS-8)*.
- Asphalt Institute. 1969. *Mix Design Methods For Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types (MS-2)*.third edition
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara Bagian:4 Aspal Batu Buton, Perkerasan Jalan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dit.Jen. Bina Marga. 1999. *No.024/T/BM/1999 Lampiran No. 2 Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Dit.Jen. Bina Marga. 1999. *No. 025/T/BM/1999 Lampiran No. 3 Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Dit.Jen. Bina Marga. 1999. *No. 76/KPTS/Db/1999 Tanggal 20 Desember 1999*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Guler, Murat. 2008. *Effects Of Mix Design Variables On Mechanical Properties Of Hot Mix Asphalt*. Journal Of Transportation Engineering © ASCE / March 2008
- Harinaldi. 2005. *Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik Dan Sains*. Jakarta : Erlangga.
- Hunter, Robert N. 1994. *Bituminous Mixtures in Road Construstion*. London: Thomas Telford.
- Laboratorium Struktur dan Material FTUI. 2009. *Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Perkerasan Jalan*. Depok: Penerbit UI Press.
- Krebs, Robert D, Walker Richard D. 1971. *Highway Materials*. USA: Mc Graw-Hill.

Park, Seong-Wan. 2001. *Analysis Of Stress-Dependent Behavior In Conventional Asphalt Pavements*. Journal Of Civil Engineering © KSCE / Dec 2001, Vol. 5 No. 4



**Universitas Indonesia**



**LAMPIRAN A**  
**PENGUJIAN MATERIAL**

---



# PEMERIKSAAN ASPAL

---

## Pemeriksaan Penetrasi Aspal

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

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, dengan beban dan waktu tertentu ke dalam bitumen pada suhu tertentu.

Prosedur :

### A. Untuk Benda Uji Sebelum Kehilangan Berat

- a. Letakkan benda uji kedalam tempat air yang kecil dan masukkan tempat air tersebut kedalam bak perendam yang telah berada pada suhu yang telah ditetapkan. Diamkan dalam bak tersebut selama 1 sampai 1,5 jam untuk benda uji kecil dan dan 1,5 sampai 2 jam untuk benda uji besar.
- b. Periksalah pemegang jarum agar jarum dapat dipasang dengan baik dan bersihkan jarum penetrasi dengan toluene atau pelarut lain kemudian keringkan jarum tersebut dengan lap bersih dan pasanglah jarum pada pemegang jarum.
- c. Letakkan pemberat 50 gr di atas jarum untuk memperoleh beban sebesar  $(100 \pm 0,1)$  gr.
- d. Pindahkan tempat air dari bak perendam ke bawah alat penetrasi.
- e. Turunkan jarum perlahan-lahan sehingga jarum tersebut menyentuh permukaan benda uji. Kemudian aturlah angka 0 di arloji penetrometer, sehingga jarum penunjuk penunjuk berimpit dengannya.
- f. Lepaskan pemegang jarum dan serentak jalankan stopwatch selama jangka waktu  $(5 \pm 0,1)$  detik.
- g. Putarlah arloji penetrometer dan bacalah angka penetrasi yang berimpit dengan jarum penunjuk. Bulatkan hingga angka 0,1 mm terdekat.
- h. Lepaskan jarum dari pemegang jarum dan siapkan alat penetrasi untuk pekerjaan berikutnya.

- i. Lakukan pekerjaan a sampai g di atas tidak kurang dari 3 kali untuk benda uji yang sama dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan berjarak satu sama lainnya dan dari tepi dinding lebih dari 1 cm.

**B. Untuk Benda Uji Setelah Kehilangan Berat.**

- a. Lakukan pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal sesuai dengan tata cara PA-0304-76 standart Bina Marga.
- b. Lakukan langkah-langkah seperti pada pemeriksaan sebelum kehilangan berat (langkah A)

**Pemeriksaan Titik Lembek Aspal**

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

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30<sup>0</sup>C hingga 200<sup>0</sup>C.

Prosedur :

- a. Pasang dan aturlah kedua benda uji diatas dudukannya dan letakkan pengarah bola diatasnya. Kemudian masukkan seluruh peralatan tersebut ke dalam bejana gelas. Isilah bejana dengan air suling baru, dengan suhu  $(5 \pm 1)^{0}C$  sehingga tinggi permukaan air berkisar antara 101,6 mm sampai 108 mm. Letakkan termometer yang sesuai pekerjaan ini diantara kedua benda uji (kurang lebih 12,7 mm dari tiap cincin).
- b. Letakkan bola-bola baja yang bersuhu 5<sup>0</sup>C di atas dan di tengah permukaan masing-masing benda uji yang bersuhu 5<sup>0</sup>C menggunakan penjepit dengan bantuan pengarah bola.
- c. Panaskan bejana dengan kecepatan pemanasan 5<sup>0</sup>C per menit. Kecepatan pemanasan ini tidak boleh diambil dari kecepatan pemanasan rata-rata dari awal dan akhir pekerjaan ini. Untuk 3 (tiga) menit berikutnya perbedaan kecepatan pemanasan per menit tidak boleh melebihi 0,5<sup>0</sup>C.

## Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

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

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

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

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

Prosedur :

- a. meletakkan cawan di atas pelat pemanas dan mengatur sumber pemanas sehingga terletak di bawah titik tengah cawan.
- b. meletakkan nyala penguji dengan poros jarak 7,5 cm dari titik tengah cawan.
- c. menempatkan termometer tegak lurus di dalam benda uji dengan jarak 6,4 mm di atas dasar cawan dan terletak pada satu garis yang menghubungkan titik tengah cawan dan titik poros nyala penguji. Kemudian mengatur sehingga poros termometer terletak pada  $\frac{1}{4}$  diameter cawan tepi.
- d. menempatkan penahan angin di depan nyala penguji.
- e. menyalakan sumber pemanas dan mengatur pemanasan sehingga kenaikan suhu menjadi  $(15 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$  per menit sampai benda uji mencapai suhu 56 °C di bawah titik nyala perkiraan.
- f. Kemudian mengatur kecepatan pemanasan 5 C per menit sampai 28 °C di bawah titik nyala perkiraan.
- g. menyalakan nyala penguji dan mengatur agar diameter nyala penguji tersebut menjadi 3,2 sampai 4,8 mm.
- h. memutar nyala penguji sehingga melalui permukaan cawan (dari tepi ke tepi cawan) dalam waktu satu detik. Dan mengulangi pekerjaan tersebut setiap kenaikan 2 °C.
- i. melanjutkan pekerjaan f dan h sampai terlihat nyala singkat pada suatu titik diatas permukaan benda uji. Kemudian membaca suhu pada termometer dan catat.
- j. melanjutkan pekerjaan i sampai terlihat nyala yang agak lama sekurang-kurangnya 5 detik di atas permukaan benda uji (aspal), kemudian membaca suhu pada termometer dan catat.

## **Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal (PA-0304-76, AASHTO T-47-82, ASTM D-6-95)**

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menetapkan kehilangan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu, yang dinyatakan dalam persen berat semula.

Prosedur :

- a. Letakkan benda uji di atas pinggan setelah oven mencapai suhu  $(163 \pm 1)^{\circ} \text{C}$ .
- b. Pasanglah thermometer padaudukannya sehingga terletak pada jarak 1,9 cm dari pinggir pinggan dengan ujung 6 mm di atas pinggan.
- c. Ambillah benda uji dari oven setelah 5 jam sampai 5 jam lebih 15 menit.
- d. Dinginkan benda uji pada suhu ruang, kemudian timbanglah dengan ketelitian 0,01 gram (B).

## **Pemeriksaan Kelarutan Bitumen (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-97)**

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar bitumen yang larut dalam Karbon Tetra Klorida ( $\text{CCl}_4$ ).

Prosedur :

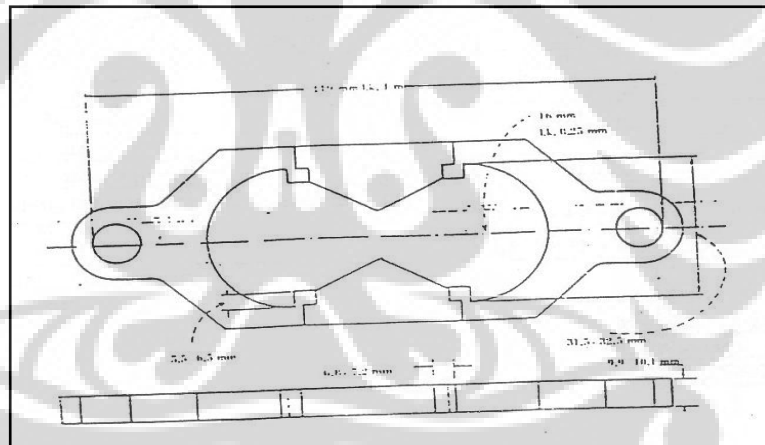
- a. Menimbang gelas ukur
- b. Memasukkan benda uji kedalam gelas ukur, kemudian ditimbang
- c. Menimbang kertas penyaring yang akan digunakan
- d. Memasukkan cairan karbon tetra klorida ( $\text{CCl}_4$ ) kedalam gelas ukur, dan diaduk perlahan-lahan hingga benda uji larut
- e. Larutan bitumen tersebut dituangkan kedalam erlemeyer melalui corong yang di atasnya diletakkan kertas penyaring
- f. Keringkan kertas penyaring, kemudian ditimbang

## Pemeriksaan Daktilitas Bahan-bahan Bitumen (PA-0306-76, AASHTO T-51-81, ASTM D-113-79)

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

Prosedur :

- a. Mendinginkan benda uji pada suhu  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  dalam bak perendam selama 85 sampai 95 menit, kemudian melepaskan benda uji dari pelat dasar dan sisi – sisi cetaknya.
- b. Memasang benda uji pada alat mesin uji dan menarik benda uji secara teratur dengan kecepatan  $5\text{ cm/menit}$  sampai benda uji putus. Perbedaan kecepatan lebih kurang 5% masih diijinkan. Membaca jarak antara pemegang cetakan, pada saat benda uji putus (dalam cm). Selama percobaan berlangsung benda selalu terendam sekurang – kurangnya  $2.5\text{ cm}$  dari air dan suhu dipertahankan tetap  $(25 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 3.1. Cetakan Benda Uji Daktilitas

## Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen (PA-0307-76, AASHTO T-228-79, ASTM D-70-03)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tertentu.

Prosedur :

- a. Isilah bejana dengan air suling sehingga diperkirakan bagian atas piknometer yang tidak terendam setinggi 40 mm. Kemudian rendam dan jepitlah bejana tersebut dalam bak perendam sekurang-kurangnya 100 mm. Aturilah suhu bak perendam pada suhu 25<sup>0</sup>C.
- b. Bersihkan, keringkan dan timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg (A).
- c. Angkatlah bejana dari bak perendam dan isilah piknometer dengan air suling kemudian tutuplah piknometer tanpa ditekan.
- d. Letakkan piknometer ke dalam bejana dan tekanlah penutup sehingga rapat, kembalikan bejana berisi piknometer ke dalam bak perendam. Diamkan bejana tersebut di dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit, kemudian angkatlah piknometer dan keringkan dengan lap (kain pel). Timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg (B).
- e. Tuanglah benda uji tersebut ke dalam piknometer yang telah kering hingga terisi  $\frac{3}{4}$  bagian.
- f. Biarkan piknometer sampai dingin, waktu tidak kurang dari 40 menit dan timbanglah dengan penutupnya dengan ketelitian 1 mg (C).
- g. Isilah piknometer yang berisi benda uji dengan air dan tutuplah tanpa ditekan, diamkan agar gelembung-gelembung udara keluar.
- h. Angkatlah bejana dari bak perendam dan letakkan piknometer di dalamnya dan kemudian tekanlah penutup hingga rapat.
- i. Masukkan dan diamkan bejana ke dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit. Angkat, keringkan dan timbanglah piknometer (D).

Perhitungan berat jenis dengan rumus :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)}$$

Dimana : A = berat piknometer (dengan penutup) (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi aspal (gram)

D = berat piknometer berisi aspal dan air (gram)

# PENGUJIAN PEMERIKSAAN 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.

Prosedur:

- a. Mengeringkan benda uji di dalam oven dengan suhu  $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$
- b. Menyaring benda uji dengan saringan yang telah disusun dengan ukuran terbesar berada di atas menggunakan mesin penggetar.

## 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.

Prosedur:

- a. Mencuci benda uji supaya terbebas dari debu dan kotoran
- b. Mengeringkan benda uji di dalam oven dengan suhu  $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$
- c. Mendinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1 – 3 jam, kemudian menimbanginya ( $B_k$ )
- d. Merendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama  $24\pm 4$  jam
- e. Mengeluarkan, lalu mengelapnya dengan kain hingga kering permukaan (*SSD*), lalu menimbanginya ( $B_j$ )
- f. Meletakkan benda uji dalam keranjang, lalu menghilangkan gelembung udara dengan cara mengguncangkannya, dan mengukur beratnya dalam air ( $B_a$ )

Perhitungan :

$$\text{Berat jenis curah (bulk specific gravity)} = \frac{B_k}{B_j - B_a}$$



$$\text{Berat jenis kering permukaan (SSD)} = \frac{B_j}{B_j - B_a}$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent specific gravity)} = \frac{B_k}{B_k - B_a}$$

$$\text{Persentasi absorpsi} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Dimana : B<sub>k</sub> = berat benda uji oven dry (gr)

B<sub>j</sub> = berat benda uji SSD (gr)

B<sub>a</sub> = 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.

Prosedur:

- Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu (110±5)°C sampai berat tetap. Dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama (24±4) jam.
- Membuang air perendam hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, menebarkan agregat di atas talam, mengeringkan di udara panas dengan cara membalik-balikan benda uji. Melakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.
- Memeriksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung, memadatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh, akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh, memasukan 500 gram benda uji ke dalam piknometer. Juga memasukan air suling sampai 90% isi piknometer, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya.
- Merendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25°C.

- f. Menambahkan air sampai tanda batas.
- g. Menimbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (Bt).
- h. Mengeluarkan benda uji, mengeringkannya dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
- i. Menimbang benda uji setelah dingin (Bk)
- j. Menentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air guna penyesuaian terhadap suhu standar  $25^\circ\text{C}$  (B).

Perhitungan :

$$\text{Berat jenis curah (bulk specific gravity)} = \frac{Bk}{B+500-Bt}$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan (SSD)} = \frac{500}{B+500-Bt}$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent specific gravity)} = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$$

$$\text{Persentasi absorpsi} = \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\%$$

Dimana : Bk = berat benda uji oven dry (gr)

B = berat piknometer berisi air (gr)

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gr)

500 = berat benda uji dalam keadaan SSD (gr)

# METODE PENGUJIAN MARSHALL

## (PC-0201 - 1976, AASHTO T-245-82, ASTM D-1559-76)

---

### Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini adalah

- a. 3 buah cetakan benda uji yang berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3") lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
- b. Alat pengeluar benda uji. Untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan benda uji dipakai sebuah alat ejector.
- c. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg (10 pound), dan tinggi jauh lebih bebas 45,7 cm (18").
- d. Landasan pemadat terdiri dari balok kayu (jati atau yang sejenis) berukuran kira-kira 20x20x45 cm (8"x8"x18") yang dilapisi dengan pelat baja berukuran 30x30x2,5 cm (12"x12"x1") dan kaitkan pada lantai beton dengan 4 bagian siku.
- e. Silinder cetakan benda uji.
- f. Mesin tekan lengkap dengan :
  - Kepala penekan berbentuk lengkung (breaking head).
  - Cincin penguji yang berkapasitas 2500 kg (5000 pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound) dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001").
  - Arloji kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01") dengan perlengkapannya.
- g. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai  $(200\pm 3)^{\circ}\text{C}$ .
- h. Bak perendam (waterbath) dilengkapi dengan pengatur suhu minimum  $20^{\circ}\text{C}$ .
- i. Perlengkapan lain:
  - Panci-panci untuk memanaskan agregat aspal dan campuran aspal.

- Pengukur suhu dari logam (metal thermometer) berkapasitas 250°C dan 100°C dengan ketelitian 0,5 atau 1 % dari kapasitas.
- Timbangan yang dilengkapi penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
- Kompor .
- Sarung asbes dan karet.
- Sendok pengaduk dan perlengkapan lain.

## Benda Uji

### a. Persiapan benda uji :

- Keringkan agregat, sampai beratnya tetap pada suhu  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ .
- Pisah-pisahkan agregat dengan cara penyaringan kering kedalam fraksi-fraksi yang dikehendaki atau seperti berikut ini:
  - 1” sampai  $\frac{3}{4}$ ”
  - $\frac{3}{4}$ ” sampai  $\frac{3}{8}$ ”
  - $\frac{3}{8}$ ” sampai No 4 (4,76 mm)
  - No 4 sampai No 8 (2,38 mm)
  - Lewat saringan No 8

### b. Penentuan suhu pencampuran dan pematatan

Suhu pencampuran dan pematatan harus ditentukan sehingga bahan pengikat yang dipakai menghasilkan viskositas seperti di bawah.

**Tabel Viskositas Penentu Suhu**

Bahan Pengikat	Campuran			Pematatan		
	Kinematik	Saybolt Furol	Engler	Kinematik	Saybolt Furol	Engler
	C. St	Det S. F.		C. St	Det S. F.	
Aspal Panas	$170 \pm 20$	$85 \pm 10$		$280 \pm 30$	$140 \pm 15$	
Aspal Dingin	$170 \pm 20$	$85 \pm 10$		$280 \pm 30$	$140 \pm 15$	
Tar			$25 \pm 3$			$40 \pm 5$

### c. Persiapan pencampuran

- Untuk tiap benda uji diperlukan agregat sebanyak  $\pm 1000$  gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 6,25 cm  $\pm 0,125$  (2,5"  $\pm 0,05$ ").
- Panaskan panci pencampur beserta agregat kira-kira  $\pm 28^{\circ}\text{C}$  diatas suhu pencampur untuk aspal panas dan tar dan aduk sampai merata, untuk aspal dingin pemanasan sampai  $14^{\circ}\text{C}$  diatas suhu pencampuran.
- Sementara itu panaskan aspal sampai suhu pencampuran. Tuangkan aspal sebanyak yang dibutuhkan ke dalam aggregate yang sudah dipanaskan tersebut. Kemudian aduklah dengan cepat pada suhu sesuai dengan tabel sampai aggregate terlapis merata.

d. Pemasakan benda uji

- Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara  $93,3^{\circ}\text{C}$  dan  $148,9^{\circ}\text{C}$ .
- Letakkan selembar kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting menurut ukuran cetakan kedalam dasar cetakan, kemudian masukkan seluruh campuran kedalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran keras-keras dengan spatula yang dipanaskan atau aduklah dengan sendok semen 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali dibagian dalam.
- Lepaskan lehernya, dan ratakanlah permukaan campuran dengan mempergunakan sendok semen menjadi bentuk yang sedikit cembung. Waktu akan dipadatkan suhu campuran harus dalam batas-batas suhu pematatan seperti yang disebut dalam tabel 1.
- Letakkan cetakan diatas landasan pematat, dalam pemegang cetakan. Lakukan dengan tinggi jatuh 45 cm (18"), selama pematatan tahanlah agar sumbu palu pematat selalu tegak lurus pada cetakan. Lepaskan keeping alas dan lehernya baliklah alat cetak berisi benda uji dan pasang kembali lehernya dibalik ini tumbuklah dengan jumlah tumbukan yang sama.
- Sesudah pematatan, lepaskan keeping alas dan pasanglah alat pengeluar benda uji pada permukaan ujung ini.
- Dengan hati-hati keluarkan dan letakkan benda uji diatas permukaan rata yang halus, biarkan selama kira-kira 24 jam pada suhu ruang.

## Prosedur Pengetesan alat *Marshall*

Prosedur yang dilakukan pada percobaan ini adalah:

- a. Bersihkan benda uji dari kotoran-kotoran yang menempel.
- b. Berilah tanda pengenal pada masing-masing benda uji.
- c. Ukur benda uji dengan ketelitian 0,1 mm.
- d. Timbang benda uji.
- e. Rendam kira-kira 24 jam pada suhu ruang.
- f. Timbang dalam air untuk mendapatkan isi.
- g. Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh.
- h. Rendam benda uji dalam kondisi aspal panas dalam bak perendam selama 30 sampai 40 menit atau panaskan didalam oven selama 2 jam dengan suhu tetap  $(60\pm 1)^{\circ}\text{C}$  untuk benda uji aspal panas dan  $(38\pm 1)^{\circ}\text{C}$  untuk benda uji tar.

Untuk benda uji aspal dingin masukkan benda uji kedalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap  $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ .

Sebelum melakukan pengujian bersihkan batang penuntun (*guide rod*) dan permukaan dalam dari kepala penekan (*test heads*). Lumasi batang penuntun sehingga kepala penekan yang atas dapat meluncur bebas, bila dikehendaki kepala penekan direndam bersama-sama benda uji pada suhu antara 21 sampai 38°C.

Keluarkan benda uji dari bak perendam atau dari oven pemanas udara dan letakkan kedalam segmen bawah kepala penekan. Pasang segmen atas diatas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji. Pasang arloji kelelahan (*flow meter*) pada kedudukannya diatas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan (*breaking head*). Tekan selubung tangkai arloji selama pembebanan berlangsung.

- i. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji. Atur kedudukan jarum arloji tekan pada angka nol.
- j. Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sebesar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan

menurut seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum yang dicapai.

- k. Lepaskan selubung tangkai arloji kelelahan (*sleeve*) pada saat pembebanan mencapai maksimum dan catat nilai kelelahan yang ditunjukkan oleh jarum arloji. Waktu yang diperlukan dan saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.





## 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)

### PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Pengirim : PT. Utama Prima (AMP) Jenis Contoh : Aspal Keras  
Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Aspal SHELL 60/70  
Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

#### JENIS PEMERIKSAAN

- I. PENETRASI PADA 25°C, 5 DETIK, 100 gram
- II. PENETRASI SETELAH KEHILANGAN BERAT PADA 25°C, 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

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

PERSENTASE DARI PENETRASI SEBELUMNYA 0,17

Dikerjakan oleh : albertus wahyu & dicky pratama  
Tanggal : 29 April 2010 – 30 April 2010

Diperiksa/disetujui  
Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA



**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL**

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

**BERAT JENIS BITUMEN**

Pengirim : PT. Utama Prima (AMP)  
Proyek : Penelitian Skripsi  
Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

Jenis Contoh : Aspal Keras  
Sumber Contoh : Aspal SHELL 60/70

Proses	Waktu		Suhu
	Mulai	Selesai	
Pemanasan			
Pendinginan			
Perendaman			
Pemeriksaan			

## PEMERIKSAAN

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	

Dikerjakan oleh : dicky pratama  
Tanggal : 27 April 2010

Diperiksa/disetujui  
Kepala Laboratorium

**Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA**



## LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

### BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

Pengirim : PT. Utama Prima (AMP) Jenis Contoh : Agregat Halus  
Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Gn. Sindur  
Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

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

$$\text{Bulk SG} = \frac{Bk}{B + 500 - Bt} = 2,61905$$

$$\text{SSD. SG} = \frac{500}{B + 500 - Bt} = 2,6455$$

$$\text{APP. SG} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt} = 2,69022$$

$$\text{WATER ABSORPTION} = \frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\% = 1,0101$$

Dikerjakan oleh : albertus wahyu & dicky pratama  
Tanggal : 28 – 29 April 2010

Diperiksa/ditetujui  
Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA



## LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

### PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Pengirim : PT. Utama Prima (AMP)  
Proyek : Penelitian Skripsi  
Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

Jenis Contoh : Aspal Keras  
Sumber Contoh : Aspal SHELL 60/70

PEMERIKSAAN I		
No	Waktu	Suhu (°C)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

PEMERIKSAAN II		
No	Waktu	Suhu (°C)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

#### TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR

I. 52,2 52,4  
II. 52 53,2

TEMPERATUR TITIK LEMBEK (RING & BALL) RATA-RATA : 52,45

Dikerjakan oleh : satabrasyahdin  
Tanggal : 28 April 2010

Diperiksa/disetujui  
Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL**

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

**KELARUTAN BITUMEN ASPAL PADA KARBON TETRAKLORIDA**

Pengirim : PT. Utama Prima (AMP)  
Proyek : Penelitian Skripsi  
Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

Jenis Contoh : Aspal Keras  
Sumber Contoh : Aspal SHELL 60/70

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 II	NOTASI	BERAT
		gram
Berat Tabung Erlenmeyer	A	
Berat Tabung Erlenmeyer + Benda Uji	B	
Berat Kertas Saring	C	
Berat Kertas Saring + Endapan	D	
Kadar Kelarutan (%)		

Kadar Kelarutan rata-rata : 99,75 %

Dikerjakan oleh : dicky pratama  
Tanggal : 27 April 2010

Diperiksa/disetujui  
Kepala Laboratorium

**Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA**

**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL**

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

**ANALISA BUTIRAN (WASH GRADING)**

Pengirim : PT. Utama Prima (AMP)  
Proyek : Penelitian Skripsi  
Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

Jenis Contoh : Agregat  
Sumber Contoh : Gn. Sindur

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
		<b>1998</b>	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
		<b>2005</b>	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
		<b>1000</b>	100,00	

Dikerjakan oleh : albertus wahyu  
Tanggal : 27 April 2010

Diperiksa/disetujui  
Kepala Laboratorium

**Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA**





**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL**

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

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

Pengirim : PT. Utama Prima (AMP)  
Proyek : Penelitian Skripsi  
Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

Jenis Contoh : Aspal Keras  
Sumber Contoh : Aspal SHELL 60/70

No	Waktu	Suhu (°C)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

No	Waktu	Suhu (°C)
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		

TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA SINGKAT (TITIK NYALA) :

332°C

TEMPERATUR PADA SAAT TERLIHAT NYALA MIN 5 DETIK (TITIK BAKAR) :

345°C

Dikerjkan oleh : albertus wahyu & satabrasyahdin  
Tanggal : 29 April 2010

Diperiksa/disetujui  
Kepala Laboratorium

**Dr. Ir. Elly Tiahiono, DEA**

**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)

**DAKTILITAS BAHAN-BAHAN BITUMEN**

Pengirim : PT. Utama Prima (AMP)  
Proyek : Penelitian Skripsi  
Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

Jenis Contoh : Aspal Keras  
Sumber Contoh : Aspal SHELL 60/70

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

No	Waktu	jarak (mm)
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		

DAKTILITAS RATA-RATA : 51,7 mm/ menit

Dikerjakan oleh : albertus wahyu & satabrasyahdin  
Tanggal : 28 April 2010

Diperiksa/disetujui  
Kepala Laboratorium

**Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA**





## LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

### BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR & MEDIUM

Pengirim : PT. Utama Prima (AMP) Jenis Contoh : Agregat Kasar  
Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Gn. Sindur  
Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

		kasar	med
B <sub>j</sub>	= BERAT CONTOH SSD DI UDARA	5066	5092 gr
B <sub>a</sub>	= BERAT CONTOH SSD DI DALAM AIR	3068	3095 gr
B <sub>k</sub>	= BERAT CONTOH KERING OVEN	5000	5000 gr
BULK SP GRAVITY	$= \frac{B_k}{B_j - B_a}$	= 2,502503	2,50375563
SSD. SG	$= \frac{B_j}{B_j - B_a}$	= 2,535536	2,54982474
APP. SG	$= \frac{B_k}{B_k - B_a}$	= 2,587992	2,62467192
WATER ABSORPTION	$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	1,32	1,84

Dikerjkan oleh : albertus wahyu & dicky pratama

Tanggal : 28 April 2010

Diperiksa/disetujui

Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA



## LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

### BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR & MEDIUM

Pengirim : PT. Utama Prima (AMP) Jenis Contoh : Agregat Kasar  
Proyek : Penelitian Skripsi Sumber Contoh : Gn. Sindur  
Lokasi : Lab. Struktur dan Material DTS FTUI

		kasar	med
B <sub>j</sub>	= BERAT CONTOH SSD DI UDARA	5066	5092 gr
B <sub>a</sub>	= BERAT CONTOH SSD DI DALAM AIR	3068	3095 gr
B <sub>k</sub>	= BERAT CONTOH KERING OVEN	5000	5000 gr
BULK SP GRAVITY	$= \frac{B_k}{B_j - B_a}$	= 2,502503	2,50375563
SSD. SG	$= \frac{B_j}{B_j - B_a}$	= 2,535536	2,54982474
APP. SG	$= \frac{B_k}{B_k - B_a}$	= 2,587992	2,62467192
WATER ABSORPTION	$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	1,32	1,84

Dikerjkan oleh : albertus wahyu & dicky pratama

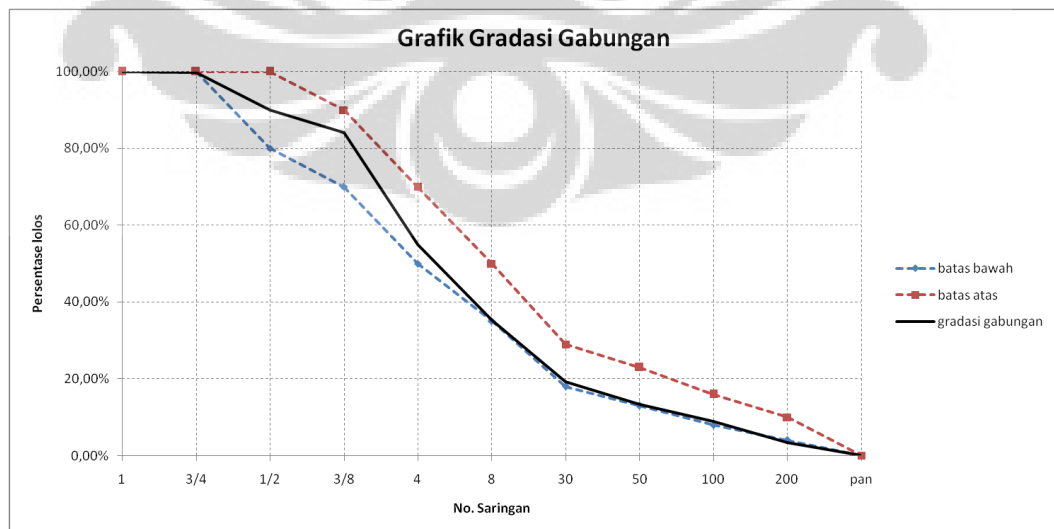
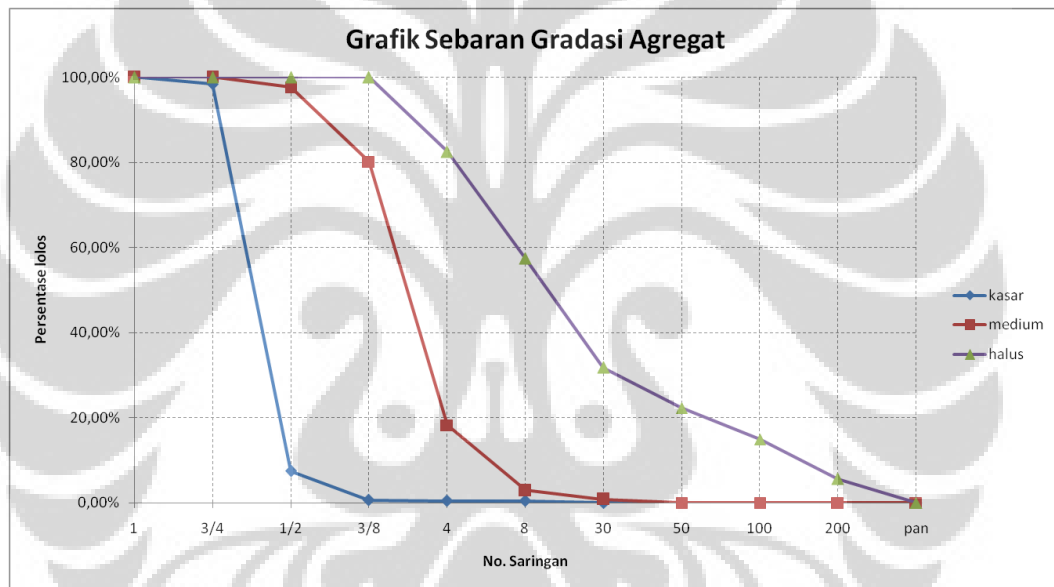
Tanggal : 28 April 2010

Diperiksa/disetujui

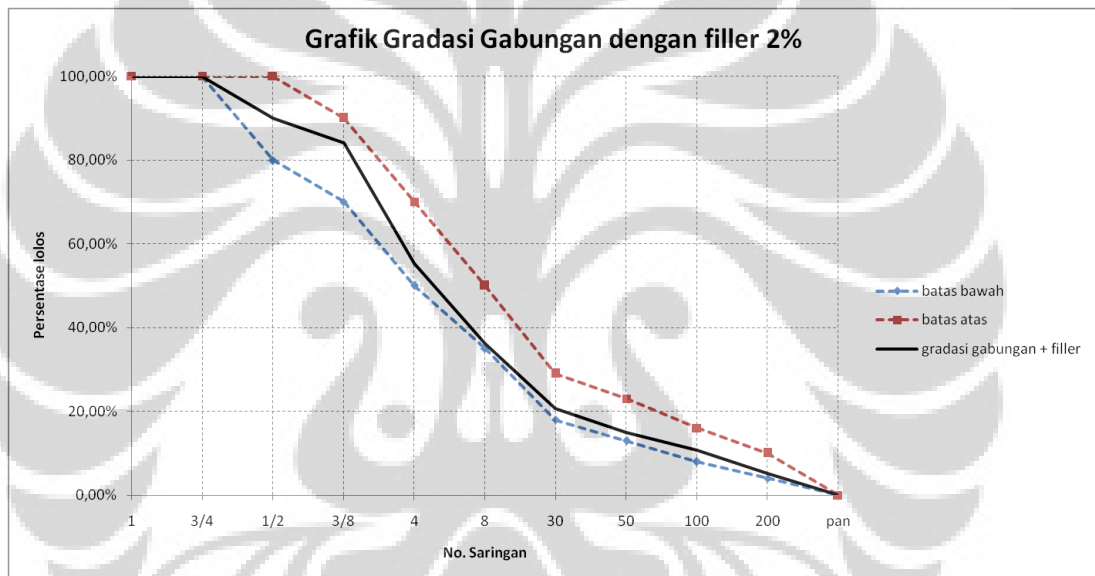
Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

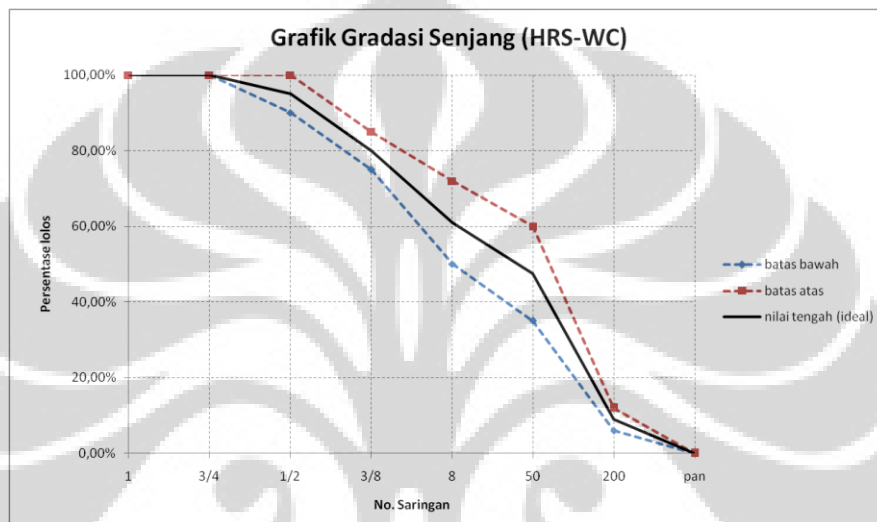
Saringan No.	Agregat Kasar		Agregat Medium		Agregat Halus		Total	Spek IV
	100%	10	100%	30	100%	60		
3/4	98,40	9,83984	100	30	100	60	99,83983984	100
1/2	7,46	0,745746	97,66	29,29676	100	60	90,04250385	80 - 100
3/8	0,65	0,065065	80,15	24,04489	100	60	84,10995285	70 - 90
4	0,40	0,04004	18,25	5,476309	82,50	49,5	55,01634927	50 - 70
8	0,40	0,04004	2,89	0,86783	57,40	34,44	35,34787046	35 - 50
30	0,00	0	0,80	0,239401	31,80	19,08	19,3194015	18 - 29
50	0	0	0,00	0	22,30	13,38	13,38	13 - 23
100	0	0	0	0	14,90	8,94	8,94	8 - 16
200	0	0	0	0	5,60	3,36	3,36	4 - 10
pan	0	0	0	0				



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	99,83983984	100
1/2	7,46	0,745746	97,66	29,29676	100	58	100	2	90,04250385	80 - 100
3/8	0,65	0,065065	80,15	24,04489	100	58	100	2	84,10995285	70 - 90
4	0,40	0,04004	18,25	5,476309	82,50	48	100	2	55,36634927	50 - 70
8	0,40	0,04004	2,89	0,86783	57,40	33	100	2	36,19987046	35 - 50
30			0,80	0,239401	31,80	18	100	2	20,6834015	18 - 29
50					22,30	13	100	2	14,934	13 - 23
100					14,90	8,6	100	2	10,642	8 - 16
200					5,60	3,2	100	2	5,248	4 - 10



saringan	ukuran (mm)	Batas atas	Batas bawah	nilai tengah (lolos ideal)
1	25,4	100,00%	100,00%	100,00%
3/4	19,1	100,00%	100,00%	100,00%
1/2	12,7	100,00%	90,00%	95,00%
3/8	9,52	85,00%	75,00%	80,00%
8	2,38	72,00%	50,00%	61,00%
50	0,279	60,00%	35,00%	47,50%
200	0,074	12,00%	6,00%	9,00%
pan	0	0	0	0





### SPESIFIKASI BENDA UJI MARSHALL

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

Benda uji	Diameter (cm)	Tinggi (cm)				W <sub>kering udara</sub> (gram)	W <sub>dalam air</sub> (gram)	W <sub>jenuh</sub> (gram)	
		1	2	3	rata-rata				
110C;50;M	1	10	67,27	67,43	67,68	67,46	1176,00	659,50	1189,00
	2	10	66,86	66,90	66,84	66,87	1162,50	680,00	1181,00
	3	10	65,52	65,42	65,82	65,59	1163,00	675,50	1184,50
110C;60;M	1	10	65,80	65,90	66,75	66,15	1175,50	659,50	1185,00
	2	10	65,83	65,40	65,16	65,46	1176,00	661,00	1188,00
	3	10	66,35	66,92	66,65	66,64	1184,00	664,00	1194,50
110C;75;M	1	10	65,90	65,78	66,14	65,94	1170,00	665,50	1174,50
	2	10	64,70	64,67	64,39	64,59	1170,00	661,50	1177,00
	3	10	65,55	65,71	65,60	65,62	1169,50	661,50	1174,00
110C;90;M	1	10	64,04	64,71	64,74	64,50	1171,00	664,50	1183,00
	2	10	62,19	62,63	62,03	62,28	1173,50	676,50	1179,00
	3	10	63,74	63,85	64,08	63,89	1174,00	665,50	1181,50
120C;50;M	1	10	64,85	65,88	64,65	65,13	1171,00	658,50	1181,00
	2	10	65,53	65,82	66,04	65,80	1173,50	655,50	1182,50
	3	10	64,53	67,06	66,28	65,96	1169,00	658,00	1189,00
120C;60;M	1	10	67,22	67,37	67,59	67,39	1185,50	666,00	1192,50
	2	10	66,57	66,20	66,50	66,42	1172,50	661,50	1180,00
	3	10	60,18	66,93	66,22	64,44	1173,00	657,00	1179,50
120C;75;M	1	10	62,57	62,87	63,13	62,86	1161,50	661,50	1166,50
	2	10	64,47	63,98	65,45	64,63	1170,00	665,50	1180,00
	3	10	65,12	64,67	64,88	64,89	1169,00	660,50	1178,50
120C;90;M	1	10	61,99	61,87	61,77	61,88	1160,00	663,00	1163,50
	2	10	62,41	62,19	62,26	62,29	1176,00	646,00	1183,50
	3	10	62,34	61,79	62,41	62,18	1175,50	659,50	1182,00
110C;50;S	1	10	65,31	65,48	66,56	65,78	1178,00	650,50	1186,50
	2	10	65,23	64,96	64,97	65,05	1182,50	659,50	1190,00
	3	10	66,61	66,45	65,88	66,31	1180,00	659,00	1187,00
110C;90;S	1	10	64,43	63,36	64,30	64,03	1175,00	1178,00	665,50
	2	10	63,44	65,74	63,77	64,32	1177,00	1180,50	664,00
	3	10	63,67	64,45	64,73	64,28	1176,50	1181,00	664,00



**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 pemadatan : 110°C

suhu percobaan : 60°C

berat jenis aspal : 1,02535

berat jenis agregat efektif : 2,62371

**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)
110C;50;M	1	5,85	67,46	1176,00	1189,00	659,50	529,50	2,22	2,40	12,67	79,70	7,63	20,30	62,41	7,46	58,00	1334,82	0,877	1170,47	3,90	300,12
	2	5,85	66,87	1162,50	1181,00	680,00	501,00	2,32	2,40	13,24	83,26	3,50	16,74	79,10	3,32	41,00	943,58	0,888	837,72	3,80	220,45
	3	5,85	65,59	1163,00	1184,50	675,50	509,00	2,28	2,40	13,04	81,99	4,97	18,01	72,39	4,80	42,00	966,59	0,930	898,93	3,80	236,56
	rata-rata												18,35		5,19				969,04	3,83	252,38
110C;60;M	1	5,85	66,15	1175,50	1185,00	659,50	525,50	2,24	2,40	12,76	80,27	6,97	19,73	64,69	6,80	62,00	1426,87	0,911	1299,65	3,20	406,14
	2	5,85	65,46	1176,00	1188,00	661,00	527,00	2,23	2,40	12,73	80,08	7,19	19,92	63,90	7,02	54,00	1242,76	0,930	1155,77	3,70	312,37
	3	5,85	66,64	1184,00	1194,50	664,00	530,50	2,23	2,40	12,73	80,09	7,18	19,91	63,95	7,01	50,00	1150,71	0,911	1048,10	3,20	327,53
	rata-rata												19,86		6,94				1167,84	3,37	348,68
110C;75;M	1	5,85	65,94	1170,00	1174,50	665,50	509,00	2,30	2,40	13,11	82,48	4,40	17,52	74,87	4,22	69,00	1587,97	0,911	1446,38	3,70	390,91
	2	5,85	64,59	1170,00	1177,00	661,50	515,50	2,27	2,40	12,95	81,44	5,61	18,56	69,79	5,43	66,00	1518,93	0,960	1458,17	3,05	478,09
	3	5,85	65,62	1169,50	1174,00	661,50	512,50	2,28	2,40	13,02	81,89	5,09	18,11	71,87	4,92	71,00	1634,00	0,930	1519,62	3,60	422,12
	rata-rata												18,06		4,86				1474,72	3,45	430,37
110C;90;M	1	5,85	64,50	1171,00	1183,00	664,50	518,50	2,26	2,40	12,89	81,04	6,07	18,96	67,97	5,90	67,00	1541,95	0,960	1480,27	3,20	462,58
	2	5,85	62,28	1173,50	1179,00	676,50	502,50	2,34	2,40	13,32	83,80	2,87	16,20	82,25	2,69	93,00	2140,31	1,040	2225,92	3,20	695,60
	3	5,85	63,89	1174,00	1181,50	665,50	516,00	2,28	2,40	12,98	81,64	5,38	18,36	70,72	5,20	73,00	1680,03	1,000	1680,03	3,40	494,13
	rata-rata												17,84		4,60				1795,41	3,27	550,77



**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 pemadatan : 110°C

suhu percobaan : 60°C

berat jenis aspal : 1,02535

berat jenis agregat efektif : 2,62371

**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)
120C;50;M	1	5,85	65,13	1171,00	1181,00	658,50	522,50	2,24	2,40	12,79	80,42	6,79	19,58	65,31	6,62	71,00	1634,00	0,930	1519,62	3,90	389,65
	2	5,85	65,80	1173,50	1182,50	655,50	527,00	2,23	2,40	12,70	79,91	7,39	20,09	63,22	7,22	63,00	1449,89	0,930	1348,40	3,20	421,37
	3	5,85	65,96	1169,00	1189,00	658,00	531,00	2,20	2,40	12,56	79,00	8,44	21,00	59,81	8,27	70,00	1610,99	0,911	1467,34	3,40	431,57
	rata-rata												20,22		7,37				1445,12	3,50	414,20
120C;60;M	1	5,85	67,39	1185,50	1192,50	666,00	526,50	2,25	2,40	12,85	80,80	6,35	19,20	66,91	6,18	56,00	1288,79	0,878	1131,32	2,85	396,95
	2	5,85	66,42	1172,50	1180,00	661,50	518,50	2,26	2,40	12,90	81,15	5,95	18,85	68,43	5,78	69,00	1587,97	0,911	1446,38	3,40	425,41
	3	5,85	64,44	1173,00	1179,50	657,00	522,50	2,24	2,40	12,81	80,56	6,63	19,44	65,88	6,46	68,00	1564,96	0,960	1502,36	3,90	385,22
	rata-rata												19,17		6,14				1360,02	3,38	402,53
120C;75;M	1	5,85	62,86	1161,50	1166,50	661,50	505,00	2,30	2,40	13,12	82,53	4,34	17,47	75,13	4,17	84,00	1933,19	1,040	2010,51	3,60	558,48
	2	5,85	64,63	1170,00	1180,00	665,50	514,50	2,27	2,40	12,97	81,60	5,42	18,40	70,52	5,25	71,00	1634,00	0,960	1568,64	3,30	475,35
	3	5,85	64,89	1169,00	1178,50	660,50	518,00	2,26	2,40	12,88	80,98	6,14	19,02	67,70	5,97	76,00	1749,07	0,960	1679,11	3,25	516,65
	rata-rata												18,29		5,13				1752,75	3,38	516,82
120C;90;M	1	5,85	61,88	1160,00	1163,50	663,00	500,50	2,32	2,40	13,22	83,17	3,61	16,83	78,56	3,43	96,00	2209,35	1,090	2408,20	2,75	875,71
	2	5,85	62,29	1176,00	1183,50	646,00	537,50	2,19	2,40	12,48	78,51	9,01	21,49	58,09	8,84	82,00	1887,16	1,040	1962,64	2,70	726,90
	3	5,85	62,18	1175,50	1182,00	659,50	522,50	2,25	2,40	12,84	80,73	6,43	19,27	66,61	6,26	78,00	1795,10	1,040	1866,90	2,90	643,76
	rata-rata												19,20		6,18				2079,25	2,78	748,79





**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 pemadatan : 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 (mm)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (ml)	g (gr/ml)	h (gr/ml)	i	j	k (%)	l (%)	m (%)	n (%)	o	p	Korelasi Tinggi	q (kg)	r (mm)	s (kg/mm)
110C;50;S	1	5,85	65,78	1178,00	1186,50	650,50	536,00	2,20	2,40	12,54	78,87	8,60	21,13	59,33	8,43	64,00	1472,90	0,930	1369,80	3,35	408,90
	2	5,85	65,05	1182,50	1190,00	659,50	530,50	2,23	2,40	12,72	79,99	7,30	20,01	63,55	7,12	73,00	1680,03	0,960	1612,83	3,80	424,43
	3	5,85	66,31	1180,00	1187,00	659,00	528,00	2,23	2,40	12,75	80,20	7,05	19,80	64,38	6,88	71,00	1634,00	0,911	1488,30	3,30	451,00
	rata-rata												20,32		7,48				1490,31	3,48	428,11
110C;90;S	1	6,9	64,03	1175,00	1178,00	665,50	512,50	2,29	2,36	15,43	81,35	3,22	18,65	82,74	2,97	84,00	1933,19	0,960	1855,86	3,80	488,38
	2	6,9	64,32	1177,00	1180,50	664,00	516,50	2,28	2,36	15,33	80,86	3,80	19,14	80,12	3,56	80,00	1841,13	0,960	1767,48	3,70	477,70
	3	6,9	64,28	1176,50	1181,00	664,00	517,00	2,28	2,36	15,31	80,75	3,94	19,25	79,55	3,69	81,00	1864,14	0,960	1789,58	3,40	526,35
	rata-rata												19,01		3,41				1804,31	3,63	497,48

**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 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)

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

***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	-	-	-	-	

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

***Berat Jenis Teoritis 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

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

**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 <sub>kering udara</sub> (gram)	W <sub>dalam air</sub> (gram)	W <sub>jenuh</sub> (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 = kelelehan (mm)

s = nilai marshall = stabilitas/kelelehan

s = q/r (kg/mm)

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

***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	

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

***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

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



**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 pemadatan : 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 Tinggi	q (kg)	r (mm)	s (kg/mm)
		(%)	(mm)	(gram)	(gram)	(gram)	(ml)	(gr/ml)	(gr/ml)			(%)	(%)	(%)	(%)						
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



**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 <sub>kering udara</sub> (gram)	W <sub>dalam air</sub> (gram)	W <sub>jenuh</sub> (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 = kelelehan (mm)

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

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

***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	2,62	1,0253542	2,43
5,5	94,5			2,41
6	94			2,39
6,5	93,5			2,38
7	93			2,36
7,5	92,5			2,34

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





**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 pemadatan : 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	



tumbukan	MENERUS SAMPEL 1 (110°C)				MENERUS SAMPEL 2 (110°C)				MENERUS SAMPEL 3 (110°C)			
	50x2 (mm)	60x2 (mm)	75x2 (mm)	90x2 (mm)	50x2 (mm)	60x2 (mm)	75x2 (mm)	90x2 (mm)	50x2 (mm)	60x2 (mm)	75x2 (mm)	90x2 (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	7,69	6,44	9,873333	8,08	8,506667	8,116667	8,156667	8,94	11,12333	7,343333	9,873333	9,753333
10	9,33	8,17	12,09667	10,19333	11,03333	10,62667	10,35667	11,89333	13,51333	9,696667	10,14333	10,78333
15	11,20333	9,303333	13,48	11,10333	12,08333	12,11333	12,1	13,20667	14,95	10,91333	10,95667	11,94
20	12,18667	10,64667	14,77333	12,37667	13,57667	13,51667	13,17333	14,16	15,97333	12,14333	11,21333	13,30333
25	13,07333	11,6	15,56667	13,25667	14,48667	14,41667	13,90667	15,18333	17,42667	13,04333	11,02333	14,57333
30	13,41667	12,15667	16,36333	13,63667	15,41333	14,98667	14,49667	15,46333	18,31	13,62667	11,35667	14,74667
35	14,26667	12,56667	16,77333	14,39667	16,02333	15,55333	15,26	15,93667	19,54	14,20333	11,64667	15,37
40	14,37	13,12333	17,16667	14,62667	16,76333	15,82	15,40333	16,63	20,19333	14,72667	11,96333	15,64333
45	14,95	13,89	17,61	15,06333	17,29333	16,17333	16,56	16,79333	20,63	15,05667	13,14	16
50	15,25667	13,71333	18,3	15,25	17,80333	16,65667	16,12333	17,25	20,91	15,45333	13,95667	16,29667
55	16,4	14,02	18,35333	15,41	17,96333	17,03333	16,9	17,69	19,76	15,78667	14,15333	16,50333
60	16,70667	14,42333	19,09	15,88	17,37333	17,53333	17,06333	17,87333	20,56667	15,94333	14,49	16,59
65	17,14	14,66667	19,02	16,3	17,49333	17,35	17,25667	18,2	20,41	16,47333	15,01333	16,79667
70	17,20333	14,94	19,03667	16,41	18,08667	17,98	17,88667	18,21667	20,56333	16,54333	15,99	16,87333
75	17,50333	15,23667	18,84333	16,45	18,33	18,33	17,68333	18,50333	21,13	17,05667	16,36	17,40333
80	17,56333	15,54	19,14667	16,96333	18,64333	18,48	17,82667	18,76333	21,44	17,43	16,78333	17,72333
85	17,82333	16,01	19,67667	16,92	18,61333	18,82333	18,52333	17,97	21,92333	17,60333	17,26667	18,05
90	17,89667	15,99333	19,76333	17,06333	19,10667	18,98333	18,67333	18,18667	21,88667	17,86	17,58333	18,65667
95	18,24667	16,16333	20,06	17,12	19,33667	19,60667	18,79667	18,84667	22,12333	17,95667	17,86333	18,60333
100	18,37	16,24	20,33333	17,84333	19,37333	19,47333	19,25667	19,49	22,05333	18,09333	18,96667	18,92667
105		16,55	20,95	17,90333		19,69	19,27333	19,63		18,22667	19,25333	18,45667
110		16,44	20,95	17,90333		19,71	19,27333	19,63		18,40667	19,25333	18,59333
115		16,61333	20,76	17,88		20,08333	19,47667	19,78333		18,46667	19,61333	18,98333
120		16,69333	20,69667	17,96		20,13333	19,68667	20,15667		18,69333	19,84667	18,92667
125			20,74333	18,34			20,16	20,19667			20,01667	19,1
130			21,19667	18,31333			19,85667	20,34667			20,17	19,17667
135			21,54	18,30667			19,96333	20,49667			21,54	19,42667
140			21,28333	18,7			20,42667	20,44667			21,28333	19,43667
145			21,61667	18,99667			20,24667	20,46667			21,61667	19,66
150			21,91	18,92667			20,35333	20,85333			21,91	19,9
155				19,02333				20,86333				20,16
160				19,28667				20,97				20,14
165				19,36				20,73				20,44333
170				19,44667				21,12333				20,59333
175				19,61667				21,00333				20,72
180				19,65333				21,13333				20,82667

tumbukan	MENERUS SAMPEL 1 (120°C)				MENERUS SAMPEL 2 (120°C)				MENERUS SAMPEL 3 (120°C)			
	50x2 (mm)	60x2 (mm)	75x2 (mm)	90x2 (mm)	50x2 (mm)	60x2 (mm)	75x2 (mm)	90x2 (mm)	50x2 (mm)	60x2 (mm)	75x2 (mm)	90x2 (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5,39	8,07	7,266667	9,973333	6,126667	6,11	10,54667	9,723333	6,466667	7,953333	9,26	11,67667
10	7,853333	10,33333	9,126667	12,14	7,483333	8,486667	12,54333	12,21667	8,43	10,43667	11,92667	14,11667
15	9,203333	11,91	11,00667	13,50333	9,646667	9,88	13,89667	13,54	9,35	12,01	13,47333	15,18667
20	10,03667	13,08667	11,83667	14,51333	10,27667	11,06333	15,17333	14,61667	10,46667	13,05333	14,45	15,72333
25	10,71	13,71667	12,33	15,57	10,96667	11,62333	15,71333	15,77333	10,61667	13,92333	14,60667	16,12333
30	11,25333	14,45	13,29667	15,85	11,45333	12,38667	16,29667	16,14667	11,96	14,75333	15,24333	16,49
35	11,96667	14,98333	13,62	16,50667	12,10333	12,91667	17,14333	16,86333	12,44	15,17333	16,31667	17,21
40	12,57333	15,61	13,93667	17,1	12,54667	13,41	17,35667	17,25667	12,87	15,71667	16,33333	17,73667
45	12,84	16,04333	14,31333	17,41667	13,1	13,92	17,95667	17,76667	13,22	16,15667	16,68333	17,82333
50	13,21	16,47667	14,47	17,72667	13,32667	14,27667	18,26667	18,03667	13,86333	16,62667	16,97	18,01
55	13,31	16,77	15,20667	18,37	13,76667	14,81	18,59667	18,13667	13,42	17,08333	17,55667	18,21667
60	13,73333	17,26	15,13333	18,25667	13,99333	14,94667	19,33	18,60667	13,72333	17,09333	17,41333	18,52
65	14,06333	17,42333	15,3	18,53	14,21	15,46667	19,39333	18,91667	14,27333	17,33667	17,51333	18,54333
70	14,66667	17,76	15,69333	18,63667	14,59667	15,76333	19,62333	19,03667	14,45	17,64667	17,97333	18,82667
75	14,60667	18,13	16,10333	19,21667	14,73333	15,91333	19,53333	19,18667	14,73333	18,23333	18,68333	19,01333
80	14,78	18,15	16,37	19,15333	15,02	16,30667	19,53667	19,61667	15,09333	18,43	18,65	19,38
85	14,92333	18,43	16,54	19,44	15,16667	16,40333	19,97	19,86667	15,10333	18,61667	19,14667	19,92
90	15,14	18,67	16,72333	19,52333	15,59667	16,73	20,19	19,77667	15,26	18,96333	19,23	20,5
95	15,58667	18,75	16,97	19,16333	15,58	16,88667	20,42333	20,26333	15,42333	19,08	19,39	20,67667
100	15,92	18,92667	17,30333	19,98	15,7	16,96667	20,44667	20,93	15,35333	19,31333	19,76667	21,23667
105		19,09333	17,41	19,92667		17,27	21,06	21,46667		19,24333	19,69	21,27333
110		19,32667	17,41	19,92667		17,33	21,06	21,46667		19,45667	19,69	21,27333
115		19,52	17,95	20,01		17,56333	21,22	21,54667		20,13	20,05	21,5
120		19,41667	17,67	20,26667		17,73667	21,16333	21,69333		19,59333	20,19667	21,83667
125			17,75	20,21667			21,44333	21,74333			20,26333	22,05
130			17,87333	20,74			21,43667	21,94			20,48667	22,02667
135			18,05667	20,57			21,91667	22,00667			20,67	22,28667
140			17,93	20,7			21,92333	21,96333			20,54333	22,39333
145			18,26333	20,76667			21,89667	22,25667			20,87667	22,33333
150			18,18667	21,04667			21,53667	22,49			20,8	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

tumbukan	SENJANG/GAP SAMPEL 1 (110°C)				SENJANG/GAP SAMPEL 2 (110°C)				SENJANG/GAP SAMPEL 3 (110°C)			
	50x2 (mm)	60x2	75x2 (mm)	90x2 (mm)	50x2 (mm)	60x2	75x2 (mm)	90x2 (mm)	50x2 (mm)	60x2	75x2 (mm)	90x2 (mm)
0	0		0	0	0		0	0	0		0	0
5	9,676667		7,463333	13,58	10,363333		6,55	7,48	10,95		8,51	9,063333
10	11,55		9,41	15,243333	12,37		8,626667	9,593333	12,14667		10,12	11,703333
15	12,923333		10,503333	16,343333	13,69		9,62	10,96	12,86667		11,513333	12,94
20	13,78		11,81	17,25	14,84667		10,723333	11,81	13,633333		12,783333	13,67667
25	14,76		12,253333	17,87	15,53		11,673333	12,67667	13,90667		13,67	14,063333
30	15,383333		13,313333	18,743333	16,10667		11,96	13,593333	14,48		14,243333	14,65
35	16,18		13,33	19,163333	16,60667		12,443333	14,2	14,65		14,643333	14,9
40	16,033333		14,12	19,69	16,99		12,723333	14,313333	15,243333		14,89667	15,253333
45	16,48667		14,63	19,813333	17,32		13,06667	14,97667	15,36667		15,19	15,603333
50	17,05667		14,16	20,453333	17,57		13,023333	15,09667	16,08		15,58	15,913333
55	17,573333		15,003333	20,16	17,673333		13,493333	15,163333	15,993333		15,85	16,06667
60	17,7		15,34	21,183333	18,27667		13,87667	15,66667	16,77667		15,92667	16,373333
65	18,00667		15,62	21,063333	18,52667		13,83	15,773333	17,193333		16,16	16,61
70	18,14		15,523333	21,393333	18,713333		14,063333	16,373333	17,623333		16,54	16,83
75	18,513333		15,973333	21,76667	18,923333		14,34	16,433333	17,79		16,963333	17,073333
80	18,96667		15,55667	21,57	19,81667		14,35667	16,5	18,26		17,113333	17,26667
85	18,67		15,543333	21,92	19,42		14,27	16,60667	18,433333		17,22667	17,563333
90	19,26667		16,01	22,3	19,723333		15,09667	16,87	18,90667		17,55	17,86
95	19,17		15,70667	21,72667	19,503333		15,38667	17,54667	19,32667		17,72667	18,153333
100	19,59		16,39667	22,083333	20,06667		15,44667	17,37	19,39667		18,05	18,473333
105			16,66	22,14667			15,79	17,31667			18,19	19,02667
110			17,013333	22,723333			15,74667	17,47667			18,543333	19,113333
115			16,583333	22,61			15,96667	17,99			18,953333	19,24
120			16,87	22,64			16	17,833333			19,29	19,66667
125			16,79	22,75667			16,14	18,10667			19,413333	19,91
130			16,84667	23,21			16,453333	18,10667			19,51667	20,063333
135			17,573333	23,013333			16,86667	17,79			19,793333	20,41667
140			17,303333	23,14667			16,65	17,90667			19,773333	20,693333
145			17,48	23,273333			16,74667	18,63667			19,94	20,353333
150			17,3	23,24			16,74	18,633333			20,05667	20,36667
155				23,44667				18,443333				20,523333
160				23,62667				18,54667				20,64667
165				23,51				18,243333				20,613333
170				23,56667				18,46				20,893333
175				23,703333				18,61				21,163333
180				23,303333				18,28667				21,2

### Pemadatan pada suhu 110°C (Campuran Gradasi Menerus)

tumbukan	deform.per.grs	tingkat def.	VMA	delta VMA	VIM	delta VIM	Stabilitas	delta Stabilitas	Flow	delta Flow	MQ	delta MQ
1	2,726	2,726	20,363	20,363	7,530	7,530	1064,480	1064,480	4,452	4,452	-17,666	-17,666
2	5,143	2,417	20,355	-0,007	7,521	-0,009	1058,098	-6,382	4,443	-0,009	-15,215	2,452
3	6,557	1,414	20,348	-0,007	7,513	-0,009	1051,843	-6,255	4,435	-0,009	-12,753	2,462
4	7,560	1,003	20,340	-0,008	7,504	-0,009	1045,715	-6,128	4,426	-0,009	-10,280	2,473
5	8,338	0,778	20,333	-0,008	7,495	-0,009	1039,713	-6,001	4,417	-0,009	-7,797	2,483
6	8,974	0,636	20,325	-0,008	7,487	-0,009	1033,839	-5,874	4,409	-0,009	-5,303	2,494
7	9,511	0,538	20,318	-0,008	7,478	-0,009	1028,092	-5,747	4,400	-0,009	-2,798	2,505
8	9,977	0,466	20,310	-0,008	7,469	-0,009	1022,472	-5,620	4,392	-0,009	-0,283	2,515
9	10,388	0,411	20,302	-0,008	7,460	-0,009	1016,979	-5,493	4,383	-0,009	2,243	2,526
10	10,755	0,367	20,295	-0,008	7,451	-0,009	1011,612	-5,366	4,375	-0,009	4,780	2,536
11	11,087	0,332	20,287	-0,008	7,442	-0,009	1006,373	-5,239	4,366	-0,008	7,327	2,547
12	11,391	0,303	20,279	-0,008	7,433	-0,009	1001,261	-5,112	4,358	-0,008	9,884	2,558
13	11,670	0,279	20,271	-0,008	7,424	-0,009	996,276	-4,985	4,349	-0,008	12,453	2,568
14	11,928	0,258	20,263	-0,008	7,415	-0,009	991,417	-4,858	4,341	-0,008	15,032	2,579
15	12,169	0,241	20,255	-0,008	7,406	-0,009	986,686	-4,731	4,332	-0,008	17,621	2,590
16	12,394	0,225	20,247	-0,008	7,397	-0,009	982,082	-4,604	4,324	-0,008	20,221	2,600
17	12,605	0,211	20,239	-0,008	7,387	-0,009	977,605	-4,477	4,316	-0,008	22,832	2,611
18	12,805	0,199	20,231	-0,008	7,378	-0,009	973,255	-4,350	4,307	-0,008	25,454	2,621
19	12,993	0,189	20,223	-0,008	7,369	-0,009	969,031	-4,223	4,299	-0,008	28,086	2,632
20	13,172	0,179	20,215	-0,008	7,359	-0,009	964,935	-4,096	4,291	-0,008	30,728	2,643
21	13,342	0,170	20,207	-0,008	7,350	-0,009	960,966	-3,969	4,282	-0,008	33,382	2,653
22	13,504	0,162	20,198	-0,008	7,341	-0,009	957,124	-3,842	4,274	-0,008	36,046	2,664
23	13,659	0,155	20,190	-0,008	7,331	-0,009	953,408	-3,715	4,266	-0,008	38,720	2,675
24	13,808	0,148	20,182	-0,008	7,322	-0,010	949,820	-3,588	4,258	-0,008	41,405	2,685
25	13,950	0,142	20,173	-0,008	7,312	-0,010	946,359	-3,461	4,249	-0,008	44,101	2,696
26	14,087	0,137	20,165	-0,008	7,303	-0,010	943,025	-3,334	4,241	-0,008	46,808	2,706
27	14,219	0,132	20,157	-0,008	7,293	-0,010	939,818	-3,207	4,233	-0,008	49,525	2,717
28	14,345	0,127	20,148	-0,008	7,283	-0,010	936,737	-3,080	4,225	-0,008	52,252	2,728
29	14,468	0,122	20,140	-0,009	7,274	-0,010	933,784	-2,953	4,217	-0,008	54,990	2,738
30	14,586	0,118	20,131	-0,009	7,264	-0,010	930,958	-2,826	4,209	-0,008	57,739	2,749
31	14,700	0,114	20,123	-0,009	7,254	-0,010	928,259	-2,699	4,201	-0,008	60,499	2,759
32	14,811	0,111	20,114	-0,009	7,244	-0,010	925,686	-2,572	4,193	-0,008	63,269	2,770
33	14,918	0,107	20,105	-0,009	7,234	-0,010	923,241	-2,445	4,185	-0,008	66,050	2,781
34	15,022	0,104	20,097	-0,009	7,224	-0,010	920,923	-2,318	4,176	-0,008	68,841	2,791
35	15,123	0,101	20,088	-0,009	7,215	-0,010	918,732	-2,191	4,168	-0,008	71,643	2,802
36	15,222	0,098	20,079	-0,009	7,205	-0,010	916,668	-2,064	4,160	-0,008	74,456	2,813
37	15,317	0,096	20,070	-0,009	7,195	-0,010	914,730	-1,937	4,153	-0,008	77,279	2,823
38	15,410	0,093	20,061	-0,009	7,184	-0,010	912,920	-1,810	4,145	-0,008	80,113	2,834

39	15,501	0,091	20,052	-0,009	7,174	-0,010	911,237	-1,683	4,137	-0,008	82,957	2,844
40	15,589	0,088	20,043	-0,009	7,164	-0,010	909,681	-1,556	4,129	-0,008	85,812	2,855
41	15,675	0,086	20,034	-0,009	7,154	-0,010	908,251	-1,429	4,121	-0,008	88,678	2,866
42	15,759	0,084	20,025	-0,009	7,144	-0,010	906,949	-1,302	4,113	-0,008	91,554	2,876
43	15,841	0,082	20,016	-0,009	7,134	-0,010	905,774	-1,175	4,105	-0,008	94,441	2,887
44	15,921	0,080	20,007	-0,009	7,123	-0,010	904,726	-1,048	4,097	-0,008	97,339	2,898
45	16,000	0,078	19,998	-0,009	7,113	-0,010	903,805	-0,921	4,089	-0,008	100,247	2,908
46	16,076	0,077	19,989	-0,009	7,103	-0,010	903,010	-0,794	4,082	-0,008	103,166	2,919
47	16,151	0,075	19,980	-0,009	7,092	-0,010	902,343	-0,667	4,074	-0,008	106,095	2,929
48	16,225	0,073	19,970	-0,009	7,082	-0,010	901,803	-0,540	4,066	-0,008	109,035	2,940
49	16,297	0,072	19,961	-0,009	7,071	-0,010	901,390	-0,413	4,058	-0,008	111,986	2,951
50	16,367	0,070	19,952	-0,009	7,061	-0,011	901,103	-0,286	4,051	-0,008	114,947	2,961
51	16,436	0,069	19,942	-0,009	7,050	-0,011	900,944	-0,159	4,043	-0,008	117,919	2,972
52	16,504	0,068	19,933	-0,009	7,039	-0,011	900,912	-0,032	4,035	-0,008	120,902	2,983
53	16,570	0,066	19,923	-0,009	7,029	-0,011	901,007	0,095	4,028	-0,008	123,895	2,993
54	16,636	0,065	19,914	-0,010	7,018	-0,011	901,229	0,222	4,020	-0,008	126,898	3,004
55	16,700	0,064	19,904	-0,010	7,007	-0,011	901,577	0,349	4,012	-0,008	129,913	3,014
56	16,762	0,063	19,895	-0,010	6,997	-0,011	902,053	0,476	4,005	-0,008	132,938	3,025
57	16,824	0,062	19,885	-0,010	6,986	-0,011	902,656	0,603	3,997	-0,008	135,973	3,036
58	16,885	0,061	19,875	-0,010	6,975	-0,011	903,386	0,730	3,990	-0,008	139,020	3,046
59	16,944	0,060	19,866	-0,010	6,964	-0,011	904,243	0,857	3,982	-0,008	142,077	3,057
60	17,003	0,059	19,856	-0,010	6,953	-0,011	905,226	0,984	3,975	-0,008	145,144	3,067
61	17,061	0,058	19,846	-0,010	6,942	-0,011	906,337	1,111	3,967	-0,007	148,222	3,078
62	17,117	0,057	19,836	-0,010	6,931	-0,011	907,575	1,238	3,960	-0,007	151,311	3,089
63	17,173	0,056	19,827	-0,010	6,920	-0,011	908,940	1,365	3,952	-0,007	154,410	3,099
64	17,228	0,055	19,817	-0,010	6,909	-0,011	910,431	1,492	3,945	-0,007	157,520	3,110
65	17,282	0,054	19,807	-0,010	6,898	-0,011	912,050	1,619	3,937	-0,007	160,641	3,121
66	17,335	0,053	19,797	-0,010	6,887	-0,011	913,796	1,746	3,930	-0,007	163,772	3,131
67	17,388	0,052	19,787	-0,010	6,875	-0,011	915,669	1,873	3,923	-0,007	166,914	3,142
68	17,439	0,052	19,777	-0,010	6,864	-0,011	917,669	2,000	3,915	-0,007	170,066	3,152
69	17,490	0,051	19,766	-0,010	6,853	-0,011	919,795	2,127	3,908	-0,007	173,229	3,163
70	17,541	0,050	19,756	-0,010	6,841	-0,011	922,049	2,254	3,901	-0,007	176,403	3,174
71	17,590	0,049	19,746	-0,010	6,830	-0,011	924,430	2,381	3,893	-0,007	179,587	3,184
72	17,639	0,049	19,736	-0,010	6,819	-0,011	926,938	2,508	3,886	-0,007	182,782	3,195
73	17,687	0,048	19,726	-0,010	6,807	-0,011	929,572	2,635	3,879	-0,007	185,988	3,206
74	17,734	0,047	19,715	-0,010	6,796	-0,011	932,334	2,762	3,872	-0,007	189,204	3,216
75	17,781	0,047	19,705	-0,010	6,784	-0,012	935,223	2,889	3,864	-0,007	192,431	3,227
76	17,827	0,046	19,695	-0,010	6,773	-0,012	938,239	3,016	3,857	-0,007	195,668	3,237
77	17,873	0,046	19,684	-0,010	6,761	-0,012	941,382	3,143	3,850	-0,007	198,916	3,248
78	17,918	0,045	19,674	-0,010	6,749	-0,012	944,651	3,270	3,843	-0,007	202,175	3,259
79	17,962	0,044	19,663	-0,011	6,738	-0,012	948,048	3,397	3,836	-0,007	205,444	3,269

80	18,006	0,044	19,653	-0,011	6,726	-0,012	951,572	3,524	3,829	-0,007	208,724	3,280
81	18,049	0,043	19,642	-0,011	6,714	-0,012	955,223	3,651	3,822	-0,007	212,014	3,291
82	18,092	0,043	19,631	-0,011	6,702	-0,012	959,000	3,778	3,815	-0,007	215,315	3,301
83	18,134	0,042	19,621	-0,011	6,690	-0,012	962,905	3,905	3,808	-0,007	218,627	3,312
84	18,176	0,042	19,610	-0,011	6,678	-0,012	966,937	4,032	3,800	-0,007	221,950	3,322
85	18,218	0,041	19,599	-0,011	6,667	-0,012	971,096	4,159	3,793	-0,007	225,283	3,333
86	18,258	0,041	19,588	-0,011	6,655	-0,012	975,382	4,286	3,786	-0,007	228,626	3,344
87	18,299	0,040	19,578	-0,011	6,643	-0,012	979,794	4,413	3,780	-0,007	231,980	3,354
88	18,338	0,040	19,567	-0,011	6,630	-0,012	984,334	4,540	3,773	-0,007	235,345	3,365
89	18,378	0,039	19,556	-0,011	6,618	-0,012	989,001	4,667	3,766	-0,007	238,721	3,375
90	18,417	0,039	19,545	-0,011	6,606	-0,012	993,795	4,794	3,759	-0,007	242,107	3,386
91	18,455	0,039	19,534	-0,011	6,594	-0,012	998,715	4,921	3,752	-0,007	245,503	3,397
92	18,493	0,038	19,523	-0,011	6,582	-0,012	1003,763	5,048	3,745	-0,007	248,911	3,407
93	18,531	0,038	19,512	-0,011	6,570	-0,012	1008,938	5,175	3,738	-0,007	252,329	3,418
94	18,568	0,037	19,501	-0,011	6,557	-0,012	1014,240	5,302	3,731	-0,007	255,757	3,429
95	18,605	0,037	19,490	-0,011	6,545	-0,012	1019,669	5,429	3,724	-0,007	259,196	3,439
96	18,642	0,037	19,478	-0,011	6,533	-0,012	1025,224	5,556	3,718	-0,007	262,646	3,450
97	18,678	0,036	19,467	-0,011	6,520	-0,012	1030,907	5,683	3,711	-0,007	266,107	3,460
98	18,714	0,036	19,456	-0,011	6,508	-0,012	1036,717	5,810	3,704	-0,007	269,578	3,471
99	18,749	0,035	19,445	-0,011	6,495	-0,012	1042,654	5,937	3,697	-0,007	273,059	3,482
100	18,784	0,035	19,433	-0,011	6,483	-0,013	1048,717	6,064	3,691	-0,007	276,552	3,492
101	18,819	0,035	19,422	-0,011	6,470	-0,013	1054,908	6,191	3,684	-0,007	280,055	3,503
102	18,853	0,034	19,410	-0,011	6,457	-0,013	1061,226	6,318	3,677	-0,007	283,568	3,514
103	18,887	0,034	19,399	-0,011	6,445	-0,013	1067,671	6,445	3,671	-0,007	287,092	3,524
104	18,921	0,034	19,387	-0,012	6,432	-0,013	1074,243	6,572	3,664	-0,007	290,627	3,535
105	18,954	0,033	19,376	-0,012	6,419	-0,013	1080,941	6,699	3,657	-0,007	294,172	3,545
106	18,987	0,033	19,364	-0,012	6,407	-0,013	1087,767	6,826	3,651	-0,007	297,728	3,556
107	19,020	0,033	19,353	-0,012	6,394	-0,013	1094,720	6,953	3,644	-0,007	301,295	3,567
108	19,053	0,032	19,341	-0,012	6,381	-0,013	1101,800	7,080	3,638	-0,007	304,872	3,577
109	19,085	0,032	19,329	-0,012	6,368	-0,013	1109,007	7,207	3,631	-0,007	308,460	3,588
110	19,117	0,032	19,318	-0,012	6,355	-0,013	1116,340	7,334	3,625	-0,007	312,059	3,598
111	19,148	0,032	19,306	-0,012	6,342	-0,013	1123,801	7,461	3,618	-0,006	315,668	3,609
112	19,179	0,031	19,294	-0,012	6,329	-0,013	1131,389	7,588	3,612	-0,006	319,287	3,620
113	19,210	0,031	19,282	-0,012	6,316	-0,013	1139,104	7,715	3,605	-0,006	322,918	3,630
114	19,241	0,031	19,270	-0,012	6,303	-0,013	1146,945	7,842	3,599	-0,006	326,559	3,641
115	19,272	0,030	19,258	-0,012	6,290	-0,013	1154,914	7,969	3,592	-0,006	330,210	3,652
116	19,302	0,030	19,246	-0,012	6,277	-0,013	1163,010	8,096	3,586	-0,006	333,872	3,662
117	19,332	0,030	19,234	-0,012	6,263	-0,013	1171,233	8,223	3,580	-0,006	337,545	3,673
118	19,361	0,030	19,222	-0,012	6,250	-0,013	1179,583	8,350	3,573	-0,006	341,229	3,683
119	19,391	0,029	19,210	-0,012	6,237	-0,013	1188,059	8,477	3,567	-0,006	344,923	3,694
120	19,420	0,029	19,198	-0,012	6,223	-0,013	1196,663	8,604	3,561	-0,006	348,627	3,705



121	19,449	0,029	19,186	-0,012	6,210	-0,013	1205,394	8,731	3,554	-0,006	352,343	3,715
122	19,478	0,029	19,173	-0,012	6,197	-0,013	1214,252	8,858	3,548	-0,006	356,069	3,726
123	19,506	0,028	19,161	-0,012	6,183	-0,013	1223,236	8,985	3,542	-0,006	359,805	3,737
124	19,534	0,028	19,149	-0,012	6,170	-0,013	1232,348	9,112	3,536	-0,006	363,552	3,747
125	19,562	0,028	19,136	-0,012	6,156	-0,014	1241,587	9,239	3,529	-0,006	367,310	3,758
126	19,590	0,028	19,124	-0,012	6,143	-0,014	1250,953	9,366	3,523	-0,006	371,079	3,768
127	19,618	0,028	19,112	-0,012	6,129	-0,014	1260,446	9,493	3,517	-0,006	374,858	3,779
128	19,645	0,027	19,099	-0,012	6,115	-0,014	1270,065	9,620	3,511	-0,006	378,647	3,790
129	19,672	0,027	19,087	-0,013	6,102	-0,014	1279,812	9,747	3,505	-0,006	382,447	3,800
130	19,699	0,027	19,074	-0,013	6,088	-0,014	1289,686	9,874	3,499	-0,006	386,258	3,811
131	19,726	0,027	19,062	-0,013	6,074	-0,014	1299,687	10,001	3,493	-0,006	390,080	3,822
132	19,752	0,027	19,049	-0,013	6,060	-0,014	1309,814	10,128	3,487	-0,006	393,912	3,832
133	19,779	0,026	19,036	-0,013	6,046	-0,014	1320,069	10,255	3,481	-0,006	397,755	3,843
134	19,805	0,026	19,024	-0,013	6,032	-0,014	1330,451	10,382	3,474	-0,006	401,608	3,853
135	19,831	0,026	19,011	-0,013	6,019	-0,014	1340,960	10,509	3,468	-0,006	405,472	3,864
136	19,856	0,026	18,998	-0,013	6,005	-0,014	1351,596	10,636	3,462	-0,006	409,347	3,875
137	19,882	0,026	18,985	-0,013	5,991	-0,014	1362,358	10,763	3,457	-0,006	413,232	3,885
138	19,907	0,025	18,972	-0,013	5,976	-0,014	1373,248	10,890	3,451	-0,006	417,128	3,896
139	19,933	0,025	18,959	-0,013	5,962	-0,014	1384,265	11,017	3,445	-0,006	421,034	3,906
140	19,958	0,025	18,946	-0,013	5,948	-0,014	1395,409	11,144	3,439	-0,006	424,951	3,917
141	19,982	0,025	18,933	-0,013	5,934	-0,014	1406,679	11,271	3,433	-0,006	428,879	3,928
142	20,007	0,025	18,920	-0,013	5,920	-0,014	1418,077	11,398	3,427	-0,006	432,817	3,938
143	20,031	0,024	18,907	-0,013	5,906	-0,014	1429,602	11,525	3,421	-0,006	436,766	3,949
144	20,056	0,024	18,894	-0,013	5,891	-0,014	1441,254	11,652	3,415	-0,006	440,726	3,960
145	20,080	0,024	18,881	-0,013	5,877	-0,014	1453,033	11,779	3,409	-0,006	444,696	3,970
146	20,104	0,024	18,868	-0,013	5,863	-0,014	1464,938	11,906	3,404	-0,006	448,677	3,981
147	20,128	0,024	18,855	-0,013	5,848	-0,014	1476,971	12,033	3,398	-0,006	452,668	3,991
148	20,151	0,024	18,841	-0,013	5,834	-0,014	1489,131	12,160	3,392	-0,006	456,670	4,002
149	20,175	0,023	18,828	-0,013	5,819	-0,015	1501,418	12,287	3,386	-0,006	460,683	4,013
150	20,198	0,023	18,815	-0,013	5,805	-0,015	1513,831	12,414	3,381	-0,006	464,706	4,023
151	20,221	0,023	18,801	-0,013	5,790	-0,015	1526,372	12,541	3,375	-0,006	468,740	4,034
152	20,244	0,023	18,788	-0,013	5,775	-0,015	1539,040	12,668	3,369	-0,006	472,785	4,045
153	20,267	0,023	18,774	-0,013	5,761	-0,015	1551,835	12,795	3,364	-0,006	476,840	4,055
154	20,290	0,023	18,761	-0,014	5,746	-0,015	1564,757	12,922	3,358	-0,006	480,905	4,066
155	20,312	0,023	18,747	-0,014	5,731	-0,015	1577,805	13,049	3,352	-0,006	484,982	4,076
156	20,335	0,022	18,734	-0,014	5,717	-0,015	1590,981	13,176	3,347	-0,006	489,069	4,087
157	20,357	0,022	18,720	-0,014	5,702	-0,015	1604,284	13,303	3,341	-0,006	493,166	4,098
158	20,379	0,022	18,706	-0,014	5,687	-0,015	1617,714	13,430	3,336	-0,006	497,275	4,108
159	20,401	0,022	18,693	-0,014	5,672	-0,015	1631,271	13,557	3,330	-0,006	501,394	4,119
160	20,423	0,022	18,679	-0,014	5,657	-0,015	1644,954	13,684	3,325	-0,006	505,523	4,129
161	20,445	0,022	18,665	-0,014	5,642	-0,015	1658,765	13,811	3,319	-0,005	509,663	4,140

162	20,466	0,022	18,651	-0,014	5,627	-0,015	1672,703	13,938	3,314	-0,005	513,814	4,151
163	20,488	0,021	18,638	-0,014	5,612	-0,015	1686,768	14,065	3,308	-0,005	517,975	4,161
164	20,509	0,021	18,624	-0,014	5,597	-0,015	1700,959	14,192	3,303	-0,005	522,147	4,172
165	20,530	0,021	18,610	-0,014	5,582	-0,015	1715,278	14,319	3,297	-0,005	526,330	4,183
166	20,552	0,021	18,596	-0,014	5,567	-0,015	1729,724	14,446	3,292	-0,005	530,523	4,193
167	20,572	0,021	18,582	-0,014	5,551	-0,015	1744,297	14,573	3,287	-0,005	534,727	4,204
168	20,593	0,021	18,568	-0,014	5,536	-0,015	1758,997	14,700	3,281	-0,005	538,941	4,214
169	20,614	0,021	18,553	-0,014	5,521	-0,015	1773,823	14,827	3,276	-0,005	543,166	4,225
170	20,635	0,021	18,539	-0,014	5,505	-0,015	1788,777	14,954	3,271	-0,005	547,402	4,236
171	20,655	0,020	18,525	-0,014	5,490	-0,015	1803,858	15,081	3,265	-0,005	551,648	4,246
172	20,675	0,020	18,511	-0,014	5,475	-0,015	1819,066	15,208	3,260	-0,005	555,905	4,257
173	20,696	0,020	18,497	-0,014	5,459	-0,015	1834,400	15,335	3,255	-0,005	560,173	4,268
174	20,716	0,020	18,482	-0,014	5,444	-0,016	1849,862	15,462	3,250	-0,005	564,451	4,278
175	20,736	0,020	18,468	-0,014	5,428	-0,016	1865,451	15,589	3,244	-0,005	568,740	4,289
176	20,755	0,020	18,454	-0,014	5,413	-0,016	1881,167	15,716	3,239	-0,005	573,039	4,299
177	20,775	0,020	18,439	-0,014	5,397	-0,016	1897,010	15,843	3,234	-0,005	577,349	4,310
178	20,795	0,020	18,425	-0,014	5,381	-0,016	1912,979	15,970	3,229	-0,005	581,670	4,321
179	20,814	0,020	18,410	-0,015	5,366	-0,016	1929,076	16,097	3,224	-0,005	586,001	4,331
180	20,834	0,019	18,396	-0,015	5,350	-0,016	1945,300	16,224	3,219	-0,005	590,343	4,341

### Pemadatan pada suhu 120°C (Campuran Gradasi Menerus)

tumbukan	deform.per.grs	tingkat def.	VMA	delta VMA	VIM	delta VIM	Stabilitas	delta Stabilitas	Flow	delta Flow	MQ	delta MQ
1	1,084	1,084	40,396	40,396	30,792	30,792	2128,983	2128,983	1,136	1,136	1461,721	1461,721
2	3,778	2,694	40,088	-0,308	30,434	-0,357	2113,525	-15,458	1,181	0,045	1442,909	-18,812
3	5,353	1,576	39,783	-0,306	30,079	-0,355	2098,245	-15,280	1,225	0,044	1424,267	-18,642
4	6,471	1,118	39,479	-0,303	29,727	-0,352	2083,143	-15,102	1,269	0,044	1405,794	-18,472
5	7,338	0,867	39,178	-0,301	29,377	-0,350	2068,219	-14,924	1,312	0,043	1387,492	-18,302
6	8,047	0,709	38,879	-0,299	29,030	-0,347	2053,474	-14,745	1,355	0,043	1369,360	-18,132
7	8,646	0,599	38,582	-0,297	28,685	-0,345	2038,907	-14,567	1,398	0,043	1351,398	-17,962
8	9,165	0,519	38,288	-0,295	28,343	-0,342	2024,518	-14,389	1,440	0,042	1333,605	-17,792
9	9,622	0,458	37,995	-0,292	28,004	-0,340	2010,308	-14,210	1,482	0,042	1315,983	-17,622
10	10,032	0,409	37,705	-0,290	27,667	-0,337	1996,275	-14,032	1,524	0,041	1298,531	-17,452
11	10,402	0,370	37,417	-0,288	27,332	-0,334	1982,421	-13,854	1,565	0,041	1281,249	-17,282
12	10,740	0,338	37,131	-0,286	27,001	-0,332	1968,746	-13,676	1,605	0,041	1264,136	-17,112
13	11,051	0,311	36,847	-0,284	26,671	-0,329	1955,248	-13,497	1,645	0,040	1247,194	-16,942
14	11,339	0,288	36,566	-0,281	26,345	-0,327	1941,929	-13,319	1,685	0,040	1230,422	-16,772
15	11,607	0,268	36,287	-0,279	26,020	-0,324	1928,789	-13,141	1,725	0,039	1213,819	-16,602
16	11,858	0,251	36,010	-0,277	25,699	-0,322	1915,826	-12,963	1,764	0,039	1197,387	-16,432
17	12,094	0,236	35,735	-0,275	25,380	-0,319	1903,042	-12,784	1,802	0,039	1181,125	-16,262

18	12,316	0,222	35,462	-0,273	25,063	-0,316	1890,436	-12,606	1,841	0,038	1165,033	-16,092
19	12,526	0,210	35,192	-0,270	24,749	-0,314	1878,008	-12,428	1,879	0,038	1149,110	-15,922
20	12,725	0,199	34,923	-0,268	24,438	-0,311	1865,759	-12,249	1,916	0,037	1133,358	-15,752
21	12,915	0,190	34,657	-0,266	24,129	-0,309	1853,687	-12,071	1,953	0,037	1117,776	-15,582
22	13,096	0,181	34,393	-0,264	23,823	-0,306	1841,795	-11,893	1,990	0,037	1102,364	-15,412
23	13,269	0,173	34,132	-0,262	23,519	-0,304	1830,080	-11,715	2,026	0,036	1087,121	-15,242
24	13,434	0,165	33,872	-0,259	23,218	-0,301	1818,544	-11,536	2,062	0,036	1072,049	-15,072
25	13,593	0,159	33,615	-0,257	22,920	-0,299	1807,186	-11,358	2,097	0,035	1057,147	-14,902
26	13,745	0,152	33,360	-0,255	22,624	-0,296	1796,006	-11,180	2,132	0,035	1042,414	-14,732
27	13,892	0,147	33,107	-0,253	22,330	-0,293	1785,005	-11,001	2,167	0,035	1027,852	-14,562
28	14,033	0,141	32,857	-0,251	22,039	-0,291	1774,181	-10,823	2,201	0,034	1013,460	-14,392
29	14,169	0,136	32,608	-0,248	21,751	-0,288	1763,536	-10,645	2,235	0,034	999,238	-14,222
30	14,301	0,132	32,362	-0,246	21,465	-0,286	1753,070	-10,467	2,269	0,033	985,185	-14,052
31	14,428	0,127	32,118	-0,244	21,182	-0,283	1742,781	-10,288	2,302	0,033	971,303	-13,882
32	14,552	0,123	31,876	-0,242	20,901	-0,281	1732,671	-10,110	2,334	0,033	957,591	-13,712
33	14,671	0,120	31,636	-0,240	20,623	-0,278	1722,740	-9,932	2,366	0,032	944,049	-13,542
34	14,787	0,116	31,399	-0,237	20,348	-0,276	1712,986	-9,754	2,398	0,032	930,676	-13,372
35	14,900	0,113	31,164	-0,235	20,075	-0,273	1703,411	-9,575	2,430	0,031	917,474	-13,202
36	15,010	0,109	30,931	-0,233	19,804	-0,270	1694,014	-9,397	2,461	0,031	904,442	-13,032
37	15,116	0,106	30,700	-0,231	19,537	-0,268	1684,795	-9,219	2,491	0,031	891,580	-12,862
38	15,220	0,104	30,471	-0,229	19,271	-0,265	1675,755	-9,040	2,522	0,030	878,887	-12,692
39	15,321	0,101	30,245	-0,226	19,009	-0,263	1666,893	-8,862	2,552	0,030	866,365	-12,522
40	15,419	0,098	30,020	-0,224	18,748	-0,260	1658,209	-8,684	2,581	0,029	854,013	-12,352
41	15,515	0,096	29,798	-0,222	18,491	-0,258	1649,703	-8,506	2,610	0,029	841,830	-12,182
42	15,609	0,094	29,578	-0,220	18,236	-0,255	1641,376	-8,327	2,639	0,029	829,818	-12,012
43	15,700	0,091	29,361	-0,218	17,983	-0,252	1633,227	-8,149	2,667	0,028	817,976	-11,842
44	15,789	0,089	29,145	-0,215	17,733	-0,250	1625,257	-7,971	2,695	0,028	806,304	-11,672
45	15,877	0,087	28,932	-0,213	17,486	-0,247	1617,464	-7,792	2,722	0,027	794,801	-11,502
46	15,962	0,085	28,721	-0,211	17,241	-0,245	1609,850	-7,614	2,749	0,027	783,469	-11,332
47	16,046	0,084	28,512	-0,209	16,999	-0,242	1602,414	-7,436	2,776	0,027	772,307	-11,162
48	16,127	0,082	28,306	-0,207	16,759	-0,240	1595,157	-7,258	2,802	0,026	761,315	-10,992
49	16,208	0,080	28,101	-0,204	16,522	-0,237	1588,077	-7,079	2,828	0,026	750,492	-10,822
50	16,286	0,079	27,899	-0,202	16,288	-0,235	1581,176	-6,901	2,854	0,025	739,840	-10,652
51	16,363	0,077	27,699	-0,200	16,056	-0,232	1574,453	-6,723	2,879	0,025	729,358	-10,482
52	16,439	0,075	27,501	-0,198	15,826	-0,229	1567,909	-6,544	2,903	0,025	719,045	-10,312
53	16,513	0,074	27,305	-0,196	15,599	-0,227	1561,543	-6,366	2,927	0,024	708,903	-10,142
54	16,585	0,073	27,112	-0,193	15,375	-0,224	1555,355	-6,188	2,951	0,024	698,931	-9,972
55	16,656	0,071	26,921	-0,191	15,153	-0,222	1549,345	-6,010	2,975	0,023	689,129	-9,802
56	16,727	0,070	26,732	-0,189	14,934	-0,219	1543,514	-5,831	2,998	0,023	679,496	-9,632
57	16,795	0,069	26,545	-0,187	14,717	-0,217	1537,861	-5,653	3,020	0,023	670,034	-9,462
58	16,863	0,068	26,360	-0,185	14,503	-0,214	1532,386	-5,475	3,043	0,022	660,742	-9,292

59	16,929	0,066	26,178	-0,182	14,292	-0,212	1527,090	-5,297	3,065	0,022	651,620	-9,122
60	16,995	0,065	25,997	-0,180	14,083	-0,209	1521,971	-5,118	3,086	0,021	642,667	-8,952
61	17,059	0,064	25,819	-0,178	13,876	-0,206	1517,031	-4,940	3,107	0,021	633,885	-8,782
62	17,122	0,063	25,643	-0,176	13,673	-0,204	1512,270	-4,762	3,128	0,021	625,273	-8,612
63	17,184	0,062	25,470	-0,174	13,471	-0,201	1507,686	-4,583	3,148	0,020	616,830	-8,442
64	17,245	0,061	25,298	-0,171	13,273	-0,199	1503,281	-4,405	3,168	0,020	608,558	-8,272
65	17,306	0,060	25,129	-0,169	13,076	-0,196	1499,055	-4,227	3,187	0,019	600,456	-8,102
66	17,365	0,059	24,962	-0,167	12,883	-0,194	1495,006	-4,049	3,206	0,019	592,524	-7,932
67	17,423	0,058	24,797	-0,165	12,692	-0,191	1491,136	-3,870	3,225	0,019	584,761	-7,762
68	17,481	0,058	24,635	-0,163	12,503	-0,188	1487,444	-3,692	3,243	0,018	577,169	-7,592
69	17,538	0,057	24,474	-0,160	12,317	-0,186	1483,930	-3,514	3,261	0,018	569,747	-7,422
70	17,594	0,056	24,316	-0,158	12,134	-0,183	1480,595	-3,335	3,279	0,017	562,495	-7,252
71	17,649	0,055	24,160	-0,156	11,953	-0,181	1477,437	-3,157	3,296	0,017	555,412	-7,082
72	17,703	0,054	24,006	-0,154	11,775	-0,178	1474,459	-2,979	3,312	0,017	548,500	-6,912
73	17,757	0,054	23,854	-0,152	11,599	-0,176	1471,658	-2,801	3,328	0,016	541,758	-6,742
74	17,810	0,053	23,705	-0,149	11,426	-0,173	1469,036	-2,622	3,344	0,016	535,186	-6,572
75	17,862	0,052	23,558	-0,147	11,256	-0,171	1466,592	-2,444	3,360	0,015	528,783	-6,402
76	17,913	0,051	23,413	-0,145	11,088	-0,168	1464,326	-2,266	3,375	0,015	522,551	-6,232
77	17,964	0,051	23,270	-0,143	10,922	-0,165	1462,239	-2,087	3,389	0,015	516,489	-6,062
78	18,014	0,050	23,129	-0,141	10,759	-0,163	1460,329	-1,909	3,404	0,014	510,596	-5,892
79	18,064	0,050	22,991	-0,138	10,599	-0,160	1458,598	-1,731	3,418	0,014	504,874	-5,722
80	18,113	0,049	22,854	-0,136	10,441	-0,158	1457,046	-1,553	3,431	0,013	499,322	-5,552
81	18,161	0,048	22,720	-0,134	10,286	-0,155	1455,671	-1,374	3,444	0,013	493,940	-5,382
82	18,209	0,048	22,588	-0,132	10,133	-0,153	1454,475	-1,196	3,457	0,013	488,727	-5,212
83	18,256	0,047	22,459	-0,130	9,983	-0,150	1453,458	-1,018	3,469	0,012	483,685	-5,042
84	18,302	0,047	22,331	-0,127	9,836	-0,148	1452,618	-0,840	3,481	0,012	478,813	-4,872
85	18,348	0,046	22,206	-0,125	9,691	-0,145	1451,957	-0,661	3,492	0,011	474,111	-4,702
86	18,394	0,045	22,083	-0,123	9,548	-0,142	1451,474	-0,483	3,503	0,011	469,578	-4,532
87	18,439	0,045	21,962	-0,121	9,409	-0,140	1451,169	-0,305	3,514	0,011	465,216	-4,362
88	18,483	0,044	21,844	-0,119	9,271	-0,137	1451,043	-0,126	3,524	0,010	461,024	-4,192
89	18,527	0,044	21,727	-0,116	9,137	-0,135	1451,095	0,052	3,534	0,010	457,001	-4,022
90	18,570	0,043	21,613	-0,114	9,004	-0,132	1451,325	0,230	3,544	0,009	453,149	-3,852
91	18,613	0,043	21,501	-0,112	8,875	-0,130	1451,733	0,408	3,553	0,009	449,467	-3,682
92	18,656	0,042	21,391	-0,110	8,748	-0,127	1452,320	0,587	3,561	0,009	445,955	-3,512
93	18,698	0,042	21,283	-0,108	8,623	-0,124	1453,085	0,765	3,569	0,008	442,612	-3,342
94	18,739	0,042	21,178	-0,105	8,501	-0,122	1454,029	0,943	3,577	0,008	439,440	-3,172
95	18,780	0,041	21,075	-0,103	8,382	-0,119	1455,150	1,122	3,585	0,007	436,438	-3,002
96	18,821	0,041	20,974	-0,101	8,265	-0,117	1456,450	1,300	3,592	0,007	433,606	-2,832
97	18,861	0,040	20,875	-0,099	8,151	-0,114	1457,928	1,478	3,598	0,007	430,943	-2,662
98	18,901	0,040	20,778	-0,097	8,039	-0,112	1459,585	1,656	3,605	0,006	428,451	-2,492
99	18,941	0,039	20,684	-0,094	7,930	-0,109	1461,419	1,835	3,611	0,006	426,129	-2,322

100	18,980	0,039	20,591	-0,092	7,824	-0,107	1463,432	2,013	3,616	0,005	423,976	-2,152
101	19,018	0,039	20,501	-0,090	7,720	-0,104	1465,623	2,191	3,621	0,005	421,994	-1,982
102	19,057	0,038	20,413	-0,088	7,618	-0,101	1467,993	2,370	3,626	0,005	420,182	-1,812
103	19,095	0,038	20,328	-0,086	7,519	-0,099	1470,541	2,548	3,630	0,004	418,540	-1,642
104	19,132	0,038	20,244	-0,083	7,423	-0,096	1473,267	2,726	3,634	0,004	417,067	-1,472
105	19,169	0,037	20,163	-0,081	7,329	-0,094	1476,171	2,904	3,637	0,003	415,765	-1,302
106	19,206	0,037	20,084	-0,079	7,238	-0,091	1479,254	3,083	3,640	0,003	414,633	-1,132
107	19,243	0,036	20,007	-0,077	7,149	-0,089	1482,515	3,261	3,643	0,003	413,671	-0,962
108	19,279	0,036	19,933	-0,075	7,063	-0,086	1485,954	3,439	3,645	0,002	412,878	-0,792
109	19,315	0,036	19,860	-0,072	6,980	-0,084	1489,572	3,618	3,647	0,002	412,256	-0,622
110	19,350	0,035	19,790	-0,070	6,899	-0,081	1493,367	3,796	3,649	0,001	411,804	-0,452
111	19,385	0,035	19,722	-0,068	6,820	-0,078	1497,341	3,974	3,650	0,001	411,522	-0,282
112	19,420	0,035	19,656	-0,066	6,745	-0,076	1501,494	4,152	3,650	0,001	411,409	-0,112
113	19,455	0,035	19,592	-0,064	6,671	-0,073	1505,824	4,331	3,650	0,000	411,467	0,058
114	19,489	0,034	19,531	-0,061	6,601	-0,071	1510,333	4,509	3,650	0,000	411,695	0,228
115	19,523	0,034	19,472	-0,059	6,532	-0,068	1515,021	4,687	3,650	-0,001	412,092	0,398
116	19,556	0,034	19,415	-0,057	6,467	-0,066	1519,886	4,865	3,649	-0,001	412,660	0,568
117	19,590	0,033	19,360	-0,055	6,404	-0,063	1524,930	5,044	3,647	-0,001	413,398	0,738
118	19,623	0,033	19,307	-0,053	6,343	-0,060	1530,152	5,222	3,646	-0,002	414,306	0,908
119	19,656	0,033	19,257	-0,050	6,285	-0,058	1535,552	5,400	3,644	-0,002	415,383	1,078
120	19,688	0,033	19,208	-0,048	6,230	-0,055	1541,131	5,579	3,641	-0,003	416,631	1,248
121	19,720	0,032	19,162	-0,046	6,177	-0,053	1546,887	5,757	3,638	-0,003	418,049	1,418
122	19,752	0,032	19,118	-0,044	6,127	-0,050	1552,823	5,935	3,635	-0,003	419,637	1,588
123	19,784	0,032	19,077	-0,042	6,079	-0,048	1558,936	6,113	3,631	-0,004	421,394	1,758
124	19,816	0,031	19,037	-0,039	6,034	-0,045	1565,228	6,292	3,627	-0,004	423,322	1,928
125	19,847	0,031	19,000	-0,037	5,992	-0,043	1571,698	6,470	3,622	-0,005	425,420	2,098
126	19,878	0,031	18,965	-0,035	5,952	-0,040	1578,346	6,648	3,617	-0,005	427,687	2,268
127	19,909	0,031	18,932	-0,033	5,914	-0,037	1585,173	6,827	3,612	-0,005	430,125	2,438
128	19,939	0,030	18,902	-0,031	5,879	-0,035	1592,177	7,005	3,606	-0,006	432,733	2,608
129	19,969	0,030	18,873	-0,028	5,847	-0,032	1599,360	7,183	3,600	-0,006	435,511	2,778
130	19,999	0,030	18,847	-0,026	5,817	-0,030	1606,722	7,361	3,594	-0,007	438,458	2,948
131	20,029	0,030	18,823	-0,024	5,790	-0,027	1614,261	7,540	3,587	-0,007	441,576	3,118
132	20,059	0,030	18,801	-0,022	5,765	-0,025	1621,979	7,718	3,579	-0,007	444,864	3,288
133	20,088	0,029	18,781	-0,020	5,743	-0,022	1629,876	7,896	3,571	-0,008	448,322	3,458
134	20,117	0,029	18,764	-0,017	5,724	-0,020	1637,950	8,074	3,563	-0,008	451,949	3,628
135	20,146	0,029	18,749	-0,015	5,707	-0,017	1646,203	8,253	3,555	-0,009	455,747	3,798
136	20,175	0,029	18,736	-0,013	5,692	-0,014	1654,634	8,431	3,546	-0,009	459,715	3,968
137	20,203	0,028	18,725	-0,011	5,681	-0,012	1663,243	8,609	3,536	-0,009	463,853	4,138
138	20,231	0,028	18,716	-0,009	5,671	-0,009	1672,031	8,788	3,527	-0,010	468,160	4,308
139	20,259	0,028	18,710	-0,006	5,665	-0,007	1680,997	8,966	3,517	-0,010	472,638	4,478
140	20,287	0,028	18,705	-0,004	5,660	-0,004	1690,141	9,144	3,506	-0,011	477,286	4,648

141	20,315	0,028	18,703	-0,002	5,659	-0,002	1699,463	9,322	3,495	-0,011	482,103	4,818
142	20,342	0,027	18,703	0,000	5,660	0,001	1708,964	9,501	3,484	-0,011	487,091	4,988
143	20,370	0,027	18,706	0,002	5,663	0,004	1718,643	9,679	3,472	-0,012	492,249	5,158
144	20,397	0,027	18,710	0,005	5,669	0,006	1728,501	9,857	3,460	-0,012	497,577	5,328
145	20,424	0,027	18,717	0,007	5,678	0,009	1738,536	10,036	3,447	-0,013	503,074	5,498
146	20,450	0,027	18,726	0,009	5,689	0,011	1748,750	10,214	3,434	-0,013	508,742	5,668
147	20,477	0,027	18,737	0,011	5,703	0,014	1759,142	10,392	3,421	-0,013	514,580	5,838
148	20,503	0,026	18,751	0,013	5,719	0,016	1769,713	10,570	3,407	-0,014	520,588	6,008
149	20,529	0,026	18,766	0,016	5,738	0,019	1780,461	10,749	3,393	-0,014	526,765	6,178
150	20,555	0,026	18,784	0,018	5,760	0,021	1791,388	10,927	3,379	-0,015	533,113	6,348
151	20,581	0,026	18,804	0,020	5,784	0,024	1802,493	11,105	3,364	-0,015	539,631	6,518
152	20,607	0,026	18,826	0,022	5,810	0,027	1813,777	11,284	3,348	-0,015	546,318	6,688
153	20,632	0,025	18,850	0,024	5,839	0,029	1825,239	11,462	3,332	-0,016	553,176	6,858
154	20,658	0,025	18,877	0,027	5,871	0,032	1836,879	11,640	3,316	-0,016	560,204	7,028
155	20,683	0,025	18,906	0,029	5,905	0,034	1848,697	11,818	3,300	-0,017	567,402	7,198
156	20,708	0,025	18,937	0,031	5,942	0,037	1860,694	11,997	3,283	-0,017	574,769	7,368
157	20,733	0,025	18,970	0,033	5,981	0,039	1872,869	12,175	3,265	-0,017	582,307	7,538
158	20,757	0,025	19,005	0,035	6,023	0,042	1885,222	12,353	3,248	-0,018	590,015	7,708
159	20,782	0,025	19,043	0,038	6,068	0,044	1897,754	12,532	3,230	-0,018	597,893	7,878
160	20,806	0,024	19,082	0,040	6,115	0,047	1910,463	12,710	3,211	-0,019	605,940	8,048
161	20,830	0,024	19,124	0,042	6,164	0,050	1923,351	12,888	3,192	-0,019	614,158	8,218
162	20,854	0,024	19,168	0,044	6,217	0,052	1936,418	13,066	3,173	-0,019	622,546	8,388
163	20,878	0,024	19,215	0,046	6,271	0,055	1949,662	13,245	3,153	-0,020	631,103	8,558
164	20,902	0,024	19,263	0,049	6,329	0,057	1963,085	13,423	3,133	-0,020	639,831	8,728
165	20,926	0,024	19,314	0,051	6,388	0,060	1976,687	13,601	3,112	-0,021	648,729	8,898
166	20,949	0,023	19,367	0,053	6,451	0,062	1990,466	13,779	3,091	-0,021	657,797	9,068
167	20,973	0,023	19,422	0,055	6,516	0,065	2004,424	13,958	3,070	-0,021	667,034	9,238
168	20,996	0,023	19,480	0,057	6,583	0,068	2018,560	14,136	3,048	-0,022	676,442	9,408
169	21,019	0,023	19,539	0,060	6,653	0,070	2032,874	14,314	3,026	-0,022	686,020	9,578
170	21,042	0,023	19,601	0,062	6,726	0,073	2047,367	14,493	3,004	-0,023	695,768	9,748
171	21,065	0,023	19,665	0,064	6,801	0,075	2062,037	14,671	2,981	-0,023	705,685	9,918
172	21,087	0,023	19,731	0,066	6,879	0,078	2076,887	14,849	2,957	-0,023	715,773	10,088
173	21,110	0,023	19,799	0,068	6,959	0,080	2091,914	15,027	2,933	-0,024	726,031	10,258
174	21,132	0,022	19,870	0,071	7,042	0,083	2107,120	15,206	2,909	-0,024	736,459	10,428
175	21,154	0,022	19,943	0,073	7,128	0,085	2122,504	15,384	2,885	-0,025	747,056	10,598
176	21,177	0,022	20,018	0,075	7,216	0,088	2138,066	15,562	2,860	-0,025	757,824	10,768
177	21,199	0,022	20,095	0,077	7,306	0,091	2153,807	15,741	2,834	-0,025	768,762	10,938
178	21,220	0,022	20,174	0,079	7,399	0,093	2169,725	15,919	2,809	-0,026	779,869	11,108
179	21,242	0,022	20,256	0,082	7,495	0,096	2185,822	16,097	2,783	-0,026	791,147	11,278
180	21,264	0,022	20,339	0,084	7,593	0,098	2202,098		2,756	-0,027	802,595	



## Tabel Chi Square

df	0.995	0.99	0.975	0.95	0.90	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	—	—	0.001	0.004	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.085	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.865	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	11.651	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	13.240	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.041	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	14.848	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	15.659	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559
25	10.520	11.524	13.120	14.611	16.473	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	17.292	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	18.114	36.741	40.113	43.195	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	18.939	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	19.768	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	20.599	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672
40	20.707	22.164	24.433	26.509	29.051	51.805	55.758	59.342	63.691	66.766
50	27.991	29.707	32.357	34.764	37.689	63.167	67.505	71.420	76.154	79.490
60	35.534	37.485	40.482	43.188	46.459	74.397	79.082	83.298	88.379	91.952
70	43.275	45.442	48.758	51.739	55.329	85.527	90.531	95.023	100.425	104.215
80	51.172	53.540	57.153	60.391	64.278	96.578	101.879	106.629	112.329	116.321
90	59.196	61.754	65.647	69.126	73.291	107.565	113.145	118.136	124.116	128.299
100	67.328	70.065	74.222	77.929	82.358	118.498	124.342	129.561	135.807	140.169

# Perhitungan Metode *Chi square*

Langkah – langkah perhitungannya :

1. Tentukan datanya
2. Hitung standar deviasinya
3. Tentukan batas atas dan batas bawahnya

$$\frac{s\sqrt{N}}{\chi_{1-\frac{\alpha}{2}}} < \sigma < \frac{s\sqrt{N}}{\chi_{\frac{\alpha}{2}}}$$

4. Buang data yang di luar batas yang ditentukan (maksimal 1 data dihilangkan). Jika ada kurang dari 2 sampel ambil yang mendekati batas.
5. Hitung rata – rata baru

Contoh perhitungan sebagai berikut:

Tingkat kepercayaan ( $\alpha$ ):	5%
N	3
v	2
$\chi(0.975)$	3,331666
$\chi(0.025)$	0,695701

VMA (%)	Data Awal				chi square			
	percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev
110C;50;M1	1	20,30		1,15	17,20	20,30		
110C;50;M2	2	16,74	18,35	1,81			19,16	1,62
110C;50;M3	3	18,01		9,85%	13,92	32,27	18,01	8,47%



# Penyisihan data untuk nilai VMA dengan metode *chi square*

VMA (%)					chi square				
		percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev
110C;50;M1	1	20,30	18,35		1,15	17,20	20,30	19,16	
110C;50;M2	2	16,74		1,81					1,62
110C;50;M3	3	18,01		9,85%	13,92	32,27	18,01		8,47%
110C;60;M1	1	19,73	19,86		0,07	19,79		19,92	
110C;60;M2	2	19,92		0,11			19,92		0,01
110C;60;M3	3	19,91		0,55%	0,84	20,69	19,91		0,05%
110C;75;M1	1	17,52	18,06		0,33	17,73		18,33	
110C;75;M2	2	18,56		0,52			18,56		0,31
110C;75;M3	3	18,11		2,89%	4,02	22,08	18,11		1,70%
110C;90;M1	1	18,96	17,84		0,93	16,91	18,96	18,66	
110C;90;M2	2	16,20		1,45					0,43
110C;90;M3	3	18,36		8,13%	11,17	29,01	18,36		2,28%
120C;50;M1	1	19,58	20,22		0,46	19,77		20,55	
120C;50;M2	2	20,09		0,72			20,09		0,64
120C;50;M3	3	21,00		3,56%	5,54	25,77	21,00		3,12%
120C;60;M1	1	19,20	19,17		0,19	18,98	19,20	19,32	
120C;60;M2	2	18,85		0,30					0,17
120C;60;M3	3	19,44		1,54%	2,27	21,44	19,44		0,88%
120C;75;M1	1	17,47	18,29		0,50	17,80		18,71	
120C;75;M2	2	18,40		0,78			18,40		0,44
120C;75;M3	3	19,02		4,27%	6,01	24,31	19,02		2,35%
120C;90;M1	1	16,83	19,20		1,49	17,71		20,38	
120C;90;M2	2	21,49		2,33			21,49		1,57
120C;90;M3	3	19,27		12,13%	17,94	37,13	19,27		7,70%
110C;50;S1	1	21,13	20,32		0,46	19,86	21,13	20,57	
110C;50;S2	2	20,01		0,72			20,01		0,79
110C;50;S3	3	19,80		3,52%	5,51	25,83			3,86%
110C;90;S1	1	18,65	19,01		0,21	18,81		19,20	
110C;90;S2	2	19,14		0,32			19,14		0,08
110C;90;S3	3	19,25		1,69%	2,48	21,49	19,25		0,41%
110c;75;s1	1	19,24	19,62		0,23	19,38		19,80	
110c;75;s2	2	19,97		0,36			19,97		0,24
110c;75;s3	3	19,63		1,86%	2,81	22,42	19,63		1,23%

# Penyisihan data untuk nilai VIM dengan metode *chi square*

VIM (%)					chi square				
		percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev
110C;50;M1	1	20,30	18,35		1,15	17,20	20,30	19,16	
110C;50;M2	2	16,74		1,81					1,62
110C;50;M3	3	18,01		9,85%	13,92	32,27	18,01		8,47%
110C;60;M1	1	19,73	19,86		0,07	19,79		19,92	
110C;60;M2	2	19,92		0,11			19,92		0,01
110C;60;M3	3	19,91		0,55%	0,84	20,69	19,91		0,05%
110C;75;M1	1	17,52	18,06		0,33	17,73		18,33	
110C;75;M2	2	18,56		0,52			18,56		0,31
110C;75;M3	3	18,11		2,89%	4,02	22,08	18,11		1,70%
110C;90;M1	1	18,96	17,84		0,93	16,91	18,96	18,66	
110C;90;M2	2	16,20		1,45					0,43
110C;90;M3	3	18,36		8,13%	11,17	29,01	18,36		2,28%
120C;50;M1	1	19,58	20,22		0,46	19,77		20,55	
120C;50;M2	2	20,09		0,72			20,09		0,64
120C;50;M3	3	21,00		3,56%	5,54	25,77	21,00		3,12%
120C;60;M1	1	19,20	19,17		0,19	18,98	19,20	19,32	
120C;60;M2	2	18,85		0,30					0,17
120C;60;M3	3	19,44		1,54%	2,27	21,44	19,44		0,88%
120C;75;M1	1	17,47	18,29		0,50	17,80		18,71	
120C;75;M2	2	18,40		0,78			18,40		0,44
120C;75;M3	3	19,02		4,27%	6,01	24,31	19,02		2,35%
120C;90;M1	1	16,83	19,20		1,49	17,71		20,38	
120C;90;M2	2	21,49		2,33			21,49		1,57
120C;90;M3	3	19,27		12,13%	17,94	37,13	19,27		7,70%
110C;50;S1	1	21,13	20,32		0,46	19,86	21,13	20,57	
110C;50;S2	2	20,01		0,72			20,01		0,79
110C;50;S3	3	19,80		3,52%	5,51	25,83			3,86%
110C;90;S1	1	18,65	19,01		0,21	18,81		19,20	
110C;90;S2	2	19,14		0,32			19,14		0,08
110C;90;S3	3	19,25		1,69%	2,48	21,49	19,25		0,41%
110c;75;s1	1	19,24	19,62		0,23	19,38		19,80	
110c;75;s2	2	19,97		0,36			19,97		0,24
110c;75;s3	3	19,63		1,86%	2,81	22,42	19,63		1,23%

# Penyisihan data nilai Stabilitas dengan metode *chi square*

Stabilitas (kg)					chi square				
		percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev
110C;50;M1	1	1170,47	969,04		112,92	856,12	1170,47	1034,70	
110C;50;M2	2	837,72		177,11					192,01
110C;50;M3	3	898,93		18,28%	1363,70	2332,75	898,93		18,56%
110C;60;M1	1	1299,65	1167,84		80,47	1087,37	1299,65	1227,71	
110C;60;M2	2	1155,77		126,21			1155,77		101,74
110C;60;M3	3	1048,10		10,81%	971,77	2139,61			8,29%
110C;75;M1	1	1446,38	1474,72		25,07	1449,65		1488,90	
110C;75;M2	2	1458,17		39,33			1458,17		43,45
110C;75;M3	3	1519,62		2,67%	302,81	1777,53	1519,62		2,92%
110C;90;M1	1	1480,27	1795,41		246,10	1549,31		1952,98	
110C;90;M2	2	2225,92		385,99			2225,92		386,01
110C;90;M3	3	1680,03		21,50%	2972,05	4767,46	1680,03		19,76%
120C;50;M1	1	1519,62	1445,12		55,95	1389,17	1519,62	1493,48	
120C;50;M2	2	1348,40		87,75					36,97
120C;50;M3	3	1467,34		6,07%	675,66	2120,78	1467,34		2,48%
120C;60;M1	1	1131,32	1360,02		127,53	1232,48		1474,37	
120C;60;M2	2	1446,38		200,03			1446,38		39,59
120C;60;M3	3	1502,36		14,71%	1540,22	2900,23	1502,36		2,68%
120C;75;M1	1	2010,51	1752,75		146,62	1606,14	2010,51	1844,81	
120C;75;M2	2	1568,64		229,96					234,34
120C;75;M3	3	1679,11		13,12%	1770,65	3523,40	1679,11		12,70%
120C;90;M1	1	2408,20	2079,25		184,18	1895,07	2408,20	2185,42	
120C;90;M2	2	1962,64		288,87			1962,64		315,05
120C;90;M3	3	1866,90		13,89%	2224,28	4303,53			14,42%
110C;50;S1	1	1369,80	1490,31		77,48	1412,83		1550,57	
110C;50;S2	2	1612,83		121,53			1612,83		88,05
110C;50;S3	3	1488,30		8,15%	935,75	2426,06	1488,30		5,68%
110C;90;S1	1	1855,86	1804,31		29,32	1774,98	1855,86	1822,72	
110C;90;S2	2	1767,48		45,99					46,87
110C;90;S3	3	1789,58		2,55%	354,13	2158,44	1789,58		2,57%
110C;75;s1	1	1771,17	1591,96		113,87	1478,10	1771,17	1680,95	
110C;75;s2	2	1413,99		178,59					127,58
110C;75;s3	3	1590,74		11,22%	1375,15	2967,11	1590,74		7,59%

# Penyisihan data untuk nilai Flow dengan metode *chi square*

flow (mm)					chi square				
		percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev
110C;50;M1	1	3,90	3,83		0,04	3,80	3,90	3,83	
110C;50;M2	2	3,80		0,06			3,80		0,06
110C;50;M3	3	3,80		1,51%	0,44	4,28	3,80		1,51%
110C;60;M1	1	3,20	3,37		0,18	3,18	3,20	3,37	
110C;60;M2	2	3,70		0,29			3,70		0,29
110C;60;M3	3	3,20		8,57%	2,22	5,59	3,20		8,57%
110C;75;M1	1	3,70	3,45		0,22	3,23	3,70	3,65	
110C;75;M2	2	3,05		0,35					0,07
110C;75;M3	3	3,60		10,14%	2,69	6,14	3,60		1,94%
110C;90;M1	1	3,20	3,27		0,07	3,19	3,20	3,27	
110C;90;M2	2	3,20		0,12			3,20		0,12
110C;90;M3	3	3,40		3,53%	0,89	4,16	3,40		3,53%
120C;50;M1	1	3,90	3,50		0,23	3,27	3,90	3,65	
120C;50;M2	2	3,20		0,36					0,35
120C;50;M3	3	3,40		10,30%	2,78	6,28	3,40		9,69%
120C;60;M1	1	2,85	3,38		0,33	3,05		3,65	
120C;60;M2	2	3,40		0,53			3,40		0,35
120C;60;M3	3	3,90		15,52%	4,04	7,43	3,90		9,69%
120C;75;M1	1	3,60	3,38		0,12	3,26	3,60	3,45	
120C;75;M2	2	3,30		0,19			3,30		0,21
120C;75;M3	3	3,25		5,59%	1,46	4,84			6,15%
120C;90;M1	1	2,75	2,78		0,07	2,72	2,75	2,83	
120C;90;M2	2	2,70		0,10					0,11
120C;90;M3	3	2,90		3,74%	0,80	3,58	2,90		3,75%
110C;50;S1	1	3,35	3,48		0,18	3,31	3,35	3,58	
110C;50;S2	2	3,80		0,28			3,80		0,32
110C;50;S3	3	3,30		7,91%	2,12	5,60			8,90%
110C;90;S1	1	3,80	3,63		0,13	3,50	3,80	3,75	
110C;90;S2	2	3,70		0,21			3,70		0,07
110C;90;S3	3	3,40		5,73%	1,60	5,24			1,89%
110c;75;s1	1	2,60	2,60		0,26	2,34	2,60	2,80	
110c;75;s2	2	2,20		0,40					0,28
110c;75;s3	3	3,00		15,38%	3,08	5,68	3,00		10,10%

# Penyisihan data untuk nilai MQ dengan metode *chi square*

MQ (kg/mm)					chi square				
		percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev
110C;50;M1	1	300,12	252,38		26,86	225,52	300,12	268,34	
110C;50;M2	2	220,45		42,12					44,94
110C;50;M3	3	236,56		16,69%	324,34	576,72	236,56		16,75%
110C;60;M1	1	406,14	348,68		32,09	316,59	406,14	366,84	
110C;60;M2	2	312,37		50,34					55,58
110C;60;M3	3	327,53		14,44%	387,57	736,26	327,53		15,15%
110C;75;M1	1	390,91	430,37		28,16	402,21		450,10	
110C;75;M2	2	478,09		44,17			478,09		39,58
110C;75;M3	3	422,12		10,26%	340,11	770,48	422,12		8,79%
110C;90;M1	1	462,58	550,77		80,60	470,17		594,86	
110C;90;M2	2	695,60		126,41			695,60		142,46
110C;90;M3	3	494,13		22,95%	973,38	1524,15	494,13		23,95%
120C;50;M1	1	389,65	414,20		13,94	400,26		426,47	
120C;50;M2	2	421,37		21,86			421,37		7,21
120C;50;M3	3	431,57		5,28%	168,35	582,55	431,57		1,69%
120C;60;M1	1	396,95	402,53		13,17	389,35	396,95	411,18	
120C;60;M2	2	425,41		20,66			425,41		20,12
120C;60;M3	3	385,22		5,13%	159,11	561,64			4,89%
120C;75;M1	1	558,48	516,82		26,50	490,32	558,48	537,56	
120C;75;M2	2	475,35		41,57					29,58
120C;75;M3	3	516,65		8,04%	320,05	836,87	516,65		5,50%
120C;90;M1	1	875,71	748,79		74,92	673,87	875,71	801,31	
120C;90;M2	2	726,90		117,51			726,90		105,22
120C;90;M3	3	643,76		15,69%	904,83	1653,63			13,13%
110C;50;S1	1	408,90	428,11		13,58	414,53		437,71	
110C;50;S2	2	424,43		21,29			424,43		18,79
110C;50;S3	3	451,00		4,97%	163,95	592,06	451,00		4,29%
110C;90;S1	1	488,38	497,48		16,30	481,18	488,38	507,36	
110C;90;S2	2	477,70		25,57					26,84
110C;90;S3	3	526,35		5,14%	196,86	694,34	526,35		5,29%
110c;75;s1	1	681,22	618,06		50,02	568,04	681,22	661,97	
110c;75;s2	2	642,72		78,45			642,72		27,22
110c;75;s3	3	530,25		12,69%	604,05	1222,11			4,11%

**LAMPIRAN D**  
**DOKUMENTASI PENELITIAN**

---





Persiapan material (aspal) dan pengujian material

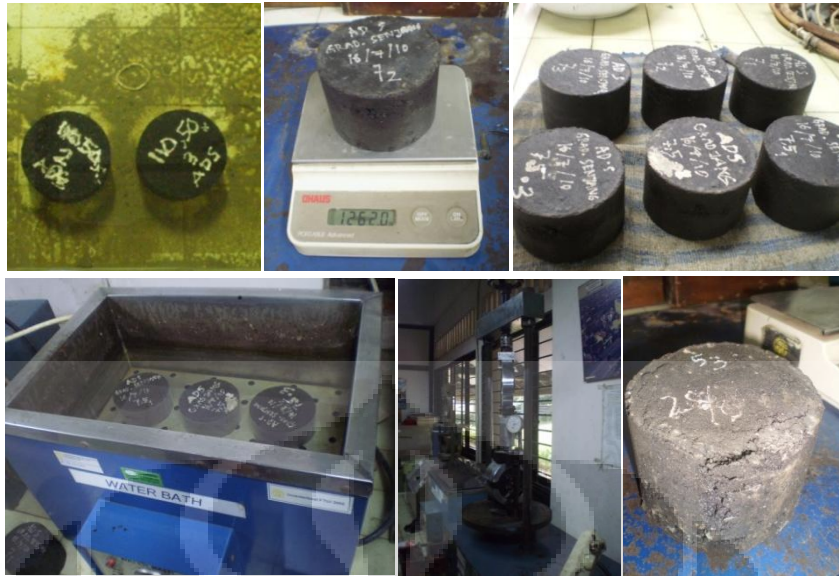


Persiapan material penyusun campuran aspal beton dan persiapan alat bantu penjaga temperatur



Pemanasan agregat, aspal, pencampuran, kemudian pengontrolan temperatur sebelum ditumbuk. Proses pemadatan beserta pengukuran deformasi, pengukuran suhu akhir setelah pemadatan





Perendaman sampel, penimbangan berat sampel, pengeringan kondisi SSD, perendaman dalam *waterbath*, kemudian pengujian dengan alat *Marshall*, sampel setelah diuji

