



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PADA PROSES
PEMADATAN CAMPURAN ASPAL BETON**

SKRIPSI

ALBERTUS WAHYU ANINDITYO

0606071992

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

DEPOK

JANUARI 2011

991/FT.01/SKRIP/01/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PADA
PROSES PEMADATAN CAMPURAN ASPAL BETON**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ALBERTUS WAHYU ANINDITYO
0606071992**

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

991/FT.01/SKRIP/01/2011



UNIVERSITY OF INDONESIA

**ANALYSIS OF INFLUENCE OF TEMPERATURE
VARIATION ON ASPHALT CONCRETE MIXTURE
COMPACTION PROCESS**

UNDERGRADUATE THESIS

Proposed as a requirement to get bachelor degree

**ALBERTUS WAHYU ANINDITYO
0606071992**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Albertus Wahyu Anindityo

NPM : 0606071992

Tanda Tangan :



Tanggal : 5 Januari 2011


ORIGINALITY PAGE

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

Name : Albertus Wahyu Anindityo

NPM : 0606071992

Signature :



Date : January 5th, 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Albertus Wahyu Anindityo

NPM : 0606071992


Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Variasi Temperatur pada Proses Pemasatan
Campuran Aspal Beton

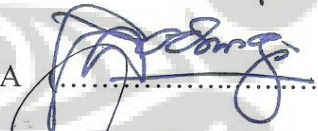
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

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 LEGIMITATION

The final report is submitted by:

Name : Albertus Wahyu Anindityo

NPM : 0606071992

Study Program : Civil Engineering

Title of final report : Analysis of Influence of Temperature Variation on
Asphalt Concrete Mixture Compaction Process

Has been succesfully 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

(*Heddy R. Agah*)

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

(*Sigit P. Hadiwardoyo*)

Examiner : Ir. Alan Marino, M.Sc

(*Alan Marino*)

Approved at : Depok

Date : January 5th 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk skripsi dengan judul “**Analisa Pengaruh Variasi Temperatur pada Proses Pemadatan Campuran Aspal Beton**“. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mengalami berbagai hambatan. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga proses penyusunan skripsi ini, tidaklah mudah untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir.Heddy R. Agah, M.Eng sebagai pembimbing dari tahap penulisan seminar skripsi hingga tahap skripsi ini. Betapa bimbingan dan arahan dari beliau telah membantu penulis menyadari pentingnya menguasai konsep terlebih dahulu, kemudian menguasai materi, hingga akhirnya dapat dituangkan dalam sebuah karya tulis.
2. Dr.Ir. Sigit P. Hadiwardoyo, DEA dan Ir. Alan Marino, M.Sc sebagai penguji sidang seminar dan skripsi. Terima kasih atas kesediaannya menguji di tengah-tengah kesibukan dan memberi masukan yang positif terhadap skripsi penulis.
3. Dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang sudah membimbing penulis dari awal masa perkuliahan.
4. Bapak Yohanes Tri Sunindyo dan Ibu Theresia Endang Setyawati, orangtua penulis, yang telah membesarkan dan mendidik penulis hingga menjadi seperti sekarang. Tanpa orangtua penulis, yang telah banyak berkorban terutama demi pendidikan anak-anak mereka, sangatlah mustahil penulis dapat melangsungkan pendidikan hingga tahap ini. Untuk kakak dan adik

penulis : Lucia Ayu Arsita dan Antonius Bayu Nugroho, terima kasih juga atas dukungan yang tak henti-hentinya mengalir.

5. Teman-teman seperjuangan : Dicky Pratama dan Satabrasyahdin Hutabarat, atas kerjasama dan kekompakan yang berlangsung selama proses penyusunan skripsi, terutama ketika masa berdarah-darah di laboratorium aspal. Teman-teman *Transporter* : Madie, Saffa, Aldi, Aat, Uday, Singgih, Mujib, Aji, dan lainnya, terima kasih atas dukungan langsung maupun tidak langsungnya. Teman-teman Sipil 06 : Ahmad, Andri, Agus, Rio, Rinaldi, Anggi, Denny, Pudia, dan lainnya yang tidak mungkin disebut satu per satu, terima kasih banyak!
6. Karyawan Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil UI, khususnya Laboratorium Aspal : Jaya, Nendar, Agus, Syafri, Yudi, Nafi, Obet, dan lainnya. Beliau-beliau ini berjasa besar dalam membantu penulis ketika masa-masa pengujian material. Terima kasih juga atas suasana menyenangkan yang tercipta di sela-sela penelitian.
7. Benedicta Trixie Ariestianti, atas perhatian dan dukungan penuhnya selama proses penyusunan skripsi penulis. Terima kasih juga karena telah beberapa kali mengingatkan penulis agar secepatnya menyelesaikan karya tulis ini, sehingga dia sendiri dapat menghadiri sidang skripsi penulis pada waktu yang tepat.

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

Depok, 2 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 : Albertus Wahyu Anindityo
NPM : 0606071992
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR 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 mempublikasikan 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



(Albertus Wahyu Anindityo)

ABSTRAK

Nama : Albertus Wahyu Anindityo
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : *Analisa Pengaruh Variasi Temperatur pada Proses Pematatan Campuran Aspal Beton*

Aspal beton merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan lentur, jenis lapis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat bergradasi menerus maupun senjang dengan aspal (bitumen) sebagai bahan pengikat. Dalam pelaksanaannya, aspal beton ini dibuat dalam keadaan panas (*hotmix*), baik pada tahap pencampuran, penghamparan maupun pada tahap pematatannya dilaksanakan pada temperatur tertentu. Aspal termasuk bahan yang thermoplastik dimana konsistensinya akan berubah apabila temperatur berubah, sehingga sifat aspal akan berpengaruh terhadap nilai Marshall campuran. Maka dari itu maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui sampai sejauh mana pengaruh variasi temperatur pematatan yaitu : 90° C, 100° C, 110° C, dan 120° C pada proses pematatan dengan variasi jumlah tumbukan yaitu : 2x75 dan 2x90 tumbukan, serta variasi gradasi agregat dengan bahan ikat Aspal Shell Penetrasi 60/70.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, nilai VMA maupun VIM cenderung menurun seiring bertambahnya temperatur pematatan, sedangkan nilai stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* meningkat seiring bertambahnya temperatur pematatan. Untuk nilai deformasi, campuran dengan gradasi menerus cenderung tinggi pada temperatur antara 110° C dan 120° C, sedangkan pada campuran dengan gradasi senjang, nilai deformasi tertinggi diperoleh pada temperatur 90° C.

Kata Kunci : *Hotmix*, Temperatur, Pematatan, Gradasi, VMA, VIM, Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient*, Deformasi

ABSTRACT

Name : Albertus Wahyu Anindityo
Study Program : Civil Engineering
Title : *Analysis of Influence of Temperature Variation on Asphalt Concrete Mixture Compaction Process*

Asphalt concrete is one type of flexible pavement layers, this type of pavement layer is a mixture evenly between continuous and gap graded aggregate with asphalt (bitumen) as the binder. Practically, asphalt concrete is made in a hot state (hotmix), in which at the stage of mixing, laying and compacting are held at a certain temperature. Asphalt is a thermoplastic material and its consistency will change when temperature changes, so that properties of bitumen will affect the value of the Marshall mix. Thus, the purpose of this research is to know the extent of the effect of compaction temperature variations, which are: 90⁰C, 100⁰C, 110⁰C, and 120⁰C by varying the number of collisions, which are: 2x75 and 2x90 collision, and the variation of aggregate gradation with a binder in the form of Shell Asphalt Penetration 60/70.

Based on the results obtained, the value of VMA and VIM tend to decrease with the increasing of compaction temperature, while the value of stability, flow, and Marshall Quotient increase with the increasing of compaction temperature. For the value of deformation, the mixtures with continuous gradation tend to be high at a temperature between 110⁰C and 120⁰C, while in mixtures with gap gradation, the highest deformation values obtained at a temperature of 90⁰C.

Key word : Hotmix, Temperature, Compaction, Gradation, VMA, VIM, Stability, Flow, Marshall Quotient, Deformation

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ORIGINALITY PAGE	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
STATEMENT OF LEGIMITATION	vi
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Maksud dan Tujuan	2
I.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
I.4 Batasan Penelitian.....	3
I.5 Metodologi Penulisan	3
I.6 Sistematika Penulisan	4
II. STUDI LITERATUR	5
II.1 Lapisan Perkerasan Lentur	5
II.2 Lapisan Permukaan.....	6
II.3 Campuran Aspal Beton	7
II.3.1 Aspal	7
II.3.2 Agregat.....	13
II.4 Uji Marshall.....	15
II.4.1 Perancangan Campuran (<i>Mix Design</i>)	18
II.4.2 Pencampuran (<i>Mixing</i>).....	23
II.4.3 Penghamparan (<i>Laying</i>)	24
II.4.4 Pemasadatan (<i>Compacting</i>)	25
II.5 Pengolahan Data dengan Metode <i>Chi Square</i>	27
III. METODOLOGI PENELITIAN	29
III.1 Metode Kerja Penelitian.....	29
III.2 Bagan Alir Penelitian.....	32
III.3 Pelaksanaan	33
III.3.1 Bahan Baku Penelitian	33
III.3.2 Standar Pengujian	33
III.3.3 Pengujian Pemeriksaan Agregat.....	41
III.3.4 Metode Pengujian Marshall	44
III.3.5 Uji Pemasadatan dengan Variasi Temperatur	50

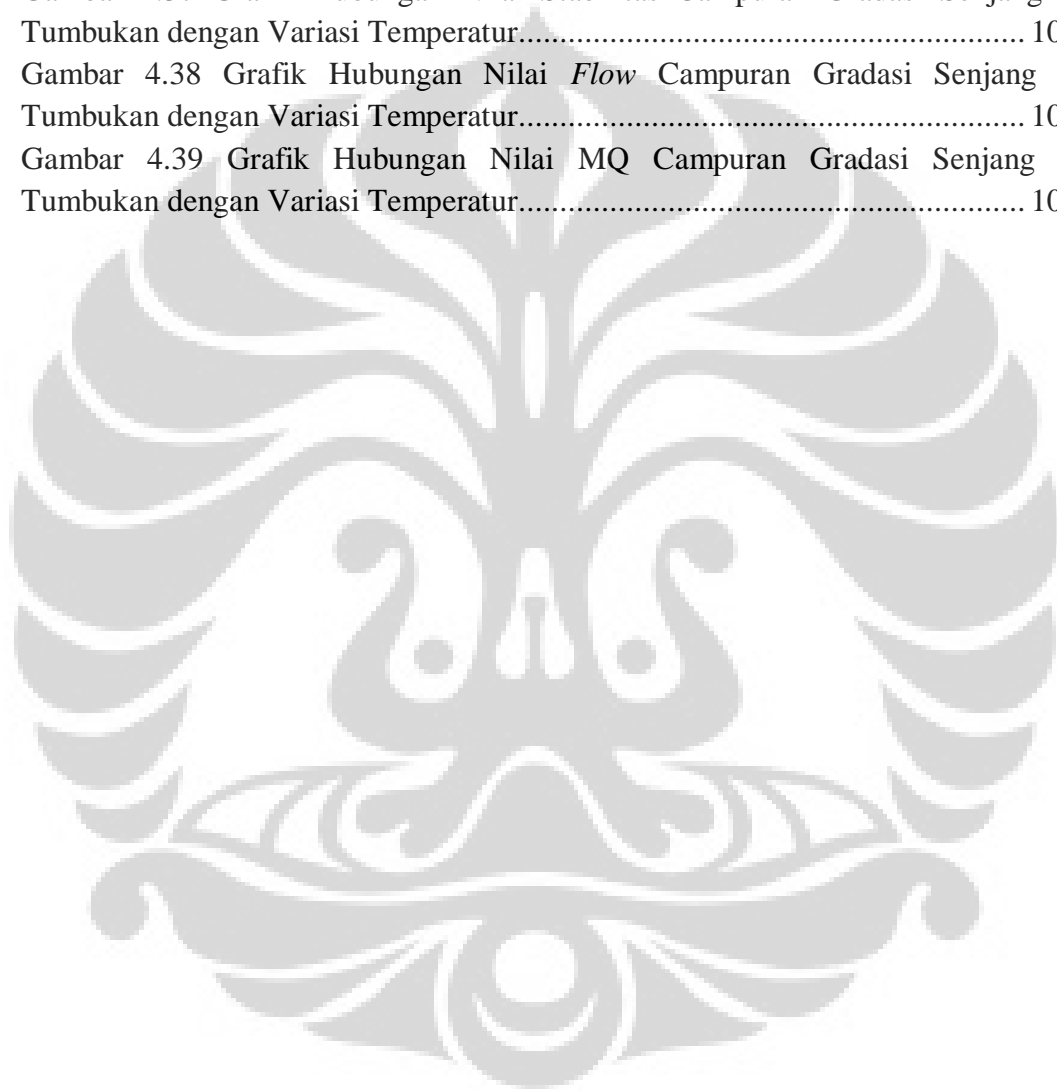
IV. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	55
IV.1. Pemeriksaan Material Aspal dan Agregat.....	55
IV.1.1 Pemeriksaan Material Aspal.....	55
IV.1.2 Pemeriksaan Agregat	57
IV.1.3 Analisa Saringan.....	58
IV.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum	60
IV.2.1 Perancangan Benda Uji dengan Gradasi Menerus	60
IV.2.2 Perancangan Benda Uji dengan Gradasi Senjang	64
IV.2.3 Pengujian Marshall untuk Kadar Aspal Optimum	65
IV.3. Pemadatan Campuran Aspal Beton	72
IV.3.1 Pembuatan Benda Uji dengan Kadar Aspal Optimum	72
IV.3.2 Pengaturan Temperatur Campuran Aspal Beton.....	74
IV.3.3 Pemadatan dan Pengukuran Deformasi Campuran Aspal Beton dengan Variasi Temperatur.....	75
IV.4. Hasil Uji Marshall.....	87
IV.4.1 Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Kinerja Campuran dengan Gradasi Menerus	89
IV.4.2 Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Kinerja Campuran dengan Gradasi Senjang	100
V. PENUTUP	106
V.1 Kesimpulan.....	106
V.2 Saran	111
DAFTAR PUSTAKA.....	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Susunan Lapisan Perkerasan Lentur	5
Gambar 2.2 Alat Uji Marshall	18
Gambar 2.3 Contoh Grafik Hubungan Kadar Aspal vs. Data Kinerja Campuran.	23
Gambar 2.4 Alat Uji <i>Compactor</i>	26
Gambar 2.5 <i>Chi Square Distribution</i> untuk Berbagai Nilai v	28
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian.....	32
Gambar 3.2 Cetakan Benda Uji Daktilitas	39
Gambar 3.3 <i>Band Heater</i>	51
Gambar 3.4 Thermostat.....	52
Gambar 3.5 Jangka Sorong	53
Gambar 4.1 Grafik Sebaran Gradasi Gabungan	60
Gambar 4.2 Grafik Awal Persentase Agregat Campuran dengan Gradasi Menerus	62
Gambar 4.3 Grafik Persentase Agregat Campuran Gradasi Menerus dengan <i>Filler</i> 2%	63
Gambar 4.4 Hasil Uji Marshall Campuran dengan Gradasi Menerus	68
Gambar 4.5 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran dengan Gradasi Menerus	69
Gambar 4.6 Hasil Uji Marshall Campuran dengan Gradasi Senjang	71
Gambar 4.7 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran dengan Gradasi Senjang	72
Gambar 4.8 Pemanasan dan Pengukuran Temperatur Aspal	74
Gambar 4.9 (a) Proses Pemanasan Agregat; (b) Pengukuran Temperatur Agregat	74
Gambar 4.10 Cetakan Benda Uji Dipasangi <i>Band Heater</i>	75
Gambar 4.11 Pemeriksaan Temperatur <i>Band Heater</i>	75
Gambar 4.12 Proses Pengukuran Deformasi pada Ketiga Sisi Permukaan Campuran	76
Gambar 4.13 Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Menerus Sampel 1	78
Gambar 4.14 Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Menerus Sampel 2	78

Gambar 4.15 Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Menerus Sampel 3	79
Gambar 4.16 Grafik Deformasi Tumbukan 2x90 Campuran Gradasi Menerus Sampel 1	79
Gambar 4.17 Grafik Deformasi Tumbukan 2x90 Campuran Gradasi Menerus Sampel 2	80
Gambar 4.18 Grafik Deformasi Tumbukan 2x90 Campuran Gradasi Menerus Sampel 3	80
Gambar 4.19 Grafik Hubungan Temperatur Pemadatan dengan Nilai Deformasi Campuran Gradasi Menerus dengan Tumbukan 2x75.....	81
Gambar 4.20 Grafik Hubungan Temperatur Pemadatan dengan Nilai Deformasi Campuran Gradasi Menerus dengan Tumbukan 2x90.....	82
Gambar 4.21 Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Senjang Sampel 1	83
Gambar 4.22 Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Senjang Sampel 2	84
Gambar 4.23 Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Senjang Sampel 3	84
Gambar 4.24 Grafik Hubungan Temperatur Pemadatan dengan Nilai Deformasi Campuran Gradasi Senjang dengan Tumbukan 2x90.....	85
Gambar 4.25 Grafik Hubungan Nilai VMA Campuran Gradasi Menerus 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	89
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Nilai VMA Campuran Gradasi Menerus 2x90 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	90
Gambar 4.27 Grafik Hubungan Nilai VIM Campuran Gradasi Menerus 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	91
Gambar 4.28 Grafik Hubungan Nilai VIM Campuran Gradasi Menerus 2x90 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	92
Gambar 4.29 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas Campuran Gradasi Menerus 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	93
Gambar 4.30 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas Campuran Gradasi Menerus 2x90 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	94
Gambar 4.31 Grafik Hubungan Nilai <i>Flow</i> Campuran Gradasi Menerus 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	95
Gambar 4.32 Grafik Hubungan Nilai <i>Flow</i> Campuran Gradasi Menerus 2x90 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	96
Gambar 4.33 Grafik Hubungan Nilai MQ Campuran Gradasi Menerus 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	98

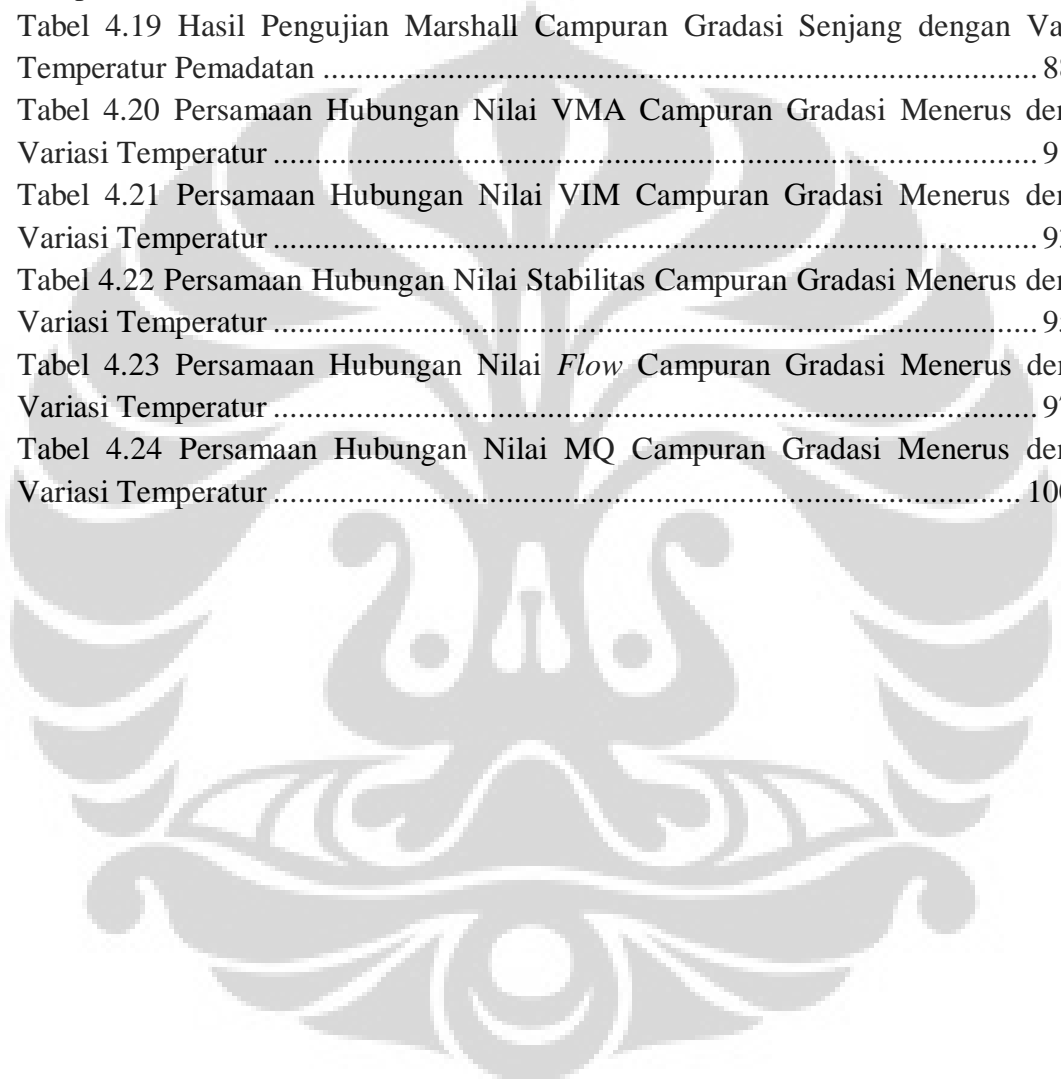
Gambar 4.34 Grafik Hubungan Nilai MQ Campuran Gradasi Menerus 2x90 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	99
Gambar 4.35 Grafik Hubungan Nilai VMA Campuran Gradasi Senjang 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	101
Gambar 4.36 Grafik Hubungan Nilai VIM Campuran Gradasi Senjang 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	102
Gambar 4.37 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas Campuran Gradasi Senjang 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	103
Gambar 4.38 Grafik Hubungan Nilai <i>Flow</i> Campuran Gradasi Senjang 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	104
Gambar 4.39 Grafik Hubungan Nilai MQ Campuran Gradasi Senjang 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur.....	105



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan Aspal Keras	9
Tabel 2.2 Syarat Gradasi untuk <i>Filler</i>	15
Tabel 2.3 Persyaratan Campuran Lapis Aspal Beton	17
Tabel 2.4 Persentase Minimum Rongga dalam Agregat.....	17
Tabel 2.5 Batas-batas Agregat Gradasi Menerus untuk Campuran.....	17
Tabel 2.6 Kriteria Umum Perencanaan Marshall	21
Tabel 3.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran dengan Gradasi Menerus (HMA).....	31
Tabel 3.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran dengan Gradasi Senjang (HRS)	31
Tabel 3.3 Jumlah Benda Uji untuk Proses Pemadatan dengan Variasi Temperatur	31
Tabel 3.4 Viskositas Penentu Suhu.....	47
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Material Aspal	56
Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Agregat.....	57
Tabel 4.3 Analisa Sebaran Butiran Agregat Kasar	58
Tabel 4.4 Analisa Sebaran Butiran Agregat Medium.....	59
Tabel 4.5 Analisa Sebaran Butiran Agregat Halus	59
Tabel 4.6 Perhitungan Awal Persentase Agregat Campuran Gradasi Menerus	61
Tabel 4.7 Perhitungan Persentase Agregat Campuran Gradasi Menerus dengan <i>Filler</i>	62
Tabel 4.8 Pedoman Komposisi Campuran dengan Sebaran Gradasi Senjang	64
Tabel 4.9 Perhitungan Persentase Agregat Senjang	64
Tabel 4.10 Jumlah Benda Uji dengan Gradasi Agregat Menerus untuk Mencari KAO	66
Tabel 4.11 Jumlah Benda Uji dengan Gradasi Agregat Senjang untuk Mencari KAO	66
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Marshall terhadap Campuran Aspal dengan Gradasi Menerus (HMA)	67
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Marshall terhadap Campuran Aspal dengan Gradasi Senjang (HRS).....	70
Tabel 4.14 Lingkup Pengukuran Deformasi Campuran Aspal Beton dengan Variasi Temperatur	77

Tabel 4.15 Jumlah Benda Uji dalam Lingkup Pengukuran Deformasi Campuran Aspal Beton.....	77
Tabel 4.16 Persamaan Grafik Pengaruh Temperatur Pematatan terhadap Deformasi Campuran Gradasi Menerus.....	82
Tabel 4.17 Perubahan Temperatur yang Terjadi Selama Proses Pematatan	86
Tabel 4.18 Hasil Pengujian Marshall Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur Pematatan	88
Tabel 4.19 Hasil Pengujian Marshall Campuran Gradasi Senjang dengan Variasi Temperatur Pematatan	88
Tabel 4.20 Persamaan Hubungan Nilai VMA Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur	91
Tabel 4.21 Persamaan Hubungan Nilai VIM Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur	93
Tabel 4.22 Persamaan Hubungan Nilai Stabilitas Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur	95
Tabel 4.23 Persamaan Hubungan Nilai <i>Flow</i> Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur	97
Tabel 4.24 Persamaan Hubungan Nilai MQ Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur	100



BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Penggunaan dan penerapan aspal beton sebagai material utama dalam perkerasan jalan di Indonesia sebenarnya sudah dilaksanakan sejak lama. Dalam beberapa tahun terakhir, kebutuhan pemakaian aspal beton di Indonesia cukup meningkat. Seperti yang telah diketahui, aspal beton merupakan campuran aspal dan agregat bergradasi rapat atau yang sering disebut sebagai gradasi menerus dimana komposisi agregatnya menunjukkan pembagian butir yang merata sehingga dapat menghasilkan campuran yang sangat padat. Seiring dengan penggunaannya, banyak ditemukan masalah-masalah terutama dalam hal teknis perkerasan jalan yang mengakibatkan kinerja lapisan permukaan berkurang. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja aspal beton tersebut adalah perubahan temperatur.

Kondisi natural negara Indonesia yang termasuk negara-negara beriklim tropis mempengaruhi secara langsung kondisi desain jalan yang ada. Selain menerima temperatur tinggi dari radiasi sinar matahari dan curah hujan yang tinggi, lapisan permukaan jalan juga menerima panas akibat gaya gesek roda kendaraan yang melintas di atasnya. Apabila temperatur naik melampaui titik leleh aspal, maka viskositas atau kekentalan campuran aspal akan menurun sehingga fungsinya sebagai bahan pengikat dalam campuran menjadi berkurang.

Pengetahuan tentang sifat viskoelastis aspal juga berguna untuk mengetahui pada temperatur berapa pemadatan dapat dilakukan dan kapan harus dihentikan. Bila pemadatan dilakukan pada temperatur dimana kondisi aspal masih sangat viskos,

maka pada saat pemadatan akan terjadi pergeseran campuran beraspal karena campuran tersebut belum cukup kaku untuk memikul beban dari alat pemadat. Sebaliknya, bila pemadatan dilakukan pada temperatur yang sangat rendah dimana campuran sudah bersifat kurang elastis (cukup kaku) maka pemadatan yang diberikan tidak lagi akan menaikkan kepadatan campuran tetapi justru akan merusak atau mungkin menghancurkan campuran tersebut. Temperatur pemadatan aspal yang biasa digunakan untuk jalan raya di Indonesia berkisar antara 93,3°C dan 148,9°C (*Buku Panduan Praktikum Pemeriksaan Bahan Perkerasan Jalan Laboratorium Struktur dan Material Departemen Sipil FTUI*).

Pada karya tulis ini dianalisa pengaruh temperatur terhadap sifat campuran aspal beton dalam proses pemadatannya. Temperatur yang diuji pada proses pemadatan campuran dibagi menjadi 4 (empat) variasi temperatur, yaitu 90⁰C, 100⁰C, 110⁰C, dan 120⁰C. Hasil uji Marshall campuran aspal beton yang ditinjau berdasarkan pengaruh variasi temperatur pemadatan yaitu stabilitas, *Marshall Quotient* (MQ), Kelelehan, Rongga dalam Campuran (VIM), dan Rongga dalam Agregat (VMA).

I.2. Maksud dan Tujuan

Maksud penulisan karya tulis ini adalah :

- Mempelajari karakteristik campuran Laston (HMA) dan Lataston (HRS) berdasarkan pengaruh variasi temperatur pada proses pemadatan campuran yang menggunakan aspal Shell penetrasi 60/70.

Tujuan penulisan karya tulis ini adalah :

- Mengkaji pengaruh variasi temperatur pada proses pemadatan campuran Laston (HMA) dan Lataston (HRS) penetrasi 60/70.
- Mengkaji nilai deformasi campuran aspal beton penetrasi 60/70 akibat variasi temperatur dan jumlah tumbukan.

I.3. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah penentuan karakteristik campuran aspal pada Lapis Aspal Beton (Laston) IV dan Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) dengan hasil uji Marshall dimana pada proses pematatannya telah dimodifikasi dari prosedur dan standar yang ditetapkan. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

I.4. Batasan Penelitian

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut. :

- Penelitian hanya dilakukan di laboratorium, tidak dilakukan percobaan di lapangan
- Pengujian dilakukan dengan alat uji Marshall
- Tidak dilakukan penelitian terhadap perubahan sifat kimia dari bahan
- Bahan pembentuk Laston yang digunakan dalam penelitian ini adalah :
 - Aspal Shell penetrasi 60/70
 - Agregat kasar berupa batu pecah (split)
 - Agregat halus
 - Filler

I.5. Metodologi Penulisan

Metodologi penulisan yang digunakan dalam penulisan karya tulis ini adalah berupa penyajian data-data yang diperoleh dari :

- Studi literatur
- Percobaan di laboratorium
- Analisa hasil percobaan di laboratorium

I.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan adalah :

1) BAB I : PENDAHULUAN

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

2) BAB II : STUDI LITERATUR

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

3) BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

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

4) BAB IV : ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

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

5) BAB VI : PENUTUP

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

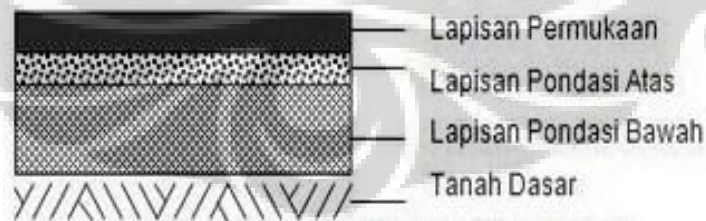
BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Lapisan Perkerasan Lentur

Berdasarkan bahan ikatnya, lapisan perkerasan jalan dibagi atas tiga kategori yaitu lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*), lapisan perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan lapisan perkerasan komposit yang merupakan gabungan perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar yang telah dipadatkan. Susunan lapisan tersebut sesuai dengan (**Gambar 2.1**) yaitu:

- Lapisan permukaan (*surface coarse*)
- Lapisan pondasi atas (*base coarse*)
- Lapisan pondasi bawah (*sub-base coarse*)
- Lapisan tanah dasar (*subgrade*)



Gambar 2.1. Susunan Lapisan Perkerasan Lentur

II.2. Lapisan Permukaan

Lapisan permukaan (*surface coarse*) adalah lapisan yang terletak paling atas pada susunan lapisan perkerasan jalan. Karena lapisan ini berfungsi sebagai penahan beban roda kendaraan yang melintas di atasnya, maka lapisan ini setidaknya memiliki stabilitas yang tinggi selama masa pelayanan. Selain itu, lapisan permukaan juga harus memiliki sifat kedap air agar air hujan yang jatuh di atas permukaan tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut. Lapis permukaan juga dapat digunakan sebagai lapisan penyebar beban ke lapisan di bawahnya sehingga dapat memikul beban secara merata.

Jenis lapisan permukaan yang umum digunakan di Indonesia adalah :

- Lapis Tipis Aspal Beton (Laston) atau *Hot Roll Sheet* (HRS).
 - Merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, mineral pengisi (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas.
- Lapis Aspal Beton (Laston)
 - Laston (AC) merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan pada suhu tertentu.
- *Asphalt Treated Base* (ATB)
 - Merupakan formulasi untuk meningkatkan keawetan dan ketahanan kelelahan. Material lapisan ini hampir sama dengan campuran dari Laston.
- Penetrasi Macadam (Lapen)

- Merupakan lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal dengan cara disemprotkan diatas dan dipadatkan lapis demi lapis.

II.3. Campuran Aspal Beton

Menurut bahan penyusunnya, campuran aspal beton memiliki kandungan aspal dan agregat dengan kadar tertentu.

II.3.1. Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat terdiri dari *hydrocarbon* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro-ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna coklat tua sampai hitam dengan bitumen sebagai kandungan utama, diperoleh secara alamiah maupun dari hasil penyulingan minyak bumi (Krebs and Walker, 1971). Aspal cair juga sering digunakan sebagai bahan lapis peresap (*prime coat*) dan lapis pengikat (*tack coat*) dalam pembangunan dan pemeliharaan konstruksi jalan. Sifat-sifat teknis aspal cair tersebut dan tingkat kemudahan dalam pelaksanaan di lapangan tergantung kepada nilai kekentalannya yang mana sangat dipengaruhi oleh jenis bahan pelarutnya dan juga suhu pelaksanaan (Bina Marga, 1976). Dari segi molekulnya, aspal terdiri atas *asphalthenes*, *resins*, dan *oils*.

- *Asphalthenes* merupakan bagian aspal yang memiliki berat molekul terbesar yang menentukan wujud dari aspal.
- *Resins* memiliki berat molekul menengah yang berpengaruh terhadap sifat adhesif dan kekenyalan aspal. *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.

- *Oils* mempunyai berat molekul paling ringan yang mempengaruhi kekentalan aspal.

Jenis Aspal

Umumnya, aspal terdiri dari 3 jenis, yaitu :

- 1). Aspal Alam, terbentuk oleh adanya minyak bumi yang mengalir ke permukaan bumi melalui celah-celah bumi. Proses terbentuknya aspal alam ini adalah penguapan bagian yang ringan pada minyak bumi oleh matahari sehingga hanya tertinggal residu yang berwarna hitam dan plastis.
- 2). Tar, diperoleh dari proses destilasi batubara. Jenis aspal ini tidak digunakan pada pekerjaan aspal di Indonesia.
- 3). Aspal Minyak, diperoleh dari proses destilasi minyak bumi yang memiliki kandungan aspal. Minyak bumi yang mengandung paraffin tidak digunakan dalam pembuatan aspal, karena residu yang diperoleh tidak dapat memberikan ikatan. Aspal minyak dapat digunakan pada pekerjaan-pekerjaan pengaspalan dengan berbagai nama, yaitu :
 - Aspal Keras (*Asphalt Cement*)

Aspal keras adalah jenis aspal minyak yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan hampa udara, yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat. Aspal keras dikelompokkan berdasarkan kekerasan yang disebut penetrasi.

Tabel 2.1. Persyaratan Aspal Keras

Jenis pemeriksaan	Penetrasi 40/50		Penetrasi 60/70		Penetrasi 80/10	
	min	max	min	max	Min	max
Penetrasi 25°C, 100 gr, 5 detik	40 mm	59 mm	60 mm	79 mm	80 mm	99 mm
Titik lembek 5°C (<i>Ring and ball</i>)	51	63	48	58	46	54
Titik nyala (<i>cleaveland open cup</i>)	232°C	-	232°C	-	232°C	-
Kehilangan berat (<i>thick film oven test</i>)	-	0,4%	-	0,4%	-	0,4%
Kelarutan dalam CCl ₄	99%	-	99%	-	99%	-
Daktalitas	100 cm	-	100 cm	-	100 cm	-
Penetrasi setelah kehilangan berat	75%	-	75%	-	75%	-
Berat jenis 25°C	1 gr/cc	-	1 gr/cc	-	1 gr/cc	-

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

- Aspal Cair

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

- Kadar paraffin tidak lebih dari 2%
- Tidak mengandung air dan jika dipakai tidak menunjukkan pemisahan atau penggumpalan

- Aspal Emulsi

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

Sifat-sifat Campuran Aspal

➤ Sifat Kimia Aspal

1) *Asphaltene*

Asphaltene adalah unsur kimia aspal yang padat yang tidak larut dalam n-penten. *Asphaltene* berwarna coklat sampai hitam yang mengandung karbon dan hidrogen dengan perbandingan 1 : 1. Molekul *asphaltene* memiliki ukuran 5-30 nano meter.

2) *Malthene*

Malthene adalah unsur kimia yang terdapat di aspal selain *asphaltene*. Unsur *malthene* dapat dibagi lagi menjadi *resin*, aromatik, dan *saturated*.

➤ Sifat Fisik Aspal

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

beraspal antara lain adalah :

1). Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi permanen yang disebabkan oleh lalu lintas, baik beban yang bersifat statis maupun dinamis sehingga campuran akan tidak mudah aus, bergelombang, melendut, bergeser, dan lain-lain.

2). Durabilitas (Keawetan/Daya Tahan)

Durabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk mempertahankan kualitasnya dari disintegrasi atas unsur-unsur pembentuknya yang diakibatkan oleh beban lalu lintas dan pengaruh cuaca. Campuran aspal harus mampu bertahan terhadap perubahan yang disebabkan oleh :

- Proses penuaan pada aspal dimana aspal akan menjadi lebih keras. Hal ini disebabkan oleh pengaruh oksidasi dari udara dan proses penguapan yang berakibat akan menurunkan daya lekat dan kekenyalan aspal.
- Pengaruh air yang menyebabkan kerusakan atau kehilangan sifat lekat antara aspal dan material lainnya.

3). Fleksibilitas (Kelenturan)

Fleksibilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk dapat menahan deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan :

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

4). *Skid Resistance* (Kekesatan)

Skid resistance adalah kekesatan lapisan permukaan yang akan berkaitan dengan kemampuan permukaan lapis keras tersebut untuk melayani arus lalu lintas kendaraan yang lewat di atasnya tanpa terjadi skidding slipping pada saat kondisi permukaan basah.

5). *Fatigue Resistance* (Ketahanan Kelelahan)

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

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

6). *Workability* (Kemudahan Pelaksanaan)

Workability adalah campuran agregat aspal harus mudah dikerjakan saat pencampuran, penghamparan dan pemadatan, untuk mencapai satuan berat jenis yang diinginkan tanpa mengalami suatu kesulitan sampai mencapai tingkat pemadatan yang diinginkan dengan peralatan yang memungkinkan.

➤ **Sifat Aspal terhadap Temperatur**

Aspal merupakan material yang bersifat viskoelastis dan memiliki ciri yang beragam mulai dari yang bersifat lekat sampai yang bersifat elastis. Diantara sifat aspal lainnya adalah aspal mempunyai sifat *rheologic* (mekanis), yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat, sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).

Aspal juga merupakan bahan yang *thermoplastis*, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer, demikian pula sebaliknya. Pada saat pemadatan dan pencampuran, sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai viskositasnya, sedangkan pada sebagian besar

kondisi saat masa layan, aspal mempunyai sifat viskositas yang diwujudkan dalam suatu modulus kekakuan (*Shell*, 1990).

Pada lalu lintas dengan lalu lintas tinggi dan atau temperatur tinggi diperlukan aspal yang dapat menghasilkan campuran yang mempunyai deformasi permanen kecil atau Stabilitas Marshall tinggi serta titik lembek tinggi sehingga aspal ini akan tahan terhadap perubahan temperatur dan memperkecil terjadinya kerusakan/ deformasi (Suroso, Tjitjik Wasiah Suroso, 2005).

II.3.2. Agregat

Agregat merupakan suatu bahan keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran, yang berupa berbagai jenis butiran atau pecahan hasil dari pemisahan dari pasir, kerikil, batu pecah, abu/debu agregat, slag, atau material lain dari komposisi mineral. Agregat dapat diperoleh secara alamiah maupun secara buatan seperti batu pecah dengan berbagai ukuran hasil dari mesin pemecah batu. Bentuk butiran agregat yang baik adalah yang memiliki segi teratur dan mendekati bentuk kubus (tidak pipih) supaya bisa saling mengunci, sehingga menambah kestabilan campuran. Tekstur butiran agregat yang baik adalah kasar, karena daya ikat antara agregat dengan aspal yang menyelimuti akan kuat, dan semakin kasar permukaan agregat akan semakin tinggi stabilitas serta keawetan campuran yang dihasilkan.

Agregat dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*).

➤ Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm (RSNI Bangunan Gedung, 2002), dengan kata lain agregat yang tertahan oleh saringan No.4. Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah

atau kerikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet dan bebas dari bahan lain yang mengganggu, serta memenuhi persyaratan sebagai berikut.

- a. Keausan pada 500 putaran maksimum 40 % ;
- b. Kelekatan dengan aspal minimum 95 % ;
- c. Jumlah berat butiran tertahan saringan No.4 yang mempunyai paling sedikit dua bidang pecah (visual) minimum 50 % ;
- d. Indeks kepipihan/kelonjongan butiran tertahan saringan 9,5 mm atau $\frac{3}{8}$ maksimum 25 %;
- e. Penyerapan air maksimum 3 % ;
- f. Berat jenis curah (bulk) minimum 2,5 ;
- g. Bagian yang lunak maksimum 5 % ;

➤ **Agregat Halus**

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran sebesar 5 mm (RSNI Bangunan Gedung, 2002), atau agregat yang lolos saringan No.4. Agregat halus dari pasir alam atau pasir buatan atau pasir terak atau gabungan bahan-bahan tersebut. Agregat halus harus bersih, kering, kuat, bebas dari gumpalan-gumpalan lempung dan bahan-bahan lain yang mengganggu. Agregat harus terdiri dari butir-butir yang bersudut tajam dan mempunyai permukaan yang kasar. Agregat halus harus memenuhi persyaratan :

- a. Nilai Sand Equivalent minimum 50 % ;
- b. Berat jenis curah (bulk) minimum 2,5 ;

- c. Peresapan agregat terhadap air maksimum 3 % ;
- d. Pemeriksaan Atterberg Limit harus menunjukkan bahan adalah non plastis

➤ **Bahan Pengisi (*Filler*)**

Filler merupakan material pengisi yang terdiri dari abu batu, abu batu kapur, semen (pc) atau bahan nonplastis lainnya. Bahan pengisi merupakan bahan yang lolos saringan no.30 (0,59 mm) dan paling sedikit 65 % lolos saringan no.200 (0,075 mm). Filler atau bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu dan apabila dilakukan pemeriksaan analisa saringan secara basah harus memenuhi gradasi yang ditunjukkan pada **Tabel 2.2.**

Tabel 2.2. Syarat Gradasi untuk *Filler*

Ukuran saringan	Persentase lolos
No. 30 (0,590 mm)	100
No. 50 (0,279 mm)	95 – 100
No. 100 (0,149 mm)	90 – 100
No. 200 (0,074 mm)	65 – 100

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

II.4. Uji Marshall

Konsep metode Marshall untuk campuran laston dirumuskan oleh Bruce Marshall dengan the Mississippi State Highway Department. Dalam metode ini harus disiapkan terlebih dahulu benda uji yang akan diperiksa, yang dilaksanakan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan, harus diyakinkan bahwa kualitas bahan yang digunakan memenuhi syarat spesifikasi bahan dan kombinasi campuran agregat memenuhi persyaratan spesifikasi gradasi.

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, 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.

Nilai-nilai ini diperoleh dengan mengalikan nilai jarum pada arloji penunjuk stabilitas pada alat uji Marshall dengan faktor kalibrasi alat dan faktor kalibrasi benda uji. Nilai yang diperoleh akan menunjukkan kekuatan struktural suatu campuran aspal yang dipengaruhi oleh kandungan aspal, susunan gradasi dan kualitas agregat dalam campuran.

Campuran yang diuji dengan melakukan test Marshall harus memenuhi persyaratan – persyaratan Bina Marga (1989), SNI No. 1737 – 1989 – F seperti yang tertera pada **Tabel 2.3** dan **Tabel 2.4**. Bina Marga (1989) menyatakan bahwa agregat campuran untuk aspal beton harus mempunyai gradasi yang menerus dari butiran yang kasar sampai yang halus dan harus memenuhi salah satu gradasi seperti yang tertera pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.3. Persyaratan Campuran Lapis Aspal Beton

Sifat Campuran	L.L. Berat (2x75 tumb)		L.L. Sedang (2x50 tumb)		L.L. 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>VVM</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 2.4. Persentase Minimum Rongga dalam Agregat

Ukuran Maksimum Nominal Agregat (mm)	Persentase Minimum Rongga Dalam Agregat
No. 16	1,18
No. 8	2,36
No. 4	4,75
3/8 inch	9,50
1/2 inch	12,50
3/4 inch	19,00
1 inch	25,00
1 1/2 inch	37,50
2 inch	50,00
2 1/2 inch	63,00

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

Tabel 2.5. Batas-batas Agregat Gradasi Menerus untuk Campuran

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	-	-	10	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 (0,85 mm)	10–22	10–22	18–29	18–29	19–30	24–36	25–38	28–40	20–35	13–28	15–30
no. 50 (0,27 mm)	6–16	6–16	13–23	13–23	13–23	16–26	18–28	20–30	15–26	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

Dari hasil uji Marshall dengan beberapa variabel kandungan aspal akan didapat kandungan aspal yang optimum. Dalam pelaksanaannya, metode Marshall digunakan untuk menguji parameter yang diperlukan sebelum penentuan kepadatan mutlak. Pada perencanaan dengan metode Marshall, campuran dengan kadar aspal bervariasi dipadatkan dalam suatu cetakan dengul palu standar berat 4,54 kg dan tinggi jatuh 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 (Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak Bina Marga, 1999).



Gambar 2.2. Alat Uji Marshall

II.4.1. Perancangan Campuran (*Mix Design*)

Perancangan campuran (*mix design*) adalah prosedur kegiatan untuk menentukan proporsi (dalam batas-batas spesifikasi) material yang merupakan kompromi campuran supaya tercapai kinerja yang optimum. Perancangan campuran dengan metode Bina Marga dimulai dari kadar aspal efektif yang tetap sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pencampuran agregat yang tersedia di lokasi dapat divariasikan untuk dapat memenuhi syarat rongga udara, tebal film aspal, dan stabilitas aspal.

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

- 1). Pemilihan agregat dan penentuan sifat-sifatnya harus sesuai dengan spesifikasi material. Standar yang menjadi parameter perencanaan adalah:
 - Berat jenis agregat, yang akan digunakan dalam perhitungan sifat campuran.

- Nilai absorpsi air dari agregat yang dapat digunakan sebagai indikator penentuan besarnya absorpsi aspal.
 - Sifat-sifat agregat yang umumnya harus dipenuhi untuk lapis perkerasan jalan.
 - Gradasi butir dari masing-masing kelompok agregat kasar, agregat medium, pasir dan abu batu yang biasanya digambarkan dalam amplop gradasi yang ditetapkan.
- 2). Pemilihan aspal pengikat. Pengujian Marshall tidak memiliki pilihan aspal pengikat pada umumnya dan tidak memiliki prosedur pemilihannya. Setiap entitas yang ditetapkan menggunakan metodenya sendiri dengan modifikasi untuk menentukan pengikat yang tepat dan, jika ada, beberapa modifikasi lainnya. Pemilihan pengikat dapat berdasarkan pengalaman sendiri, kinerja percobaan sebelumnya, atau melalui prosedur yang ditetapkan. Setelah pengikat dipilih, beberapa tes awal dijalankan untuk menentukan hubungan suhu-viskositas aspal pengikat tersebut.
- 3). Persiapan benda uji. Metode Marshall, seperti metode perencanaan campuran lainnya, menggunakan beberapa percobaan campuran agregat-aspal pengikat (biasanya 5 campuran dengan masing-masing 3 sampel untuk jumlah seluruhnya sebanyak 15 spesimen), masing-masing dengan kadar aspal pengikat yang berbeda. Kemudian, dengan mengevaluasi setiap percobaan kinerja campuran, kadar aspal optimum aspal dapat dipilih. Agar konsep ini untuk bekerja, campuran percobaan harus berisi rentang kadar aspal baik di atas maupun di bawah kadar aspal optimum. Oleh karena itu, langkah pertama dalam persiapan sampel adalah perkiraan kadar aspal optimum. Kandungan dari hasil percobaan campuran aspal tersebut kemudian ditentukan dari perkiraan ini.

- Metode perencanaan campuran Marshall dapat menggunakan metode yang tepat untuk memperkirakan kadar aspal optimum dan biasanya bergantung pada prosedur lokal atau pengalaman.
 - Berdasarkan hasil estimasi kadar optimum aspal pengikat, biasanya disiapkan sampel sebesar 0,5 persen kenaikan berat campuran, dengan setidaknya dua contoh di atas perkiraan kadar aspal pengikat dan dua di bawah perkiraan kadar aspal pengikat.
 - Setiap sampel kemudian dipanaskan sampai suhu pemadatanantisipasi dan dipadatkan dengan palu Marshall, sebuah perangkat yang memberi tekanan untuk sampel melalui kaki *tamper* (lihat **Gambar 2.4**). Terdapat beberapa palu yang biasa digunakan berupa palu otomatis dan beberapa lainnya dioperasikan manual dengan tangan. Parameter kunci dari pemadat (*compactor*) yaitu benda uji berbentuk silinder 10 cm dan tinggi 7,5 cm yang dipersiapkan di laboratorium dalam cetakan benda uji dengan menggunakan palu seberat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm).
- 4). Stabilitas Marshall (*Marshall Stability*) dan Uji Aliran (*Flow Test*). Stabilitas Marshall dan uji aliran menyediakan ukuran prediksi kinerja untuk metode perencanaan campuran Marshall. Bagian stabilitas dari pengujian mengukur beban maksimum yang diberikan pada spesimen uji pada tingkat pembebanan 50,8 mm / menit (2 inci / menit). Pada dasarnya, beban meningkat sampai mencapai maksimum maka ketika beban baru mulai menurun, proses pembebanan dihentikan dan beban maksimum dicatat. Selama pembebanan, sebuah *dial gauge* yang terpasang dapat mengukur aliran plastik (*plastic flow*) spesimen sebagai akibat dari pembebanan (lihat **Gambar 2.2**). Nilai aliran dicatat dalam 0,25 mm (0,01 inci) peningkatan pada saat beban maksimum yang sama dicatat.

Tabel 2.6. Kriteria Umum Perencanaan Marshall

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

Sumber : Asphalt Institute, 1979

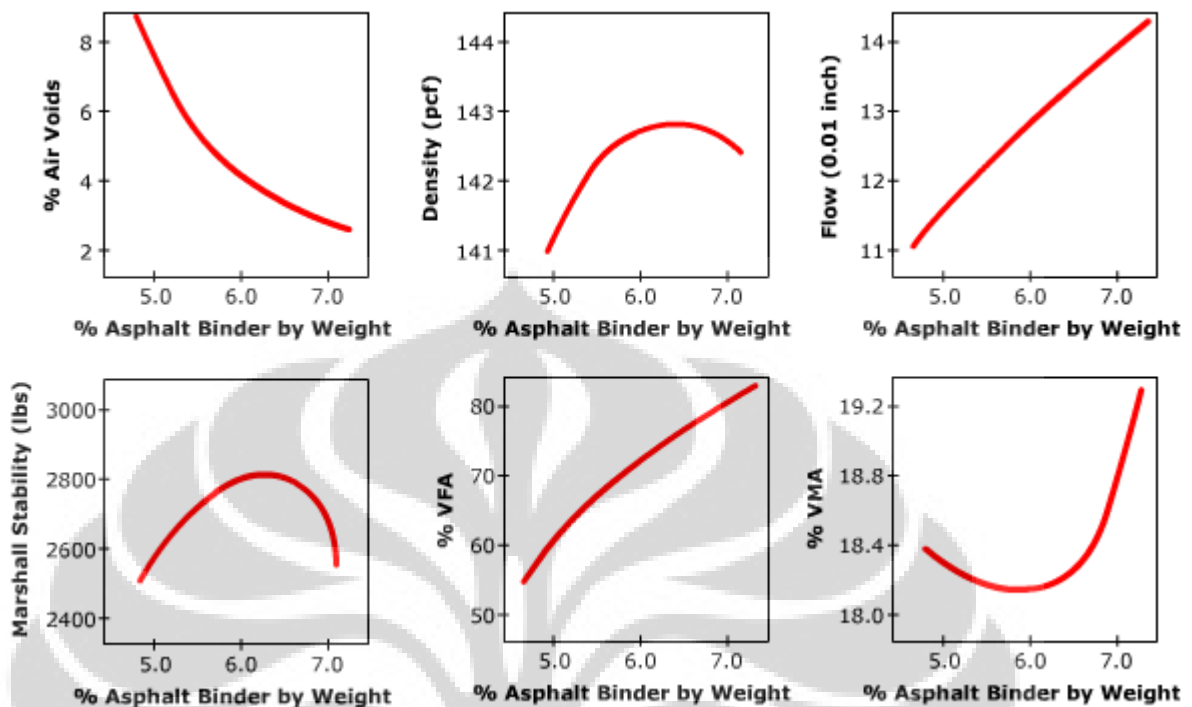
5). Analisa Kerapatan dan Rongga Udara. Semua metode perencanaan campuran menggunakan kerapatan dan rongga udara untuk menentukan sifat-sifat fisik dasar HMA. Terdapat dua pengukuran kerapatan yang berbeda yang banyak digunakan, yaitu :

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

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

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

- 6). Pemilihan Kadar Aspal Optimum. Karena fungsinya yaitu sebagai perekat dan pengisi, maka jumlah aspal yang digunakan dalam campuran harus tepat atau optimum. Salah satu cara yang dipakai adalah metode *Asphalt Institute*, yang didasarkan kepada hasil dari uji Marshall sehingga kondisi aspal optimum yang ditentukan adalah kadar aspal dalam menahan beban hingga terjadi kelelahan plastis. Selain itu, sebelumnya juga telah dihitung persentase rongga dalam campuran maupun pada agregat karena hal tersebut juga diperhitungkan dalam menentukan KAO. Sebagai ilustrasi penentuan KAO pada suatu campuran sebagai berikut (plot grafik).
- Kadar aspal vs. kerapatan. Kerapatan umumnya akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal, mencapai titik maksimum, lalu menurun. Kerapatan puncak biasanya terjadi pada kadar aspal yang lebih tinggi dari stabilitas puncak.
 - Kadar aspal vs. Stabilitas Marshall. Grafik ini harus mengikuti salah satu dari dua kondisi sebagai berikut.
 - Stabilitas meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal, mencapai puncak, lalu menurun.
 - Stabilitas menurun seiring dengan meningkatnya kadar aspal dan tidak terdapat puncak. Kurva ini banyak digunakan untuk beberapa campuran HMA yang diperbaharui.
 - Kadar aspal vs. *flow*.
 - Kadar aspal vs. *Air Voids*. Persentase rongga udara seharusnya menurun dengan meningkatnya kadar aspal.
 - Kadar aspal vs. VMA. Persentase VMA seharusnya menurun dengan meningkatnya kadar aspal, mencapai titik minimum, lalu naik lagi.



Gambar 2.3. Contoh Grafik Hubungan Kadar Aspal vs. Data Kinerja Campuran (Sumber : Roberts et al., 1996)

Setelah itu dapat dilakukan rancangan dan pemadatan Marshall sampai membal (*refusal*).

II.4.2. Pencampuran (*Mixing*)

Pada campuran aspal beton panas (biasa disingkat HMA atau HMA) diproduksi dengan memanaskan aspal pengikat untuk mengurangi viskositas, dan pengeringan agregat untuk menghapus kelembaban dari agregat sebelum pencampuran. Umumnya dilakukan pencampuran dengan agregat pada suhu berkisar 300 ° F (kira-kira 150 ° C) untuk aspal murni dan 330 ° F (166 ° C) untuk aspal polimer yang dimodifikasi, dan aspal semen pada 200 ° F (95 ° C). Perkerasan dan pemadatan harus dilakukan selagi aspal cukup panas. Pada banyak negara, pekerjaan perkerasan dibatasi untuk musim panas karena di musim dingin lapisan dasar uang

dipadatkan akan mendinginkan aspal terlalu banyak sebelum diisi dengan kandungan udara yang optimal. HMAC merupakan bentuk aspal beton yang paling umum digunakan pada perkerasan untuk lalu-lintas tinggi seperti pada jalan raya utama, sirkuit balapan, dan lapangan udara (Aphalt Institute, 1979).

II.4.3. Penghamparan (*Laying*)

a) Menyiapkan permukaan yang akan dilapisi;

- semua permukaan yang akan dilapisi atau akan diberi lapis perata harus disiapkan sedemikian rupa sehingga didapat kondisi yang baik.
- sesaat sebelum penghamparan, permukaan yang akan dihampar harus dibersihkan dari bahan yang lepas dan yang tidak dikehendaki dengan *compressor* dan atau sapu mekanis (*power broom*) yang dibantu dengan cara manual bila diperlukan. Lapis resap ikat (*prime coat*) atau lapis perekat (*tack coat*) harus diterapkan sesuai persyaratan spesifikasi.

b) Acuan tepi;

Acuan tepi harus berupa balok kayu lurus atau acuan lain yang disetujui dan harus dipasang sesuai dengan elevasi sesuai rencana ketebalan hamparan.

c) Penghamparan dan pembentukan;

- Sebelum memulai penghamparan, unit sepatu (*screed*) alat penghampar harus dipanaskan. Campuran aspal harus dihampar dan diratakan sesuai dengan kelandaian, elevasi, serta bentuk penampang melintang yang disyaratkan;
- Penghamparan harus dimulai dari lajur yang lebih rendah menuju lajur yang lebih tinggi bilamana pekerjaan yang dilaksanakan lebih dari satu lajur;
- Mesin *vibrasi* pada *screed* alat penghampar harus dijalankan selama penghamparan dan pembentukan.

Bila digunakan alat penumbuk untuk pemadatan awal maka alat penumbuk tidak boleh telah aus sedemikian rupa sehingga tidak berfungsi memberikan kepadatan awal;

- Alat penghampar harus dioperasikan dengan suatu kecepatan yang konstan yang tidak menyebabkan retak permukaan, koyakan, atau bentuk ketidakteraturan lainnya pada permukaan. Kecepatan penghamparan harus disesuaikan dengan kapasitas produksi *AMP*;
- Penampung alat penghampar tidak boleh dikosongkan, tetapi temperatur sisa campuran aspal harus dijaga tidak kurang dari temperatur atau viskositas yang disyaratkan;
- Bilamana terjadi segregasi, koyakan atau alur pada permukaan, maka alat penghampar harus dihentikan dan tidak boleh dijalankan lagi sampai penyebabnya telah ditemukan dan diperbaiki;
- Penaburan tidak boleh dilakukan di atas permukaan hamparan yang telah rapi, butiran kasar sisa penaburan di daerah yang tidak rapi tidak boleh dikembalikan untuk dihampar (Revisi SNI 03-1737-1989).

II.4.4. Pemadatan (*Compacting*)

Compaction merupakan proses pemadatan atau pengurangan volume dari sejumlah material. Pada umumnya para praktisi mempertimbangkan tercapainya pemadatan kritis yang sesuai dengan kinerja suatu perkerasan aspal. Pada campuran aspal, *compaction* mengikat partikel-partikel agregat lapis aspal sehingga menyatu untuk mencapai stabilitas dan menyediakan ketahanan terhadap deformasi (atau retak alur) dimana secara bersamaan dapat mengurangi permeabilitas campuran dan meningkatkan durabilitas campuran aspal tersebut.

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi kemampuan pemadatan campuran aspal, diantaranya merupakan faktor dari campuran aspal tersebut, jenis dan kerapatan dari material *base course*, ketebalan lapisan aspal, dan kondisi lingkungan pada saat penghamparan. Apabila terdapat perubahan pada salah satu faktor tersebut, nilai modulus akhir, kekakuan atau kekuatan campuran akan terkena dampak langsung. Selain itu, kemampuan pemadatan akhir dari campuran dipengaruhi oleh jenis *roller*, jumlah *roller*, serta pola penggilingan yang digunakan selama proses pemadatan berlangsung (Scherocman, James A. dan Walker, Dwight; 2008).



Gambar 2.4. Alat Uji *Compactor*

➤ **Temperatur pada Saat Pemadatan (*Compaction*)**

Perilaku campuran perkerasan aspal beton pada temperatur rendah sangat tergantung pada properti reologi dari pengikat aspal. Properti reologi aspal atau viskositas aspal berkaitan dengan modulus resilien, viskositas campuran, modulus statis, kekakuan, regangan, kekuatan dan tegangan fraksi campuran yang umumnya diuji melalui prosedur-prosedur yang ada menggunakan tekanan dinamis, statis, maupun pemberian tegangan konstan tidak langsung.

Aspal sebagai bahan pengikat merupakan bahan termoplastik dan reologi aspal sangat sensitif terhadap suhu. Aspal menunjukkan perilaku *semisolid* pada temperatur

ruang, tetapi dapat mencair dengan pemanasan. Tingginya temperatur dapat membuat aspal cukup cair untuk melapisi agregat dan sebaiknya aspal tetap pada temperatur tersebut untuk meminimalisir ketahanannya sebagai campuran aspal-agregat yang dipadatkan di laboratorium atau jalan raya. Pemadatan adalah proses densifikasi selama rongga udara berkurang dengan merapatkan agregat lebih dekat satu sama lain. Hal ini dipengaruhi oleh viskositas aspal karena pergeseran agregat memerlukan aliran lapis tipis pengikat aspal yang menghubungkan agregat. Semakin tinggi viskositas aspal (ketahanannya terhadap aliran pengikat), maka aspal tersebut akan semakin tahan padat.

II.5. Pengolahan Data dengan Metode *Chi Square*

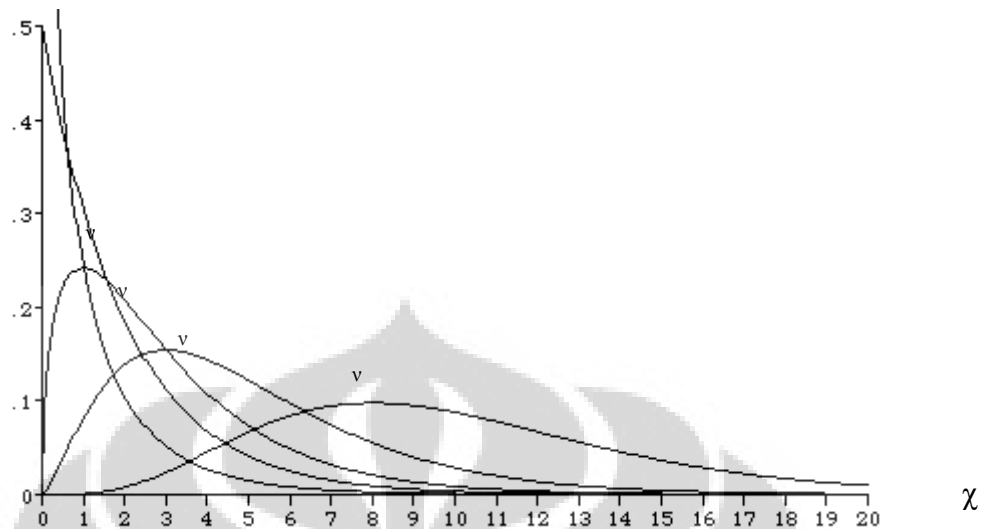
Dalam teori statistik didefinisikan

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

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

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

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. 5. *Chi Square Distribution* untuk Berbagai Nilai v

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

$$\chi_{(\alpha/2)}^2 < \frac{Ns^2}{\sigma^2} < \chi_{1-(\alpha/2)}^2$$

Sehingga dapat diperkirakan σ berada dalam interval :

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

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Metode Kerja Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia dengan bahan utama campuran Laston IV dan Lataston penetrasi 60/70 Shell. Dalam pelaksanaannya, penelitian ini dibagi menjadi 3 (tiga) tahap utama, yaitu :

- Penetapan kadar aspal optimum menggunakan metode pengujian Marshall
- Pengujian menggunakan aspal dengan kadar optimum menggunakan metode pemadatan
- Perolehan nilai deformasi dan kinerja campuran berdasarkan metode Marshall dengan modifikasi

Pada tahap pertama dilakukan pemeriksaan material yang akan digunakan untuk percobaan. Material yang digunakan adalah agregat dan aspal untuk membuat benda uji. Setelah dilakukan pengumpulan material, maka dilakukan pengujian standar untuk material tersebut pengujian yang dilakukan sesuai dengan standar RSNI (2002), yaitu :

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal
2. Pemeriksaan Titik Lembek
3. Pemeriksaan Titik Nyala
4. Pemeriksaan Titik Bakar
5. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal

6. Pemeriksaan Kelarutan Bitumen
7. Pemeriksian Daktilitas Bahan-bahan Bitumen
8. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen.

Sedangkan untuk mengetahui karakteristik dari agregat yang digunakan perlu dilakukan beberapa pengujian, yaitu :

- Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar
- Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus

Setelah pemeriksaan terhadap material selesai dilakukan, data pemeriksaan yang diperoleh akan dibandingkan dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Jika material tersebut tidak memenuhi standar, maka akan dilakukan pemeriksian ulang atau penggunaan material dari sumber yang lain. Pengujian akan selesai dilakukan apabila telah menemui material yang sesuai dengan spesifikasi. Jika material sudah memenuhi syarat, maka dilanjutkan pembuatan benda uji untuk mencari kadar aspal optimum menggunakan alat uji Marshall.

Dalam penentuan kadar aspal optimum untuk campuran dengan gradasi menerus (HMA), digunakan 4 variasi kadar aspal, yaitu 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%. Sedangkan untuk penentuan kadar aspal optimum untuk campuran dengan gradasi senjang (HRS), digunakan 6 variasi kadar aspal, yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5%. Pembuatan benda uji dilaksanakan setelah diperoleh hasil saringan agregat. Setelah dihitung persentase dari masing-masing agregat, maka bisa dilakukan penyusunan komposisi campuran untuk benda uji. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan alat Marshall. Dari pengujian diperoleh data-data mengenai kinerja campuran aspal berupa stabilitas, VMA, VIM, *flow*, dan MQ.

Setelah diperoleh kadar aspal optimum maka dilakukan perancangan benda uji. Pada tahap ini, hanya digunakan satu jenis kadar aspal yaitu kadar aspal optimum dengan variasi komposisi gradasi. Dalam hal ini, tipe variasi gradasi campuran dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu HRS dan HMA.

Metode pengujian terhadap benda uji yang dibuat berdasarkan kadar aspal optimum ini memerlukan alat utama yaitu *compactor* dan dari metode utama ini akan diperoleh data-data akhir deformasi yang terjadi akibat pembebanan berulang dengan

variasi temperatur. Metode penumbukan sampel dengan *compactor* setelah sebelumnya sampel direndam dalam *waterbath* terlebih dahulu. Jumlah tumbukan dibagi menjadi 2 variasi, yaitu 2x75 tumbukan dan 2x90 tumbukan serta variasi temperatur pada saat penumbukan dilakukan pada tiap variasi jumlah tumbukannya, yaitu 90⁰C, 100⁰C, 110⁰C, dan 120⁰C. Pengujian dilakukan terhadap 3 buah sampel pada setiap variasi jumlah tumbukan dan temperturnya.

Berikut ini adalah jumlah benda uji yang dibutuhkan dari proses penetapan kadar aspal optimum hingga pengujian :

Tabel 3.1. Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran dengan Gradasi Menerus (HMA)

Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%
Jumlah Benda Uji	3	3	3	3
Total	12			

Tabel 3.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran dengan Gradasi Senjang (HRS)

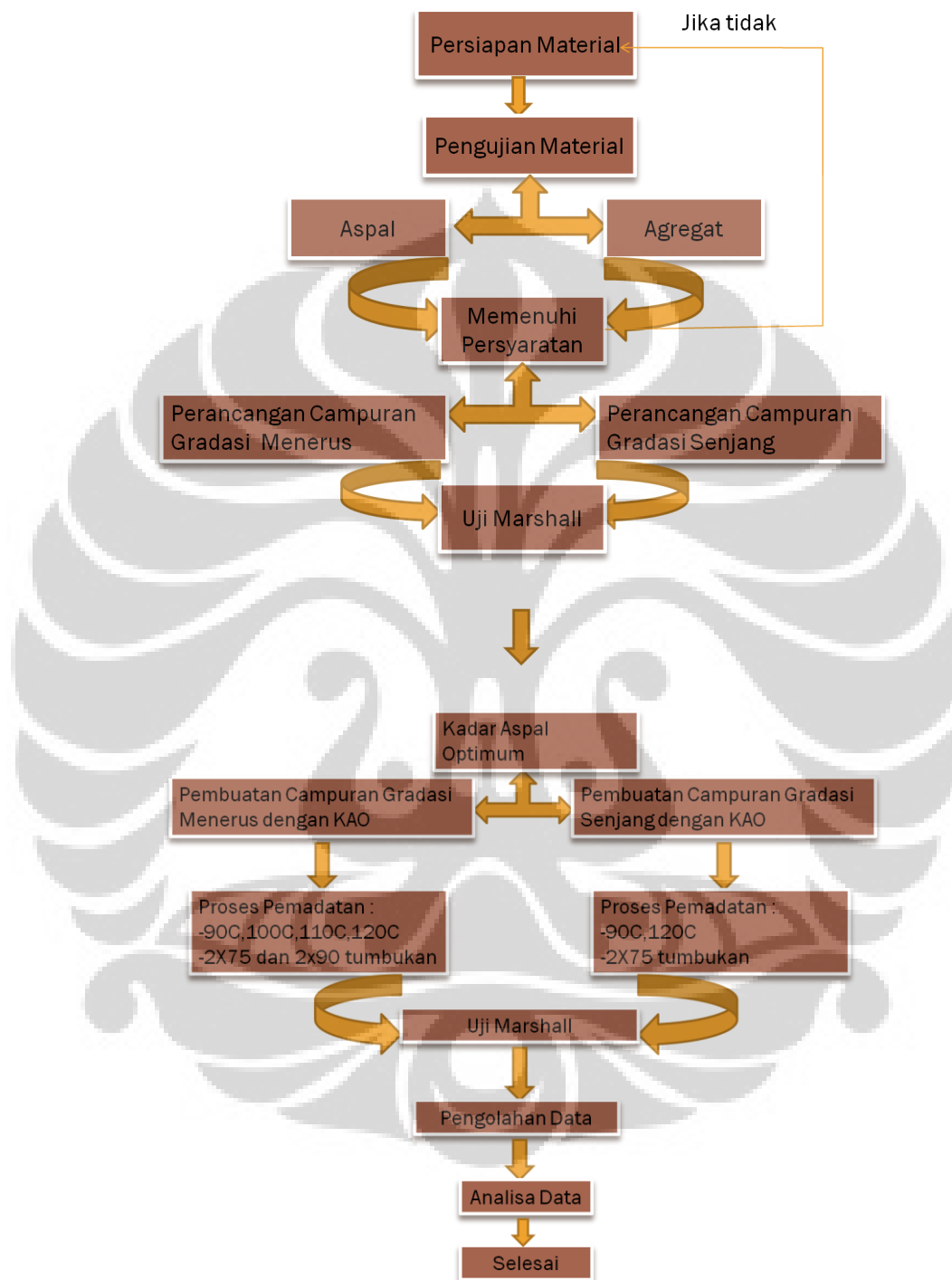
Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%	7%	7,5%
Jumlah Benda Uji	3	3	3	3	3	3
Total	18					

Maka jumlah seluruh sampel yang dibutuhkan :

Tabel 3.3. Jumlah Benda Uji untuk Proses Pematatan dengan Variasi Temperatur

Temperatur	Tumbukan	2x75 HMA	2x90 HMA	2x75 HRS
90 ⁰ C		3	3	3
100 ⁰ C		3	3	-
110 ⁰ C		3	3	-
120 ⁰ C		3	3	3
Total		12	12	6

III.2. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

III.3. Pelaksanaan

III.3.1. Bahan Baku Penelitian

Bahan baku penelitian ini terdiri dari aspal, agregat kasar, agregat halus, dan filler (bahan pengisi).

- 1). Aspal
 - Merk : Aspal Shell
 - Penetrasi : 60/70
- 2). Agregat Halus
 - Tipe : Abu batu
 - Ukuran : 0,075 mm – 4,75 mm
 - Berat Jenis : minimum 2500 kg/m³
- 3). Agregat Kasar
 - Tipe : Batu pecah (*split*)
 - Ukuran : maksimum 20 mm
 - Berat Jenis : minimum 2500 kg/m³
- 4). Filler

III.3.2. Standar Pengujian

Dalam penelitian di laboratorium dilakukan pemeriksaan bahan-bahan pembentuk Laston. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar, pengujian terhadap material aspal, serta pengujian terhadap laston. Berikut ini adalah beberapa metode standar dalam pengujian aspal, yaitu :

Universitas Indonesia

1). Pemeriksaan Penetrasi Aspal

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 1,5 sampai 2 jam untuk benda uji besar.
- b. Periksa 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)

2). Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30°C hingga 200°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 $(5 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 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°C di atas dan di tengah permukaan masing-masing benda uji yang bersuhu 5°C menggunakan penjepit dengan bantuan pengarah bola.
- c. Panaskan bejana dengan kecepatan pemanasan 5°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 $0,5^{\circ}\text{C}$.

3). Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

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 $(15 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 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.

4). Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal

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 $(163 \pm 1)^{\circ}$ 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).

5). Pemeriksaan Kelarutan Bitumen

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar bitumen yang larut dalam Karbon Tetra Klorida (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 (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

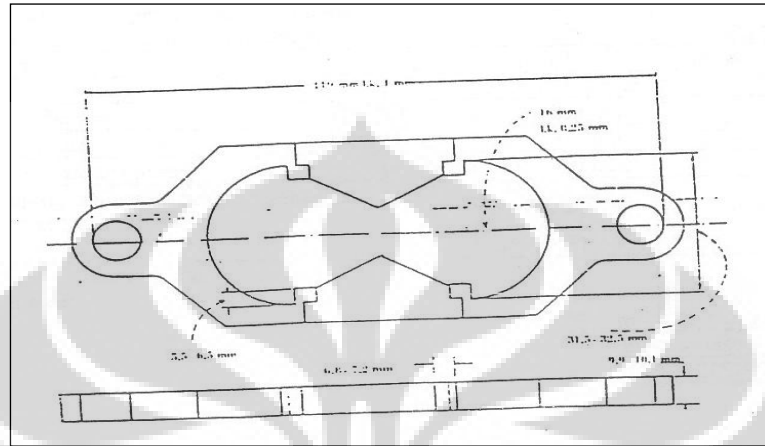
6). Pemeriksaan Daktilitas Bahan-bahan Bitumen

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 cetakannya.
- b. Memasang benda uji pada alat mesin uji dan menarik benda uji secara teratur dengan kecepatan 5 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 cm dari air dan suhu dipertahankan tetap $(25 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3.2. Cetakan Benda Uji Daktilitas

7). Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen

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°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 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)

III.3.3. Pengujian Pemeriksaan Agregat

- 1) 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.

- 2). 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 (Bk)

- d. Merendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 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_k = berat benda uji oven dry (gr)

B_j = berat benda uji SSD (gr)

B_a = berat benda uji SSD di dalam air (gr)

- 3). 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 :

- a. Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama (24 ± 4) jam.
- b. 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.
- c. 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.
- d. 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.
- e. 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 penyesuain terhadap suhu standar 25°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)

III.3.4. Metode Pengujian Marshall

1). 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 pematat 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°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.

2) 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 pepadatan

Suhu pencampuran dan pepadatan harus ditentukan sehingga bahan pengikat yang dipakai menghasilkan viskositas seperti **Tabel 3.3**.

Tabel 3.4. Viskositas Penentu Suhu

Bahan Pengikat	Campuran			Pemadatan		
	Kinematik	Saybolt Furol	Engler	Kinematik	Saybolt Furol	Engler
	C. St	Det S. F.		C. St	Det S. F.	
Aspal Panas	170 ±20	85 ±10		280 ±30	140 ±15	
Aspal Dingin	170 ±20	85 ±10		281 ±30	140±15	
Ter			25 ±3			40 ±5

c. Persiapan pencampuran

- Untuk tiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ±1000 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 6,25 cm ±0,125 (2,5" ±0,05").
- Panaskan panci pencampur beserta agregat kira-kira ± 28°C diatas suhu pencampur untuk aspal panas dan tar dan aduk sampai merata, untuk aspal dingin pemanasan sampai 14°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. Pemadatan benda uji

- Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara 93,3°C dan 148,9°C.
- Letakkan selebar kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting menurut ukuran cetakan kedalam dasar cetakan, kemudian masukkan seluruh campuran kedalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran keras-keras dengan spatula yang dipanaskan atau aduklah dengan sendok semen 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali 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 pemadatan seperti yang disebut dalam tabel 1.
- Letakkan cetakan diatas landasan pematat, dalam pemegang cetakan. Lakukan dengan tinggi jatuh 45 cm (18"), selama pemadatan tahanlah agar sumbu palu pematat selalu tegak lurus pada cetakan. Lepaskan keeping alas dan lehernya baliklah alat cetak berisi benda uji dan pasang kembali lehernya dibalik ini tumbuklah dengan jumlah tumbukan yang sama.
- Sesudah pemadatan, 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.

3) Prosedur

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 kelelehan (*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.

III.3.5. Uji Pemadatan dengan Variasi Temperatur

Salah satu tujuan utama dalam penelitian ini adalah mengkaji pengaruh variasi temperatur untuk proses pemadatan campuran Laston penetrasi 60/70. Dalam pelaksanaan penelitian yang dimaksud, terdapat 4 (empat) variasi temperatur yang digunakan, yaitu 90⁰C, 100⁰C, 110⁰C, dan 120⁰C dalam setiap variasi jumlah tumbukan dan jenis gradasi. Dalam proses pemadatan campuran aspal, normalnya temperatur campuran akan turun secara bertahap karena pengaruh temperatur di luar cetakan campuran yang sedang dipadatkan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini diperlukan suatu alat yang mampu mengatur suhu campuran saat pemadatan dan menjaga suhu campuran tersebut dalam rentang waktu yang ditentukan tergantung dari jumlah tumbukan yang dilakukan.

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

1). *Band Heater*



Gambar 3.3. *Band Heater*

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

2). Thermostat



Gambar 3.4. Thermostat

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

3). Jangka Sorong



Gambar 3.5. Jangka Sorong

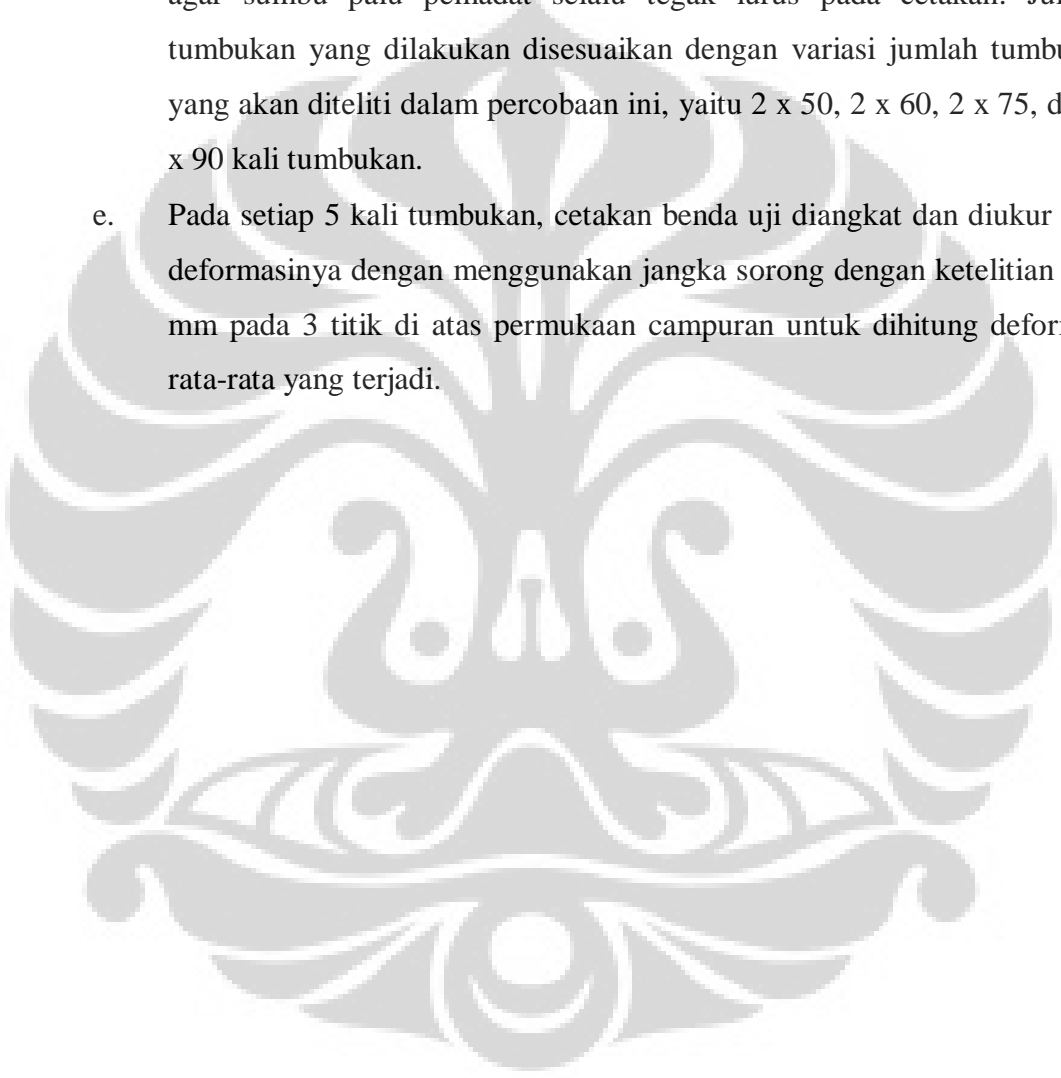
Jangka sorong adalah suatu alat ukur panjang yang dapat digunakan untuk mengukur panjang suatu benda dengan ketelitian hingga 0,01 mm. Selain dapat mengukur benda dari sisi luar dengan cara diapit, jangka sorong juga dapat digunakan untuk mengukur sisi dalam suatu benda (biasanya berupa lubang) dengan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

Prosedur pelaksanaan uji variasi temperatur pada proses pemadatan campuran yaitu :

- a. Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama.
- b. Cetakan benda uji diselimuti *band heater* yang telah dihubungkan ke listrik dan ke thermostat, panaskan sampai suhu yang diinginkan sesuai dengan rentang 90⁰C-120⁰C.
- c. Setelah temperatur cetakan benda uji sudah diatur dan dijaga besarnya dengan thermostat, letakkan selebar kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting menurut ukuran cetakan kedalam dasar cetakan, kemudian masukkan seluruh campuran kedalam cetakan dan aduklah

dengan sendok semen 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali dibagian dalam hingga temperatur campuran sudah sama dengan temperatur dari *band heater*.

- d. Letakkan cetakan diatas landasan pematat, dalam pemegang cetakan. Lakukan dengan tinggi jatuh 45 cm (18”), selama pemadatan tahanlah agar sumbu palu pematat selalu tegak lurus pada cetakan. Jumlah tumbukan yang dilakukan disesuaikan dengan variasi jumlah tumbukan yang akan diteliti dalam percobaan ini, yaitu 2 x 50, 2 x 60, 2 x 75, dan 2 x 90 kali tumbukan.
- e. Pada setiap 5 kali tumbukan, cetakan benda uji diangkat dan diukur nilai deformasinya dengan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,01 mm pada 3 titik di atas permukaan campuran untuk dihitung deformasi rata-rata yang terjadi.



BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Pemeriksaan Material Aspal dan Agregat

Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia berpedoman kepada standar dan spesifikasi Bina Marga (1989) dan SNI no.1737 - 1989 - F yang terkait dengan persyaratan campuran dan metode pelaksanaan pengujian.

IV.1.1. Pemeriksaan Material Aspal

Pengujian ini menggunakan aspal Shell penetrasi 60/70 dan telah melalui serangkaian standar pengujian aspal agar benar-benar memenuhi persyaratan yang diperlukan untuk pengujian terhadap perkerasan jalan di Indonesia. Data hasil pengujian aspal yang ditampilkan berikut ini merupakan data hasil percobaan rata-rata untuk setiap jenis pengujian. Untuk keterangan data selengkapnya, dapat dilihat pada **Lampiran**.

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Material Aspal

Jenis Pemeriksaan	Standar	Minimum	Maksimum	Hasil Percobaan	Satuan	Status
		Aspal Shell	Pen 60/70			
Penetrasi aspal 25 ⁰ C, 100 gram, 5 detik	PA-0301-76, AASHTO T-49-80, ASTM D-5-97	60	70	62	0,1 mm	✓
Titik lembek aspal 5 ⁰ C	PA-0302-76, AASHTO T-53-81, ASTM D-36-95	48	58	52,6	Derajat Celcius	✓
Titik nyala dan titik bakar aspal	PA-0303-76, AASHTO T-48-81, ASTM D-92-02	232	-	332 dan 345	Derajat Celcius	✓
Kehilangan berat aspal	PA-0304-76, AASHTO T-47-82, ASTM D-6-95	-	0,4	0,169	% Berat	✓
Kelarutan dalam CCl ₄	PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-97	99	-	99,75	% Berat	✓
Daktilitas	PA-0306-76, AASHTO T-51-81, ASTM D-113-79	100	-	>100	cm	✓
Penetrasi setelah kehilangan berat	PA-0301-76, AASHTO T-49-80, ASTM D-5-97	75	-	84,84	% semula	✓
Berat jenis bitumen 25 ⁰ C	PA-0307-76, AASHTO T-228-79, ASTM D-70-03	1	-	1,0325	gr / Cc	✓

Keterangan : ✓ = Lolos Persyaratan

IV.1.2. Pemeriksaan Agregat

Material agregat yang digunakan berasal dari Gunung Sindur dan dikirim oleh PT. Utama Prima (AMP). Standar pengujian terhadap material agregat yang dilaksanakan antara lain analisa saringan agregat halus dan kasar (PB-0201-76, AASHTO T-27-82, ASTM D-136-04), berat jenis dan penyerapan agregat kasar (PB-0202-76, AASHTO T-85-81, ASTM D-127-04), dan berat jenis dan penyerapan agregat halus (PB-0203-76, AASHTO T-84-81, ASTM D-128-04. Data selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran**.

Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Agregat

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

Keterangan : ✓ = Lolos Persyaratan

IV.1.3. Analisa Saringan

- Agregat Kasar

Dari **Tabel 4.3** hasil analisa saringan dapat dilihat bahwa berat yang tertahan untuk agregat kasar mencapai sekitar 1998 gram dari total berat agregat kasar sebanyak 2000 gram. Hal ini menandakan hanya sedikit butiran yang mampu lolos saringan setelah penggetaran saringan selama 15 menit. Jenis saringan yang digunakan pada percobaan ini adalah saringan no. $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, 4, dan 8.

Tabel 4.3.Analisa Sebaran Butiran Agregat Kasar

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

- Agregat Medium

Dari **Tabel 4.4** hasil analisa saringan dapat dilihat bahwa berat yang tertahan untuk agregat medium mencapai sekitar 2005 gram dari total berat agregat medium yang seharusnya sebanyak 2000 gram. Kelebihan satuan berat agregat ini dapat disebabkan oleh masuknya partikel-partikel lain dari luar ke dalam saringan atau kesalahan pada saat pengukuran berat agregat sebelum maupun sesudah melakukan penyaringan. Jenis saringan yang digunakan pada percobaan ini adalah saringan no. $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, 4, 8, dan 30.

Tabel 4.4. Analisa Sebaran Butiran Agregat Medium

Saringan No	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lewat
½	12,7	47	2,34	97,66
3/8	9,52	351	17,51	80,15
4	4,76	1241	61,90	18,25
8	2,38	308	15,36	2,89
30	0,59	42	2,09	0,80
pan		16	0,80	
		2005	100,00	

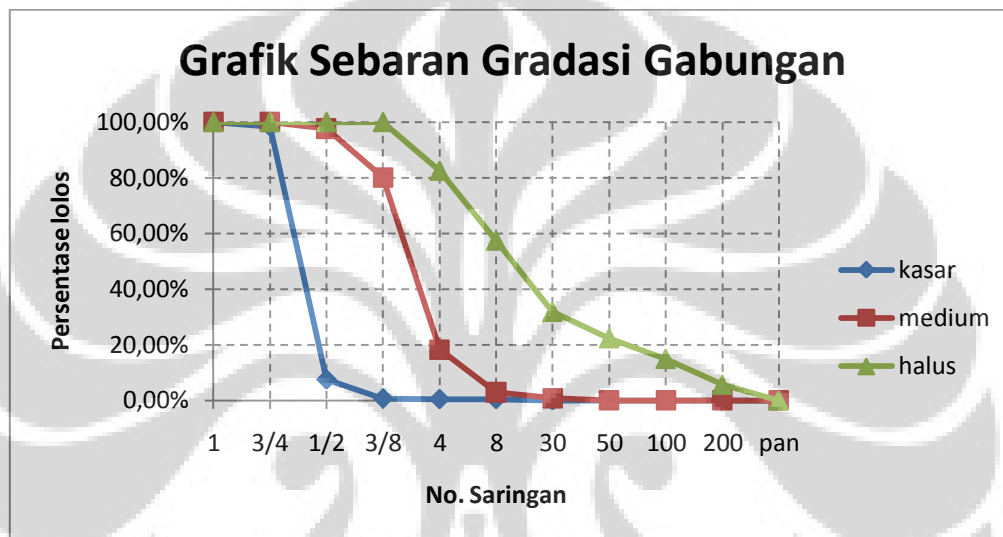
- Agregat Halus

Dari **Tabel 4.5** hasil analisa saringan dapat dilihat bahwa berat yang tertahan untuk agregat halus mencapai sekitar 1000 gram dari total berat agregat halus sebanyak 1000 gram. Dalam komposisi agregat penyusun campuran, jenis agregat halus memiliki persentase paling tinggi dibandingkan agregat-agregat lainnya. Setelah dilakukan analisa saringan, perlu dibuat grafik penyebaran butiran tiap jenis agregat untuk mengetahui termasuk dalam spesifikasi campuran laston berapa dilihat dari persentase tertahan saringan tersebut. Jenis saringan yang digunakan pada percobaan ini adalah saringan no. 4, 8, 30, 50, 100, dan 200. Pada saringan no.200, persentase agregat halus tertahan lebih rendah dari *range* spesifikasi campuran laston yang dibutuhkan. Oleh karena itu, komposisi campuran ditambah dengan bahan pengisi (*filler*). *Filler* yang digunakan adalah semen Portland.

Tabel 4.5. Analisa Sebaran Butiran Agregat Halus

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

Saringan	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lewat
200	0,074	93	9,30	5,60
pan		56	5,60	0,00
		1000	100,00	



Gambar 4.1. Grafik Sebaran Gradasi Gabungan

IV.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pengujian dengan beberapa variasi kadar aspal di setiap jenis gradasi agregat, dilakukan melalui dua tahap, yaitu pembuatan benda uji dengan beberapa variasi kadar aspal, kemudian pengujian dengan alat Marshall.

IV.2.1. Perancangan Benda Uji dengan Gradasi Menerus

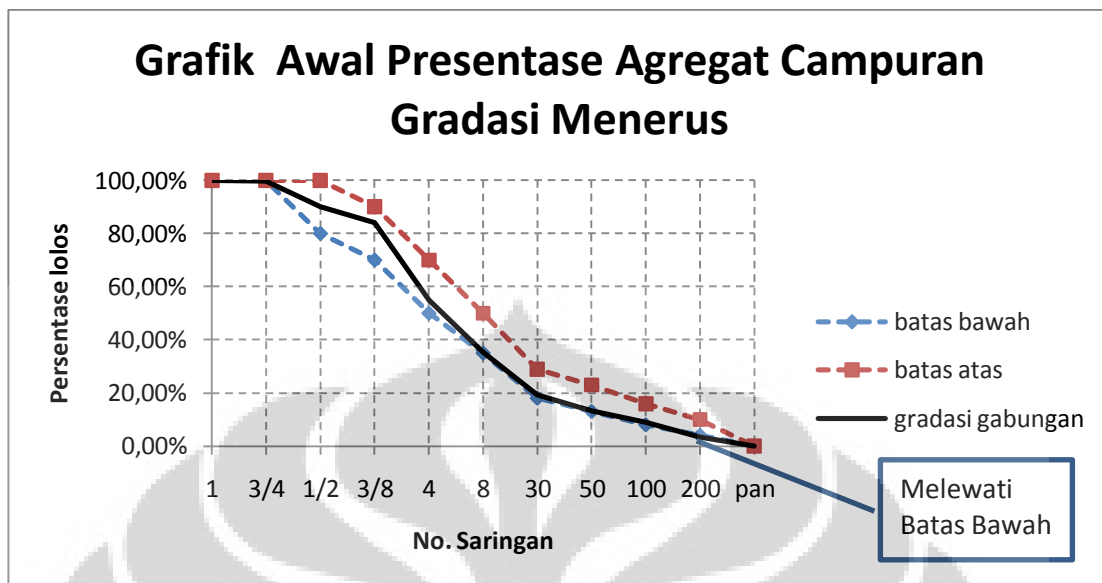
Penentuan proporsi agregat (*blending*) dibuat dari data hasil analisa butiran masing-masing agregat yang tertahan di masing-masing saringan. Langkah selanjutnya adalah mencari kadar aspal optimum untuk masing-masing gradasi, yaitu

untuk sebaran gradasi agregat menerus menggunakan spek IV menurut SNI 1737-1989-F sedangkan untuk sebaran gradasi agregat senjang menggunakan HRS-WC menurut SPESIFIKASI UMUM BIDANG JALAN DAN JEMBATAN DIVISI 1 UMUM, Desember 2007.

Berdasarkan **Gambar 4.1**, diperoleh persentase masing-masing agregat untuk gradasi menerus yaitu agregat kasar 10%, agregat medium 30%, dan agregat halus 60%. Persentase tiap agregat ini yang kemudian dikalikan dengan persen lolos saringan untuk tiap jenis agregat tersebut. Hasil yang diperoleh kemudian disesuaikan lagi dengan spesifikasi Laston tipe IV. Namun, untuk persentase lolos saringan gabungan pada saringan no.200 tidak termasuk dalam spesifikasi. Oleh karena itu, perlu ditambahkan bahan pengisi (*filler*) untuk menyesuaikan jumlah persentase lolos saringan no.200 terhadap spesifikasi. Persentase masing-masing agregat setelah penyesuaian yaitu agregat kasar 10%, agregat medium 30%, agregat halus 58%, dan *filler* 2%. (**Tabel 4.6**)

Tabel 4.6. Perhitungan Awal Persentase Agregat Campuran Gradasi Menerus

Saringan No.	Agregat Kasar		Agregat Medium		Agregat Halus		Total	Spek IV
	100%	10	100%	30	100%	60		
3/4	98,40	10	100,00	30,00	100,00	60,00	99,84	100,00
1/2	7,46	1	97,66	29,30	100,00	60,00	90,04	80 - 100
3/8	0,65	0	80,15	24,04	100,00	60,00	84,11	70 - 90
4	0,40	0	18,25	5,48	82,50	49,50	55,02	50 - 70
8	0,40	0	2,89	0,87	57,40	34,44	35,35	35 - 50
30			0,80	0,24	31,80	19,08	19,32	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

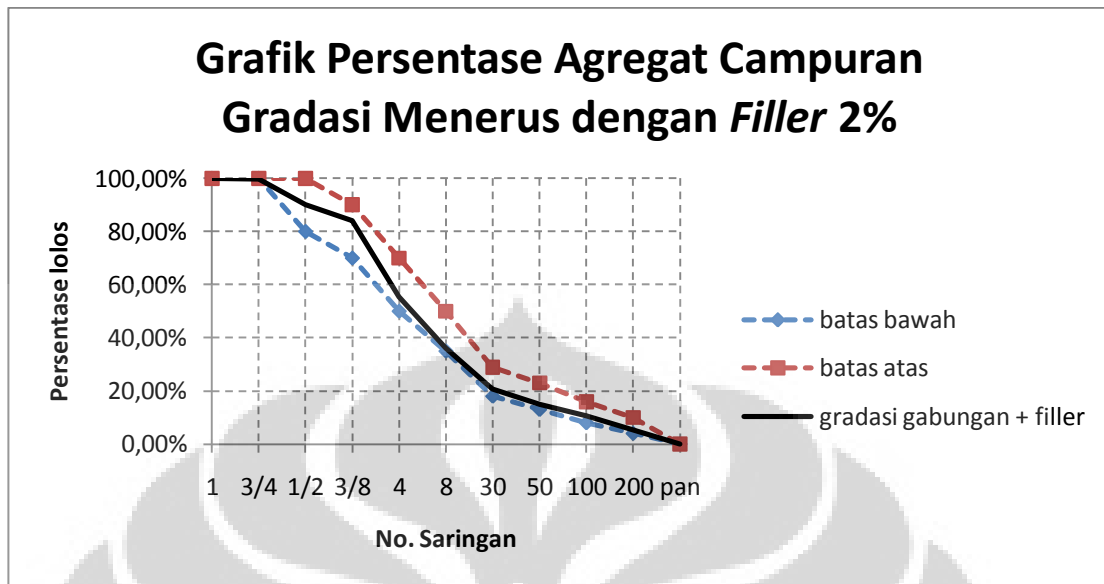


Gambar 4.2. Grafik Awal Presentase Agregat Campuran dengan Gradasi Menerus

Dari **Gambar 4.2** dapat dilihat bahwa untuk persentase total lolos saringan no.200 yaitu sebesar 3,36% terletak di bawah garis batas bawah standar spesifikasi Laston tipe IV sebesar 4%. Oleh karena itu, ditambahkan material *filler* berupa semen portland dengan berat jenis 3,14 sebanyak 2% dari total campuran agregat, sehingga jika dihitung ulang dapat terlihat seperti pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7. Perhitungan Presentase Agregat Campuran Gradasi Menerus dengan *Filler*

Saringan No.	Agregat Kasar		Agregat Medium		Agregat Halus		filler		Total	Spek IV
	100%	10	100%	30	100%	58	100%	2		
3/4	98,40	9,84	100,00	30,00	100,00	58,00	100,00	2,00	99,84	100,00
1/2	7,46	0,75	97,66	29,30	100,00	58,00	100,00	2,00	90,04	80 - 100
3/8	0,65	0,07	80,15	24,04	100,00	58,00	100,00	2,00	84,11	70 - 90
4	0,40	0,04	18,25	5,48	82,50	47,85	100,00	2,00	55,37	50 - 70
8	0,40	0,04	2,89	0,87	57,40	33,29	100,00	2,00	36,20	35 - 50
30			0,80	0,24	31,80	18,44	100,00	2,00	20,68	18 - 29
50					22,30	12,93	100,00	2,00	14,93	13 - 23
100					14,90	8,64	100,00	2,00	10,64	8 - 16
200					5,60	3,25	100,00	2,00	5,25	4 - 10



Gambar 4.3. Grafik Persentase Agregat Campuran Gradasi Menerus dengan *Filler* 2%

Dengan diperolehnya persentase agregat kasar, medium, dan halus tersebut maka perlu dihitung pula komposisi berat masing-masing agregat dari berat total campuran sebesar 1200 gram. Berikut ini adalah contoh perhitungan berat aspal dan agregat untuk pembuatan benda uji.

Contoh Perhitungan Berat Aspal dan Agregat untuk Gradasi Menerus

- Kadar Aspal 5%

$$\text{Berat aspal} = 5\% \times 1200 \text{ gram} = 60 \text{ gram}$$

$$\text{Berat agregat} = 95\% \times 1200 \text{ gram} = 1140 \text{ gram}$$

$$- \text{ Agregat kasar} = 10\% \times 1140 \text{ gram} = 114 \text{ gram}$$

$$- \text{ Agregat medium} = 30\% \times 1140 \text{ gram} = 342 \text{ gram}$$

$$- \text{ Agregat halus} = 58\% \times 1140 \text{ gram} = 661,2 \text{ gram}$$

$$- \text{ Filler} = 2\% \times 1140 \text{ gram} = 22,8 \text{ gram}$$

IV.2.2. Perancangan Benda Uji dengan Gradasi Senjang

Dalam penentuan komposisi agregat untuk campuran dengan gradasi senjang yaitu dengan penentuan persentase komposisi partisi tiap saringan yang digunakan 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.

Tabel 4.8. Pedoman Komposisi Campuran dengan Sebaran Gradasi Senjang

Ukuran Saringan		% Berat Lolos						
		Latasir (SS)		Lataston (HRS)		LASTON (AC)		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	BC	Base
1 ½"	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	35-55	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

Sumber : Puslitbang Prasarana Transportasi (Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas) Edisi Agustus 2001

Tabel 4.9. Perhitungan Persentase Agregat Senjang

Saringan No.	Lataston HRS-WC (%)	Lolos Ideal (%)	Tertahan (%)
¾	100	100	0
½	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

Contoh Perhitungan Berat Aspal dan Agregat untuk Gradasi Senjang

- Kadar Aspal 5%

$$\text{Berat aspal} = 5\% \times 1200 \text{ gram} = 60 \text{ gram}$$

$$\text{Berat agregat} = 95\% \times 1200 \text{ gram} = 1140 \text{ gram}$$

$$- \text{ Agregat tertahan saringan no.1/2} = 5\% \times 1140 \text{ gram} = 57 \text{ gram}$$

$$- \text{ Agregat tertahan saringan no.3/8} = 15\% \times 1140 \text{ gram} = 171 \text{ gram}$$

$$- \text{ Agregat tertahan saringan no.8} = 19\% \times 1140 \text{ gram} = 216,6 \text{ gram}$$

$$- \text{ Agregat tertahan saringan no.30} = 13,5\% \times 1140 \text{ gram} = 153,9 \text{ gram}$$

$$- \text{ Agregat tertahan saringan no.200} = 38,5\% \times 1140 \text{ gram} = 438,9 \text{ gram}$$

$$- \text{ Agregat tertahan pan (filler)} = 9\% \times 1140 \text{ gram} = 102,6 \text{ gram}$$

IV.2.3. Pengujian Marshall untuk Kadar Aspal Optimum

Pengujian dengan alat Marshall bertujuan untuk memperoleh data kinerja campuran aspal dan berpedoman pada PC-0201 - 1976, AASHTO T-245-82, ASTM D-1559-76. Data kinerja aspal meliputi stabilitas, VMA, VIM, dan kelelehan. Pada tahap pengujian ini, biasanya dilakukan pada beberapa variasi kadar aspal untuk memperoleh kinerja aspal optimum.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini menggunakan dua jenis gradasi, yaitu gradasi menerus untuk *Hot Mix Asphalt* (HMA) dan gradasi senjang untuk *Hot Rolled Sheet* (HRS). Pengujian Marshall untuk gradasi menerus dilakukan pada 4 variasi kadar aspal, yaitu 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Sedangkan pengujian

Marshall untuk gradasi senjang dilakukan pada 6 variasi kadar aspal, yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5%. (**Tabel 4.10** dan **Tabel 4.11**)

Tabel 4.10. Jumlah Benda Uji dengan Gradasi Agregat Menerus untuk Mencari KAO

Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%
Jumlah Benda Uji	3	3	3	3
Total	12			

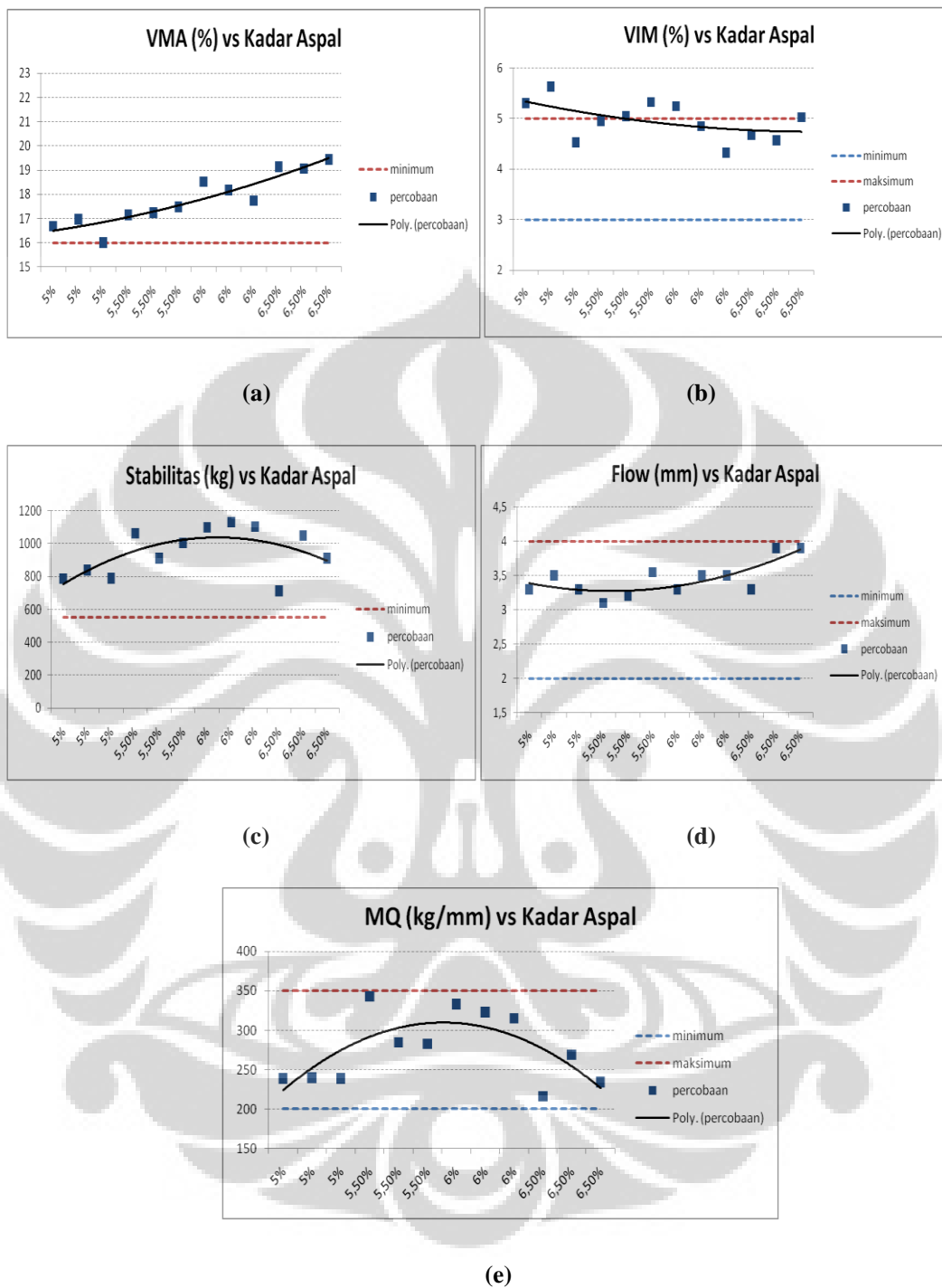
Tabel 4.11. Jumlah Benda Uji dengan Gradasi Agregat Senjang untuk Mencari KAO

Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%	7%	7,5%
Jumlah Benda Uji	3	3	3	3	3	3
Total	18					

Berdasarkan pengujian dengan alat Marshall, dapat diperoleh data pembacaan arloji stabilitas dan arloji kelelahan. Data pembacaan arloji stabilitas tersebut kemudian masih harus dikali dengan angka kalibrasi alat dan korelasi tinggi benda uji. Untuk data nilai rongga dalam campuran (VIM) maupun rongga dalam agregat (VMA) diperoleh dari data tinggi benda uji, berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air. Setelah data-data diperoleh kemudian data-data tersebut diolah sehingga hasilnya seperti terlihat pada **Tabel 4.12** dan **Tabel 4.13**.

Tabel 4.12. Hasil Pengujian Marshall terhadap Campuran Aspal dengan Gradasi Menerus (HMA)

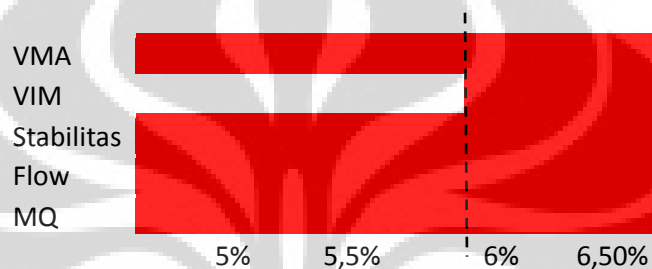
Kadar Aspal (%)	VMA (%)		VIM (%)			Stabilitas (kg)		Flow (mm)			MQ (kg/mm)		
	min	percobaan	min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan
5	16	16,68	3	5	5,31	550	787,88	2	4	3,30	200	350	238,75
	16	16,97	3	5	5,63	550	839,73	2	4	3,50	200	350	239,92
	16	16,00	3	5	4,53	550	788,44	2	4	3,30	200	350	238,92
Rata-rata	16	16,55	3	5	5,16	550	805,35	2	4	3,37	200	350	239,20
5,5	16	17,16	3	5	4,95	550	1062,48	2	4	3,10	200	350	342,73
	16	17,23	3	5	5,04	550	910,39	2	4	3,20	200	350	284,50
	16	17,48	3	5	5,32	550	1003,27	2	4	3,55	200	350	282,61
Rata-rata	16	17,29	3	5	5,11	550	992,04	2	4	3,28	200	350	303,28
6	16	18,53	3	5	5,25	550	1099,63	2	4	3,30	200	350	333,22
	16	18,18	3	5	4,85	550	1130,11	2	4	3,50	200	350	322,89
	16	17,74	3	5	4,33	550	1103,34	2	4	3,50	200	350	315,24
Rata-rata	16	18,15	3	5	4,81	550	1111,03	2	4	3,43	200	350	323,78
6,5	16	19,15	3	5	4,67	550	713,87	2	4	3,30	200	350	216,32
	16	19,06	3	5	4,57	550	1048,75	2	4	3,90	200	350	268,91
	16	19,45	3	5	5,02	550	912,42	2	4	3,90	200	350	233,95
Rata-rata	16	19,22	3	5	4,75	550	891,68	2	4	3,70	200	350	239,73



Gambar 4.4. Hasil Uji Marshall Campuran dengan Gradasi Menerus : (a) Grafik VMA vs. Kadar Aspal; (b) Grafik VIM vs. Kadar Aspal; (c) Grafik Stabilitas vs. Kadar Aspal; (d) Grafik *Flow* vs. Kadar Aspal; (e) Grafik MQ vs. Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 4.4**, dapat dilihat bahwa hampir seluruh data kinerja campuran masuk dalam zona persyaratan kecuali nilai rongga dalam campuran (VIM) untuk beberapa kadar aspal. Hal ini dapat disebabkan oleh proses pemadatan yang kurang merata terhadap campuran atau persentase berat aspal maupun agregat yang berkurang selama masa pembuatan benda uji.

Setelah diperoleh data hasil kinerja campuran, dapat dicari kadar aspal optimum seperti terlihat pada **Gambar 4.5**.

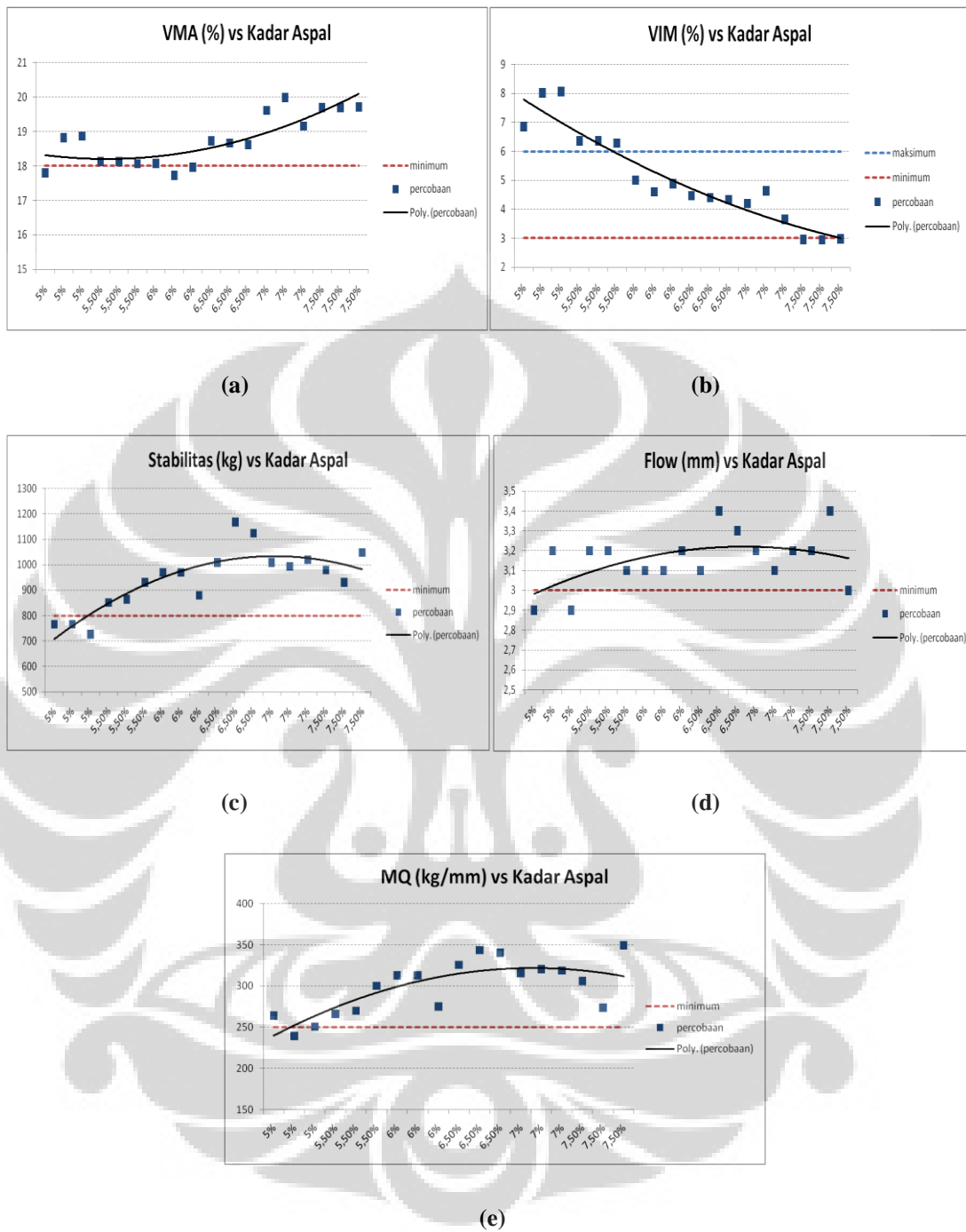


Gambar 4.5. Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran dengan Gradasi Menerus

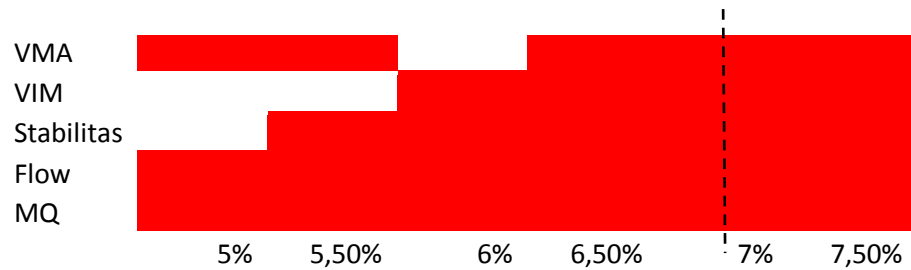
Nilai VIM yang termasuk dalam range spesifikasi dimulai dari kadar aspal 5,85% seperti terlihat pada **Gambar 4.5**. Kadar aspal optimum ditentukan dari kadar aspal dimana semua data kinerja campuran sudah mulai memenuhi semua persyaratan. Maka, kadar aspal optimum yang akan digunakan untuk penelitian terhadap campuran dengan gradasi menerus selanjutnya digunakan 5,85%.

Tabel 4.13. Hasil Pengujian Marshall terhadap Campuran Aspal dengan Gradasi Senjang (HRS)

Kadar Aspal (%)	VMA (%)		VIM (%)			Stabilitas (kg)		Flow (mm)			MQ (kg/mm)		
	min	percobaan	min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan
5	16	17,80	3	5	6,86	550	765,81	2	4	2,90	200	350	264,07
	16	18,82	3	5	8,01	550	765,81	2	4	3,20	200	350	239,32
	16	18,87	3	5	8,07	550	726,54	2	4	2,90	200	350	250,53
Rata-rata	16	18,49	3	5	7,65	550	752,72	2	4	3,00	200	350	251,31
5,5	16	18,13	3	5	6,36	550	851,06	2	4	3,20	200	350	265,96
	16	18,13	3	5	6,36	550	863,99	2	4	3,20	200	350	270,00
	16	18,06	3	5	6,28	550	930,23	2	4	3,10	200	350	300,07
Rata-rata	16	18,11	3	5	6,33	550	881,76	2	4	3,17	200	350	278,68
6	16	18,07	3	5	5,00	550	969,81	2	4	3,10	200	350	312,84
	16	17,73	3	5	4,61	550	969,81	2	4	3,10	200	350	312,84
	16	17,96	3	5	4,88	550	879,71	2	4	3,20	200	350	274,91
Rata-rata	16	17,92	3	5	4,83	550	939,78	2	4	3,13	200	350	300,20
6,5	16	18,73	3	5	4,47	550	1009,40	2	4	3,10	200	350	325,61
	16	18,67	3	5	4,40	550	1167,74	2	4	3,40	200	350	343,45
	16	18,61	3	5	4,34	550	1123,66	2	4	3,30	200	350	340,50
Rata-rata	16	18,67	3	5	4,40	550	1100,27	2	4	3,27	200	350	336,52
7	16	19,61	3	5	4,20	550	1009,40	2	4	3,20	200	350	315,44
	16	19,99	3	5	4,64	550	993,29	2	4	3,10	200	350	320,42
	16	19,15	3	5	3,65	550	1019,67	2	4	3,20	200	350	318,65
Rata-rata	16	19,58	3	5	4,16	550	1007,45	2	4	3,17	200	350	318,17
7,5	16	19,69	3	5	2,95	550	979,02	2	4	3,20	200	350	305,94
	16	19,69	3	5	2,95	550	930,62	2	4	3,40	200	350	273,71
	16	19,71	3	5	2,98	550	1048,10	2	4	3,00	200	350	349,37
Rata-rata	16	19,70	3	5	2,96	550	985,91	2	4	3,20	200	350	309,67



Gambar 4.6. Hasil Uji Marshall Campuran dengan Gradasi Senjang : (a) Grafik VMA vs. Kadar Aspal; (b) Grafik VIM vs. Kadar Aspal; (c) Grafik Stabilitas vs. Kadar Aspal; (d) Grafik Flow vs. Kadar Aspal; (e) Grafik MQ vs. Kadar Aspal



Gambar 4.7. Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran dengan Gradasi Senjang

Berdasarkan **Gambar 4.7**, dapat dilihat bahwa untuk beberapa kadar aspal, nilai VMA, VIM, dan stabilitas tidak memenuhi persyaratan. Maka untuk menentukan kadar aspal optimum untuk campuran dengan gradasi senjang, berdasarkan rata-rata kinerja campuran yang paling tinggi dalam rentang kadar aspal tersebut digunakan kadar aspal 6,9%.

IV.3. Pemadatan Campuran Aspal Beton

Pada penelitian ini, proses pemadatan campuran aspal beton dengan variasi temperatur dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

IV.3.1. Pembuatan Benda Uji dengan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan penentuan kadar aspal optimum sebelumnya, yaitu 5,85% untuk campuran dengan gradasi menerus dan 6,9% untuk campuran dengan gradasi senjang, maka perlu dilakukan kembali perancangan benda uji dengan kadar aspal optimum. Perhitungan berat aspal dan agregat untuk kedua variasi gradasi dengan kadar aspal optimum adalah sebagai berikut.

a. Perhitungan Berat Aspal dan Agregat untuk Gradasi Menerus

- Kadar Aspal 5,85%

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

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

$$- \text{Agregat kasar} = 10\% \times 1129,8 \text{ gram} = 112,98 \text{ gram}$$

$$- \text{Agregat medium} = 30\% \times 1129,8 \text{ gram} = 338,94 \text{ gram}$$

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

b. Perhitungan Berat Aspal dan Agregat untuk Gradasi Senjang

- Kadar Aspal 6,9%

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

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

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

Setelah menghitung komposisi material campuran, maka langsung dipersiapkan kedua material utama campuran, yaitu aspal dan agregat yang telah lulus uji standar sebelumnya. Sesuai dengan PA-0305-76, ASTM D-1559-76, dan AASHTO T-44-81, bahwa dalam perancangan benda uji, material aspal dan agregat dipanaskan terlebih dahulu sebelum proses pencampuran (*mixing*) hingga mencapai temperatur 110°C dan 150°C . Lama waktu pemanasan dapat berubah-ubah sesuai dengan kondisi lingkungan, alat pemanas, dan material. (**Gambar 4.8** dan **Gambar 4.9**)



Gambar 4.8. Pemanasan dan Pengukuran Temperatur Aspal



(a)

(b)

Gambar 4.9. (a) Proses Pemanasan Agregat; (b) Pengukuran Temperatur Agregat

IV.3.2. Pengaturan Temperatur Campuran Aspal Beton

Cetakan benda uji (*mold*) yang digunakan berdiameter 10 cm atau 3,94 inci dan berbahan baja sesuai standar. Pada tahap ini, bagian luar cetakan benda uji dipasang alat *Band Heater* yang berfungsi sebagai pengatur temperatur benda uji. *Band Heater* diatur sedemikian rupa melingkari cetakan benda uji dengan rapat untuk meminimalisir kalibrasi temperatur antara *band heater* dengan bagian dalam cetakan yang akan bersentuhan langsung dengan benda uji. (**Gambar 4.10**)



Gambar 4.10. Cetakan Benda Uji Dipasangi *Band Heater*

Setelah mengatur temperatur yang diinginkan dengan thermostat, lampu indikator pada *band heater* akan menyala dan padam beberapa saat kemudian, menandakan temperatur alat yang diinginkan sudah tercapai. Material benda uji yang telah dicampur kemudian dimasukkan kedalam cetakan tersebut dan dilakukan pengukuran temperatur kembali untuk memeriksa apakah sudah sesuai dengan variasi temperatur yang akan digunakan dalam proses pemadatan selanjutnya.

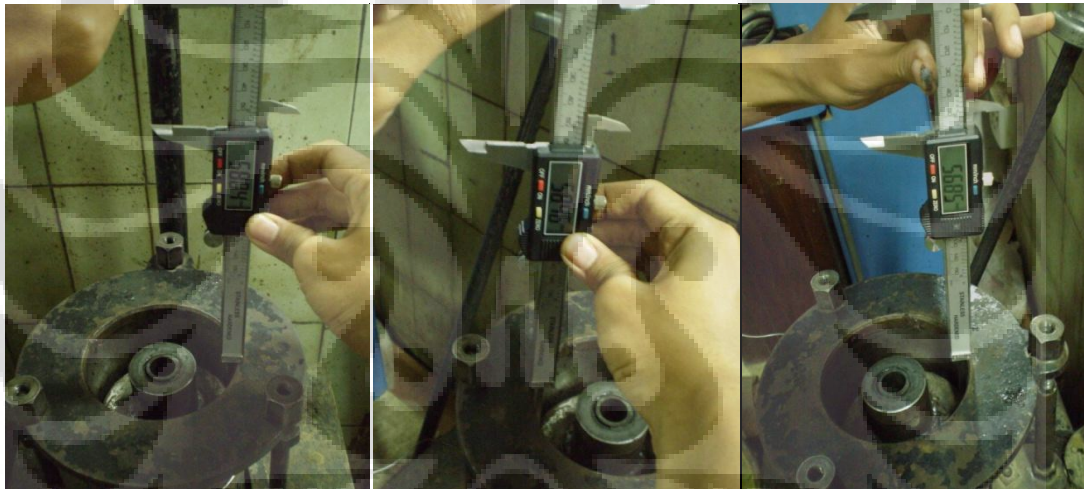


Gambar 4.11. Pemeriksaan Temperatur *Band Heater*

IV.3.3. Pemadatan dan Pengukuran Deformasi Campuran Aspal Beton dengan Variasi Temperatur

Tahap selanjutnya adalah pemadatan statis campuran aspal beton dengan temperatur yang bervariasi, dimulai dari 90⁰C, 100⁰C, 110⁰C, hingga 120⁰C. Dalam

proses pematatannya, dilakukan pula pengukuran deformasi campuran dengan menggunakan jangka sorong yang ditancapkan ke 3 (tiga) sisi permukaan campuran. Pengukuran deformasi untuk 3 sisi tersebut bertujuan untuk mencari nilai deformasi rata-rata campuran aspal beton dan dilakukan setiap 5 kali tumbukan. Misalnya pemadatan normal dilakukan sebanyak 2x75 tumbukan, maka akan diperoleh 30 data pengukuran deformasi. Perlu ditambahkan pula bahwa proses penelitian ini dilakukan dengan 2 variasi jumlah tumbukan, yaitu 2x75 dan 2x90 tumbukan. 2x75 tumbukan umumnya digunakan untuk lalu lintas berat dan 2x90 tumbukan dianggap sebagai jumlah tumbukan maksimum yang dapat diterima campuran aspal beton. **(Gambar 4.12)**



Gambar 4.12. Proses Pengukuran Deformasi pada Ketiga Sisi Permukaan Campuran

Proses pengukuran deformasi ketika pemadatan ini dikelompokkan menjadi 2 (dua) bagian, yaitu pengukuran deformasi campuran dengan gradasi menerus dan gradasi senjang. Untuk campuran dengan gradasi menerus, data deformasi yang diperoleh adalah data deformasi dari semua variasi temperatur terhadap dua variasi jumlah tumbukan. Sedangkan untuk campuran dengan gradasi senjang, data deformasi yang diperoleh adalah data deformasi dari variasi temperatur paling rendah dan paling tinggi (90°C dan 120°C) terhadap jumlah tumbukan standar untuk lalu lintas berat (2x75).

Secara garis besar, lingkup proses penelitian ini dapat digambarkan pada **Tabel 4.14** dan **Tabel 4.15**.

Tabel 4.14. Lingkup Pengukuran Deformasi Campuran Aspal Beton dengan Variasi Temperatur

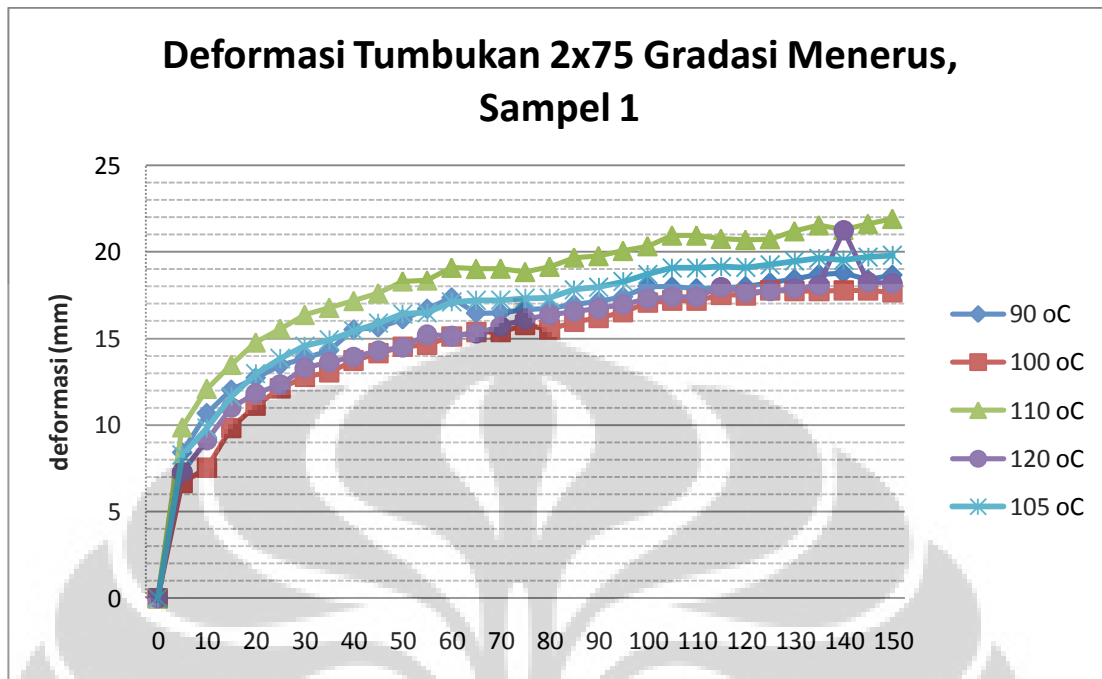
Jenis Campuran dengan Variasi Temperatur	Tumbukan 2x75	Tumbukan 2x90
Campuran dengan Gradasi Menerus		
90 ⁰ C	√	√
100 ⁰ C	√	√
110 ⁰ C	√	√
120 ⁰ C	√	√
Campuran dengan Gradasi Senjang		
90 ⁰ C	√	-
120 ⁰ C	√	-

Tabel 4.15. Jumlah Benda Uji dalam Lingkup Pengukuran Deformasi Campuran Aspal Beton

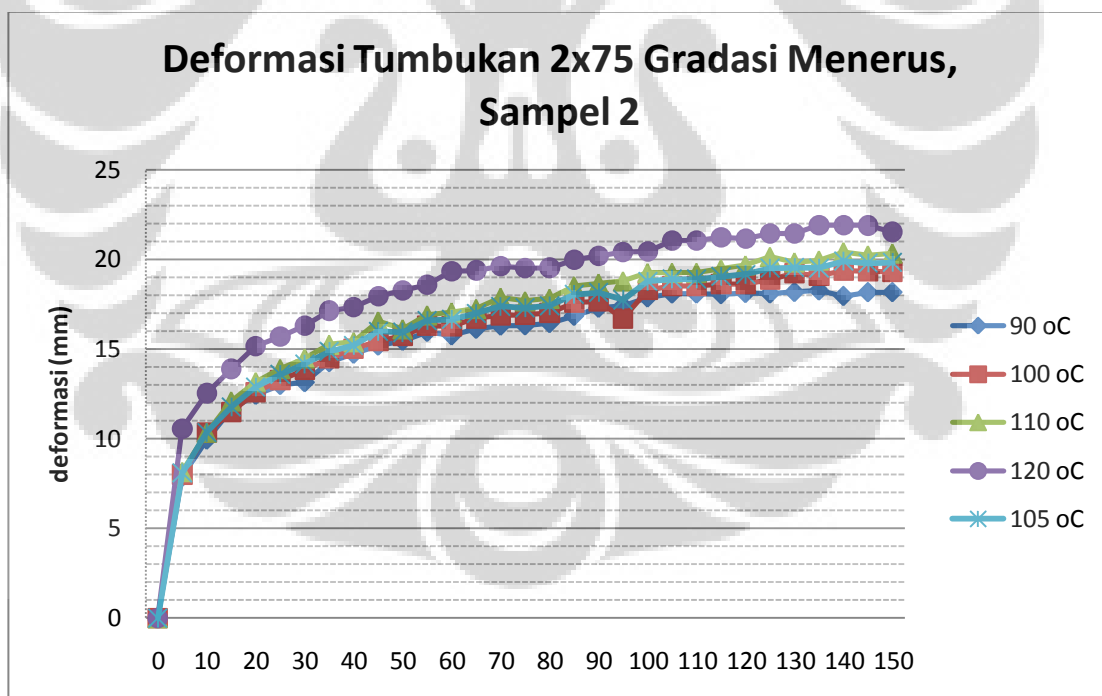
Lingkup Pengukuran	Jumlah Benda Uji
90 ⁰ C; 2x75;Menerus	3
90 ⁰ C; 2x75;Senjang	3
90 ⁰ C; 2x90;Menerus	3
100 ⁰ C; 2x75;Menerus	3
100 ⁰ C; 2x90;Menerus	3
110 ⁰ C; 2x75;Menerus	3
110 ⁰ C; 2x90;Menerus	3
120 ⁰ C; 2x75;Menerus	3
120 ⁰ C; 2x75;Senjang	3
120 ⁰ C; 2x90;Menerus	3
Total	30

➤ **Pengukuran Deformasi Campuran dengan Gradasi Menerus**

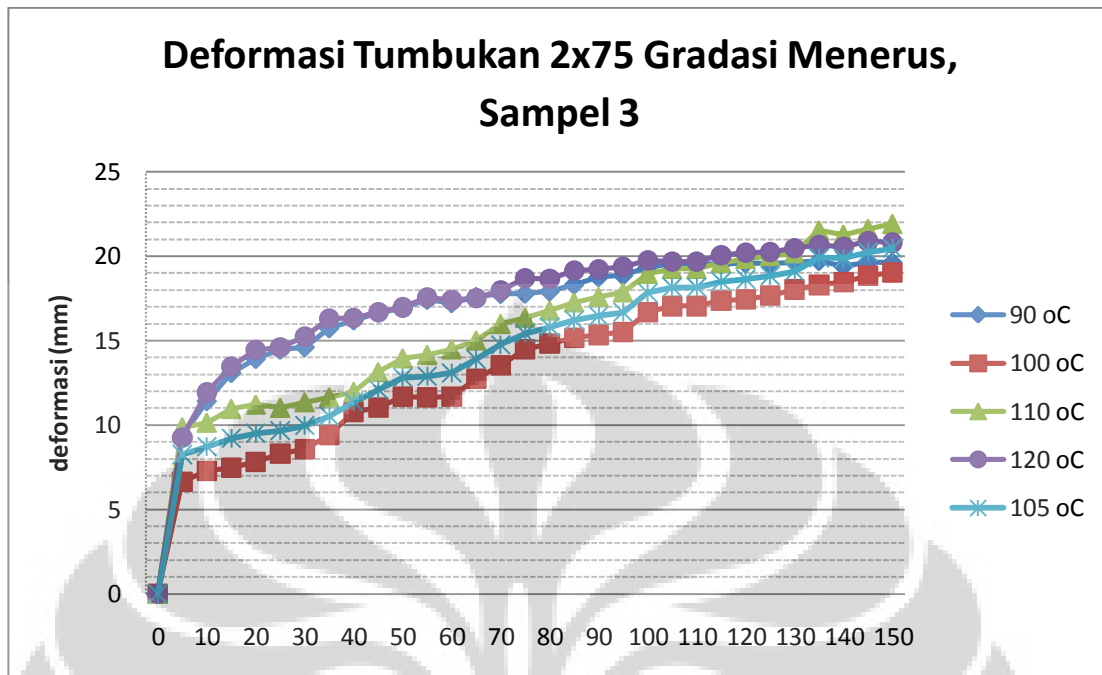
Berikut ini adalah grafik hasil pengukuran deformasi rata-rata campuran dengan gradasi menerus, variasi temperatur, serta jumlah tumbukan 2x75 dan 2x90.



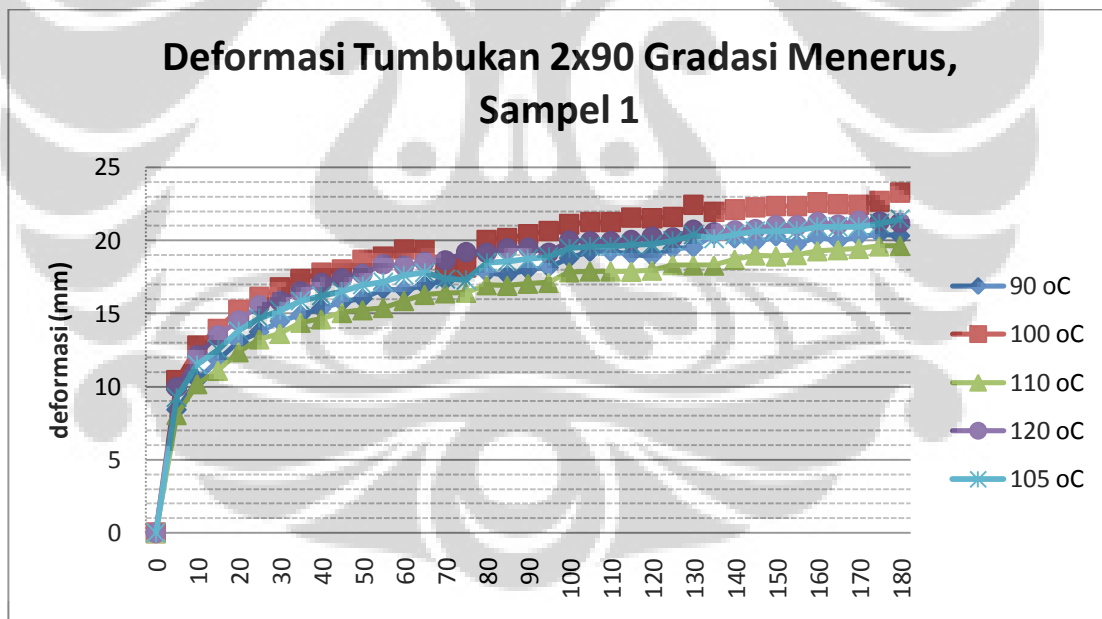
Gambar 4.13. Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Menerus Sampel 1



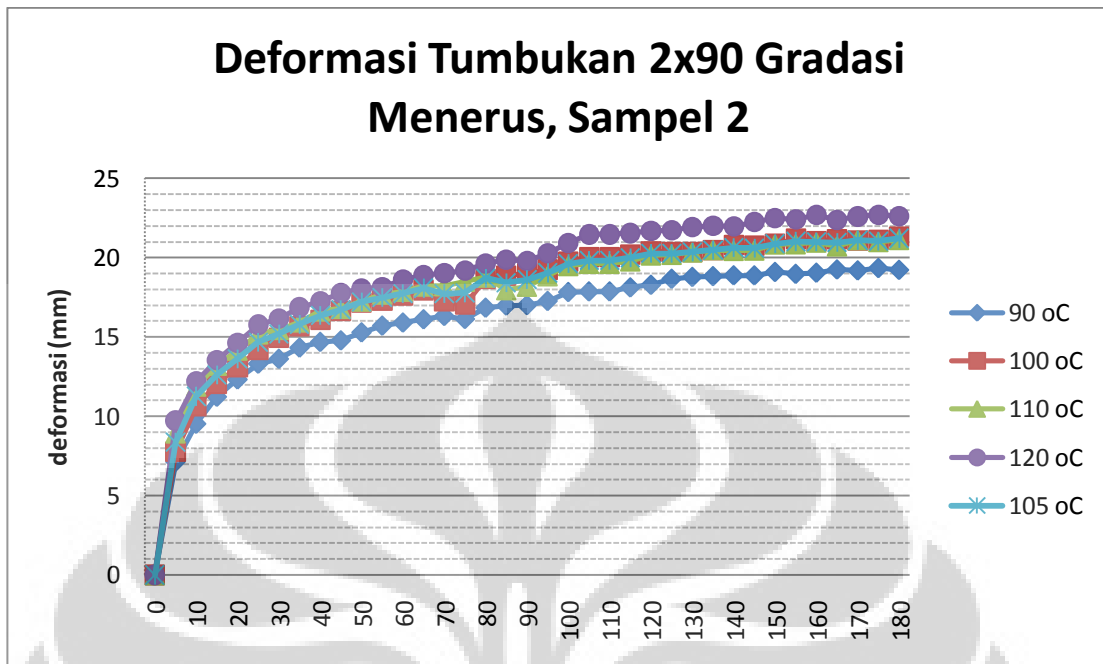
Gambar 4.14. Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Menerus Sampel 2



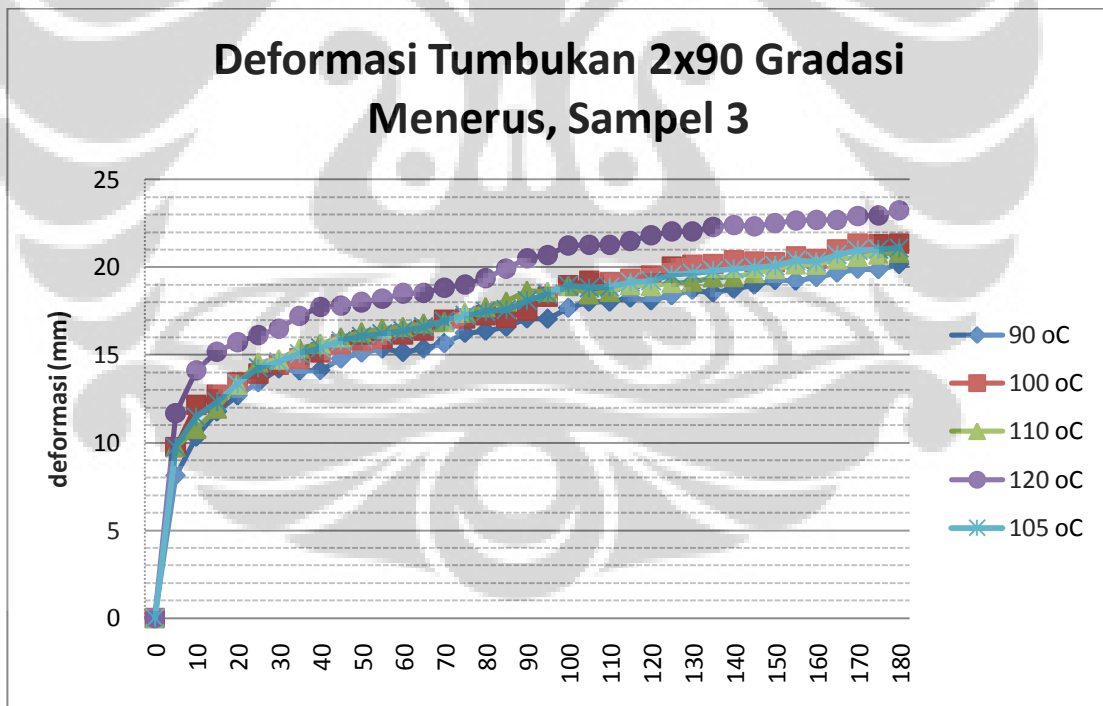
Gambar 4.15. Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Menerus Sampel 3



Gambar 4.16. Grafik Deformasi Tumbukan 2x90 Campuran Gradasi Menerus Sampel 1



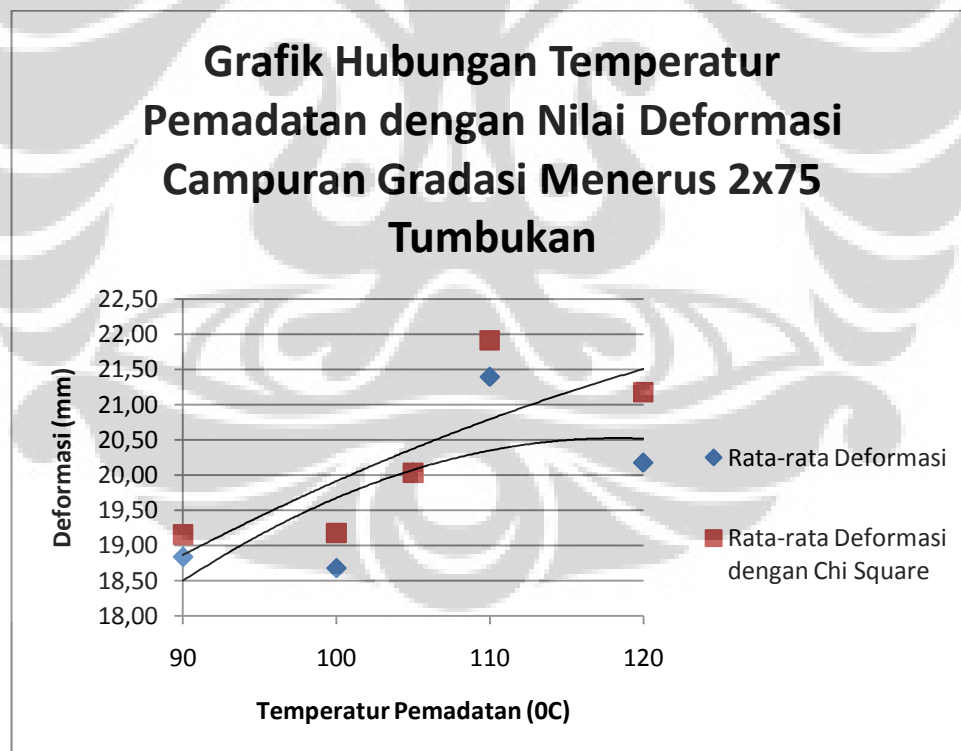
Gambar 4.17. Grafik Deformasi Tumbukan 2x90 Campuran Gradasi Menerus Sampel 2



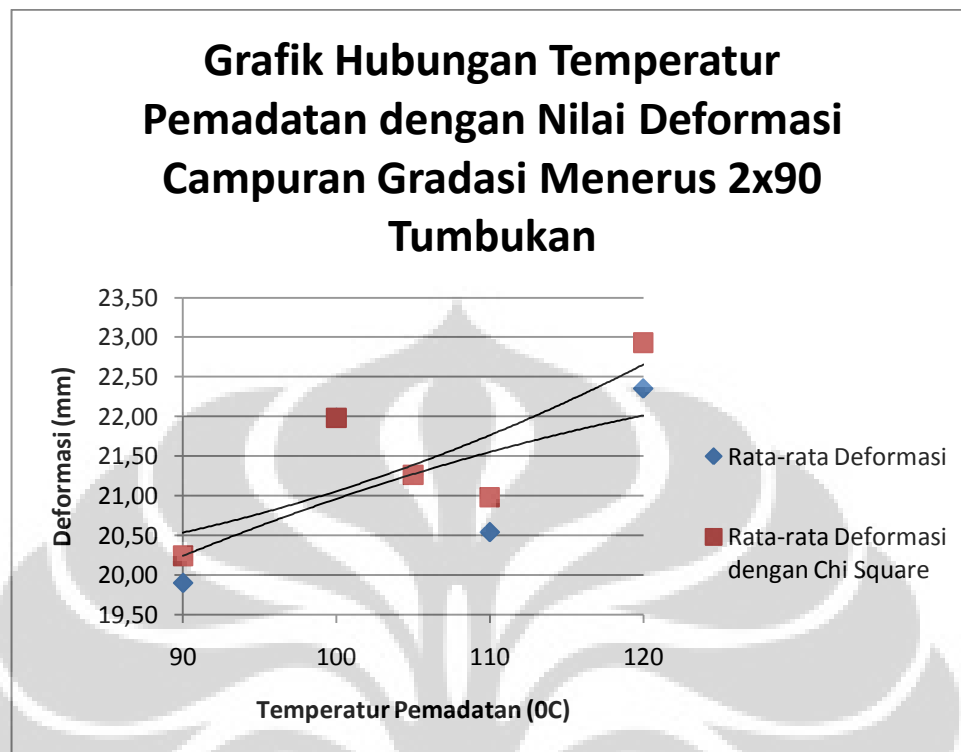
Gambar 4.18. Grafik Deformasi Tumbukan 2x90 Campuran Gradasi Menerus Sampel 3

Berdasarkan **Gambar 4.13 – Gambar 4.18**, terlihat bahwa temperatur dapat mempengaruhi nilai deformasi campuran dengan gradasi menerus. Hanya saja, hasil yang diperoleh tidak menunjukkan kesamaan pengaruh satu jenis temperatur pada nilai deformasi satu sampel dengan sampel lainnya, dengan jumlah tumbukan yang berbeda pula. Untuk campuran dengan gradasi menerus yang dipadatkan dengan jumlah tumbukan 2x75, rata-rata menunjukkan peningkatan nilai deformasi setelah bertambahnya temperatur pemadatan di atas temperatur normal ($\pm 105^{\circ}\text{C}$). Nilai deformasi tertinggi diperoleh pada temperatur 110°C dan kembali menurun pada 120°C .

Untuk campuran dengan gradasi menerus yang dipadatkan dengan jumlah tumbukan 2x90, rata-rata menunjukkan penurunan nilai deformasi setelah temperatur pemadatan dinaikkan dari 105°C menjadi 110°C . Namun pada temperatur 120°C , nilai deformasi menjadi tinggi kembali hingga mencapai nilai tertinggi.



Gambar 4.19. Grafik Hubungan Temperatur Pemadatan dengan Nilai Deformasi Campuran Gradasi Menerus dengan Tumbukan 2x75



Gambar 4.20. Grafik Hubungan Temperatur Pemadatan dengan Nilai Deformasi Campuran Gradasi Menerus dengan Tumbukan 2x90

Tabel 4.16. Persamaan Grafik Pengaruh Temperatur Pemadatan terhadap Deformasi Campuran Gradasi Menerus

Deformasi Berdasarkan Temperatur	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = -0,0025x^2 + 0,5974x - 14,832$	0,5281	$y = -0,0008x^2 + 0,264x + 1,8898$	0,6493
2X90 Menerus	$y = -0,0006x^2 + 0,1941x + 7,9773$	0,4355	$y = 0,0009x^2 - 0,1223x + 24,095$	0,6073

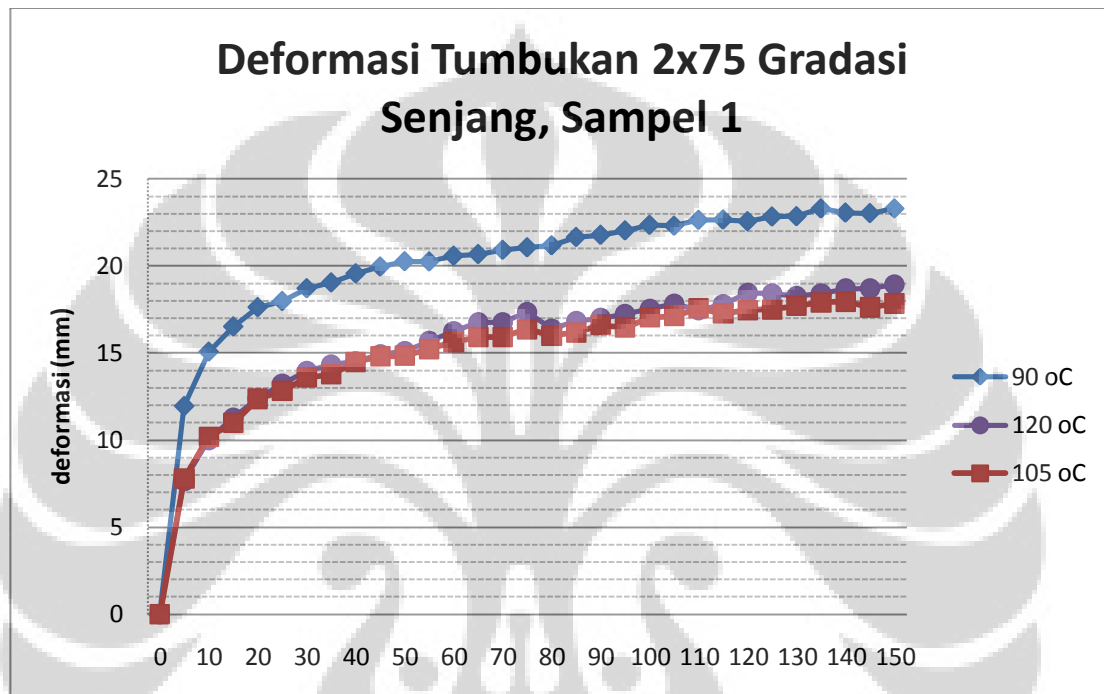
Keterangan :

y = Deformasi (mm)

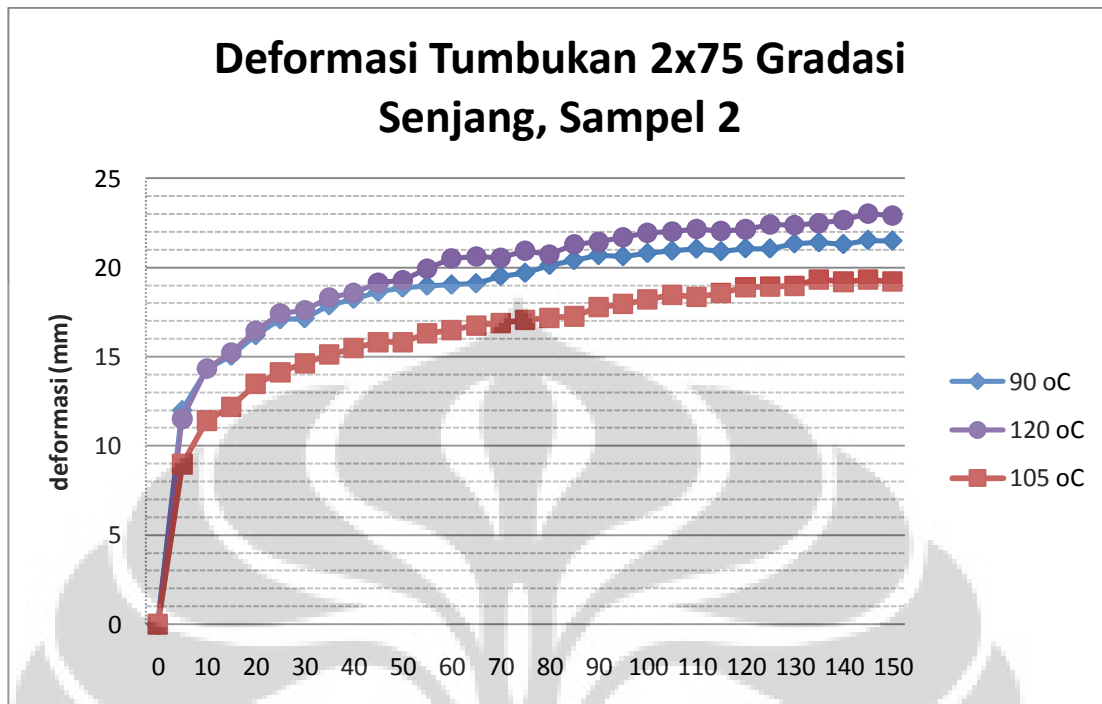
x = Temperatur (°C)

➤ **Pengukuran Deformasi Campuran dengan Gradasi Senjang**

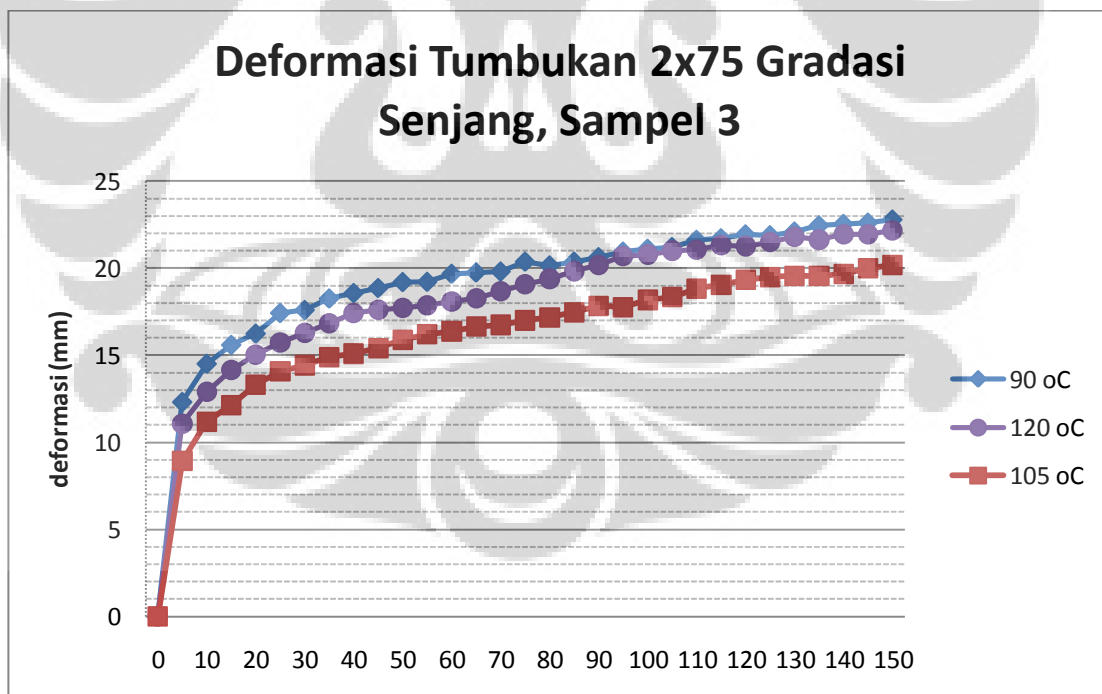
Berikut ini adalah grafik hasil pengukuran deformasi rata-rata campuran dengan gradasi senjang, variasi temperatur 90⁰C dan 120⁰C, serta jumlah tumbukan 2x75.



Gambar 4.21. Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Senjang Sampel 1

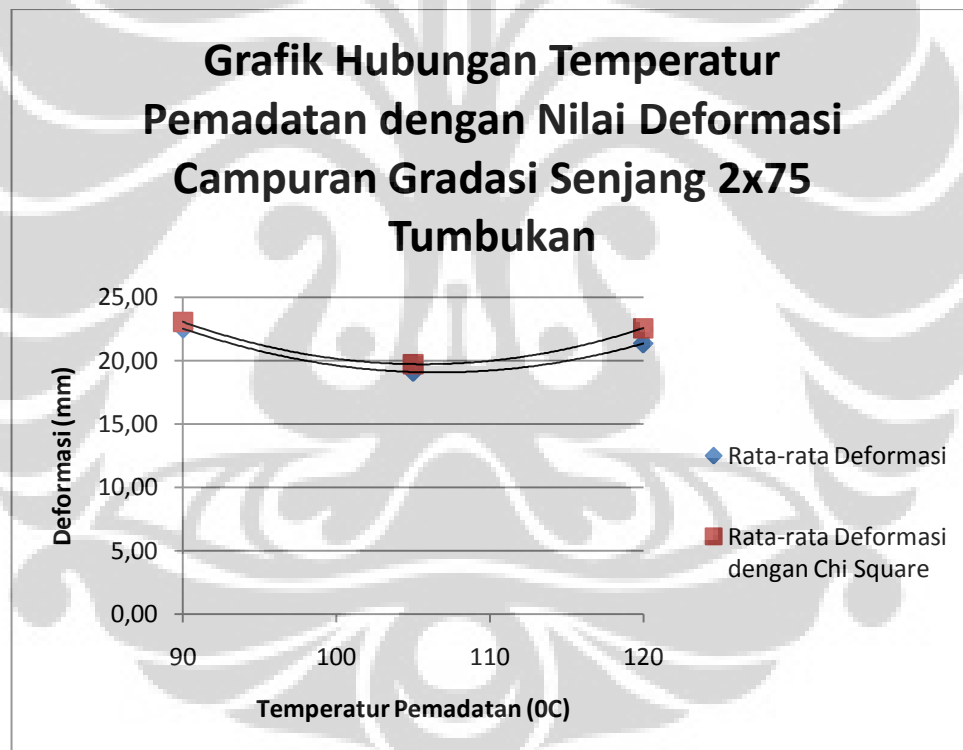


Gambar 4.22. Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Senjang Sampel 2



Gambar 4.23. Grafik Deformasi Tumbukan 2x75 Campuran Gradasi Senjang Sampel 3

Berdasarkan **Gambar 4.21 – Gambar 4.23**, terlihat bahwa temperatur dapat mempengaruhi nilai deformasi campuran dengan gradasi senjang. Sama seperti campuran dengan gradasi menerus, hasil yang diperoleh tidak menunjukkan kesamaan pengaruh satu jenis temperatur pada nilai deformasi satu sampel dengan sampel lainnya. Untuk campuran dengan gradasi senjang yang dipadatkan dengan jumlah tumbukan 2×75 , rata-rata menunjukkan peningkatan nilai deformasi setelah bertambahnya temperatur pemadatan di atas temperatur normal menjadi 120°C . Namun, nilai deformasi tertinggi diperoleh pada temperatur 90°C dalam rentang temperatur yang ada.



Gambar 4.24. Grafik Hubungan Temperatur Pemadatan dengan Nilai Deformasi Campuran Gradasi Senjang dengan Tumbukan 2×90

➤ **Penurunan Temperatur pada Proses Pemadatan Campuran Aspal Beton**

Dalam melakukan tahap penelitian ini, tercatat beberapa kali temperatur campuran mengalami penurunan selama proses pemadatan. Pengukuran untuk pemeriksaan temperatur campuran dilakukan sebelum dan setelah proses pemadatan. Penurunan temperatur campuran ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya pemasangan *band heater* yang kurang rapat pada cetakan benda uji sehingga panas yang dihasilkan tidak merata ke seluruh bagian campuran, adanya pengaruh temperatur dari luar, dan lain-lain. Hal ini dapat mengakibatkan perbedaan nilai deformasi campuran yang signifikan antar sampel.

Tabel 4.17. Perubahan Temperatur yang Terjadi Selama Proses Pemadatan

Tumbukan	Temperatur	No.Sampel	Suhu Awal Deformasi	Suhu Akhir Deformasi
2x75;M	90 ⁰ C	1	90 ⁰ C	82 ⁰ C
		2	90 ⁰ C	89 ⁰ C
		3	90 ⁰ C	88,2 ⁰ C
	100 ⁰ C	1	100 ⁰ C	100 ⁰ C
		2	100 ⁰ C	100 ⁰ C
		3	100 ⁰ C	100 ⁰ C
	110 ⁰ C	1	110 ⁰ C	108 ⁰ C
		2	110 ⁰ C	108 ⁰ C
		3	110 ⁰ C	108 ⁰ C
	120 ⁰ C	1	120 ⁰ C	115 ⁰ C
		2	120 ⁰ C	120 ⁰ C
		3	120 ⁰ C	115 ⁰ C
2x90;M	90 ⁰ C	1	90 ⁰ C	83 ⁰ C
		2	90 ⁰ C	86 ⁰ C
		3	90 ⁰ C	90 ⁰ C
	100 ⁰ C	1	100 ⁰ C	98 ⁰ C
		2	100 ⁰ C	95 ⁰ C
		3	100 ⁰ C	98 ⁰ C
	110 ⁰ C	1	110 ⁰ C	104 ⁰ C
		2	110 ⁰ C	110 ⁰ C
		3	110 ⁰ C	109 ⁰ C
	120 ⁰ C	1	120 ⁰ C	120 ⁰ C
		2	120 ⁰ C	119 ⁰ C
		3	120 ⁰ C	119 ⁰ C

Tumbukan	Temperatur	No.Sampel	Suhu Awal Deformasi	Suhu Akhir Deformasi
2x75,S	90 ^o C	1	90 ^o C	85 ^o C
		2	90 ^o C	90 ^o C
		3	90 ^o C	87 ^o C
	120 ^o C	1	120 ^o C	120 ^o C
		2	120 ^o C	120 ^o C
		3	120 ^o C	118 ^o C

IV.4. Hasil Uji Marshall

Berikut adalah data hasil uji Marshall campuran dengan variasi temperatur pada proses pematatannya.

Tabel 4.18. Hasil Pengujian Marshall Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur Pematatan

Gradasi Menerus	VMA (%)		VIM (%)			Stabilitas (kg)		Flow (mm)			MQ (kg/mm)		
	min	percobaan	min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan
90:2x75	16	20,83	3	5	8,07	550	958,62	2	4	4,40	200	350	217,87
	16	17,59	3	5	4,31	550	1733,65	2	4	3,90	200	350	444,53
	16	18,77	3	5	5,68	550	1614,08	2	4	3,80	200	350	424,76
Rata-rata	16	19,07	3	5	6,02	550	1435,45	2	4	4,03	200	350	362,38
100C:2x75	16	17,64	3	5	4,37	550	1755,06	2	4	4,30	200	350	408,15
	16	19,08	3	5	6,04	550	1219,98	2	4	3,85	200	350	316,88
	16	19,01	3	5	5,96	550	1455,41	2	4	4,30	200	350	338,47
Rata-rata	16	18,58	3	5	5,46	550	1476,82	2	4	4,15	200	350	354,50
110C:2x75	16	17,52	3	5	4,22	550	1446,38	2	4	3,70	200	350	390,91
	16	18,56	3	5	5,43	550	1458,17	2	4	3,05	200	350	478,09
	16	18,11	3	5	4,92	550	1519,62	2	4	3,60	200	350	422,12
Rata-rata	16	18,06	3	5	4,86	550	1474,72	2	4	3,45	200	350	430,37
120C:2x75	16	17,47	3	5	4,17	550	2010,51	2	4	3,60	200	350	558,48
	16	18,40	3	5	5,25	550	1568,64	2	4	3,30	200	350	475,35
	16	19,02	3	5	5,97	550	1679,11	2	4	3,25	200	350	516,65
Rata-rata	16	18,29	3	5	5,13	550	1752,75	2	4	3,38	200	350	516,82
90:2x90	16	19,16	3	5	6,13	550	1152,91	2	4	3,50	200	350	329,40
	16	17,61	3	5	4,34	550	1348,40	2	4	4,50	200	350	299,64
	16	18,66	3	5	5,56	550	1219,98	2	4	3,90	200	350	312,81
Rata-rata	16	18,48	3	5	5,34	550	1240,43	2	4	3,97	200	350	313,95
100C:2x90	16	17,61	3	5	4,34	550	1590,74	2	4	3,50	200	350	454,50
	16	18,43	3	5	5,28	550	1449,89	2	4	2,90	200	350	499,96
	16	18,66	3	5	5,55	550	1458,17	2	4	2,70	200	350	540,06
Rata-rata	16	18,23	3	5	5,06	550	1499,60	2	4	3,03	200	350	498,17
110C:2x90	16	18,96	3	5	5,90	550	1480,27	2	4	3,20	200	350	462,58
	16	16,20	3	5	2,69	550	2225,92	2	4	3,20	200	350	695,60
	16	18,36	3	5	5,20	550	1680,03	2	4	3,40	200	350	494,13
Rata-rata	16	17,84	3	5	4,60	550	1795,41	2	4	3,27	200	350	550,77
120C:2x90	16	16,83	3	5	3,43	550	2408,20	2	4	2,75	200	350	875,71
	16	21,49	3	5	8,84	550	1962,64	2	4	2,70	200	350	726,90
	16	19,27	3	5	6,26	550	1866,90	2	4	2,90	200	350	643,76
Rata-rata	16	19,20	3	5	6,18	550	2079,25	2	4	2,78	200	350	748,79

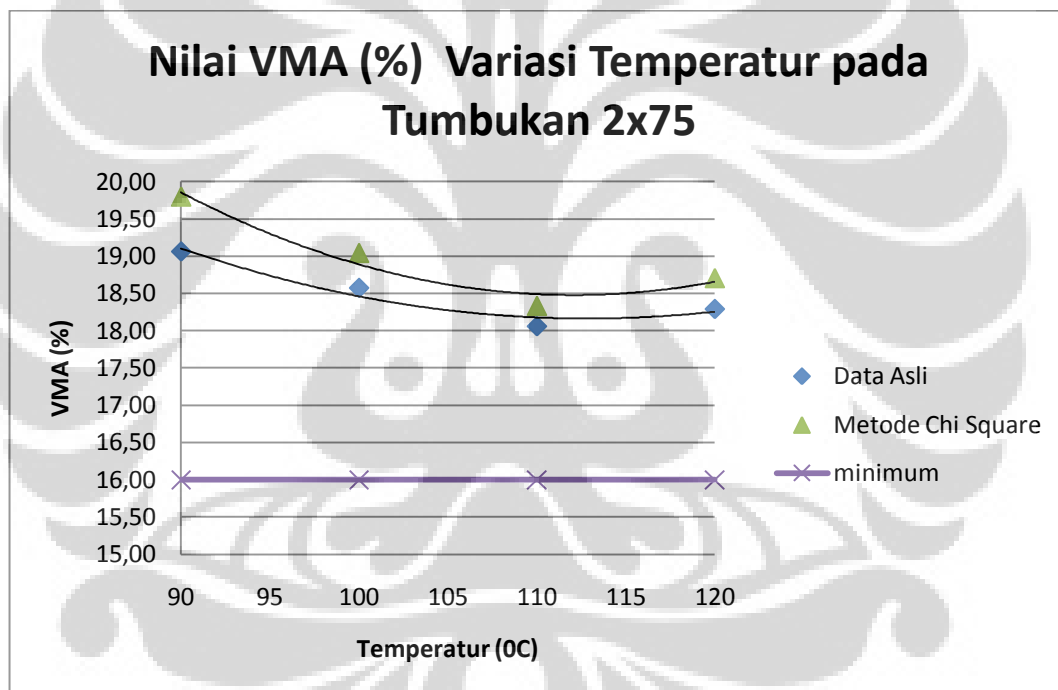
Tabel 4.19. Hasil Pengujian Marshall Campuran Gradasi Senjang dengan Variasi Temperatur Pematatan

Gradasi Senjang	VMA (%)		VIM (%)			Stabilitas (kg)		Flow (mm)			MQ (kg/mm)		
	min	percobaan	min	max	percobaan	min	percobaan	min	max	percobaan	min	max	percobaan
90:2x75	16	20,87	3	5	5,62	550	1005,95	2	4	2,60	200	350	386,90
	16	19,81	3	5	4,36	550	1069,06	2	4	2,50	200	350	427,63
	16	20,50	3	5	5,18	550	1090,02	2	4	2,70	200	350	403,71
Rata-rata	16	20,39	3	5	5,05	550	1055,01	2	4	2,60	200	350	406,08
120C:2x75	16	19,58	3	5	4,08	550	1657,02	2	4	3,15	200	350	526,04
	16	18,91	3	5	3,29	550	1802,73	2	4	3,60	200	350	500,76
	16	20,03	3	5	4,62	550	1530,23	2	4	3,10	200	350	493,62
Rata-rata	16	19,51	3	5	4,00	550	1663,33	2	4	3,28	200	350	506,81

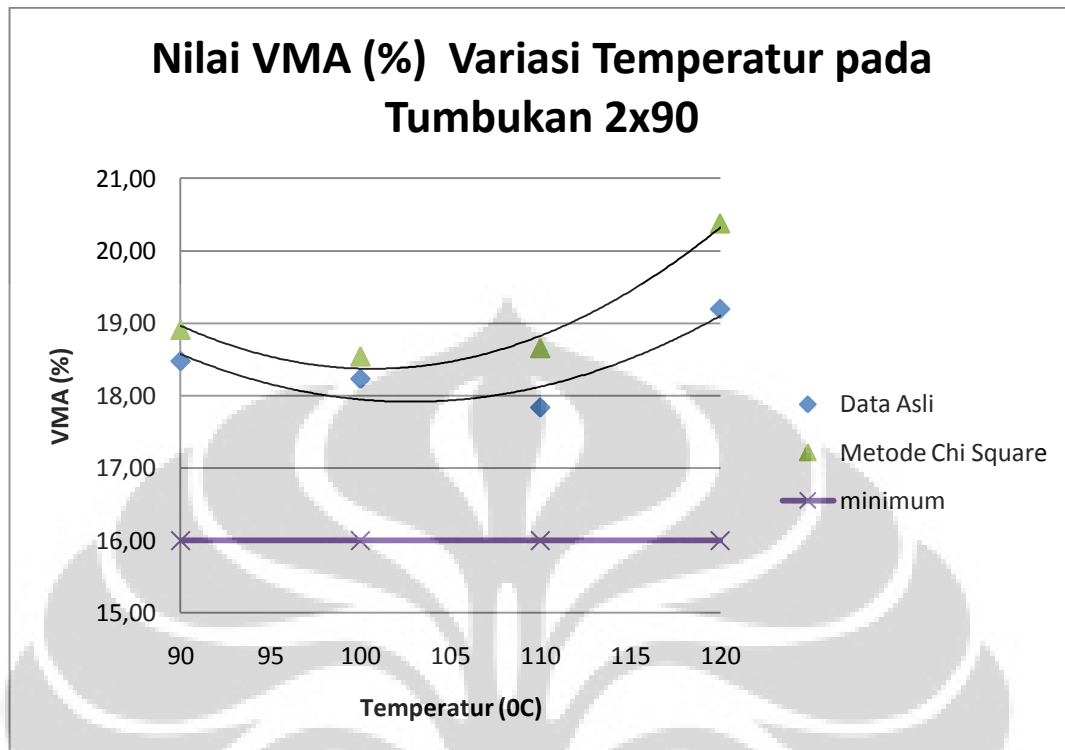
IV.4.1. Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Kinerja Campuran dengan Gradasi Menerus

Analisa pengaruh variasi temperatur terhadap kinerja campuran dapat ditinjau dari nilai VMA, VIM, stabilitas, *flow*, dan MQ. Untuk pengolahan data hasil pengujian Marshall, dapat digunakan beberapa cara, diantaranya untuk setiap data kinerja campuran, datanya dirata – rata dan dibandingkan dengan metode *chi square*. Berikut hasil pengolahan data uji Marshall terhadap campuran dengan gradasi menerus.

➤ Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Nilai VMA



Gambar 4.25. Grafik Hubungan Nilai VMA Campuran Gradasi Menerus 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur



Gambar 4.26. Grafik Hubungan Nilai VMA Campuran Gradasi Menerus 2x90 Tumbukan dengan Variasi Temperatur

Pada **Gambar 4.25** dan **Gambar 4.26**, kondisi nilai VMA terhadap bertambahnya temperatur dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Pengolahan data dengan menggunakan data asli dan metode *chi square*, serta grafik yang terbentuk pada semua temperatur cenderung memiliki pola sama dan tingkat kepercayaan (R^2) tinggi. Nilai-nilai VMA paling tinggi diperoleh dari pengolahan data dengan metode *chi square*
- Pada kondisi jumlah tumbukan 2x75 campuran gradasi menerus, dari persamaan kurva yang terbentuk dari kedua pengolahan data, nilai VMA cenderung mengalami penurunan hingga pada temperatur 110⁰C dan mengalami peningkatan pada temperatur 120⁰C. Sedangkan untuk kondisi tumbukan 2x90 campuran gradasi menerus, dari persamaan kurva yang terbentuk, nilai VMA cenderung mengalami peningkatan tinggi, terutama pada saat temperatur 120⁰C.

Tabel 4.20. Persamaan Hubungan Nilai VMA Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur

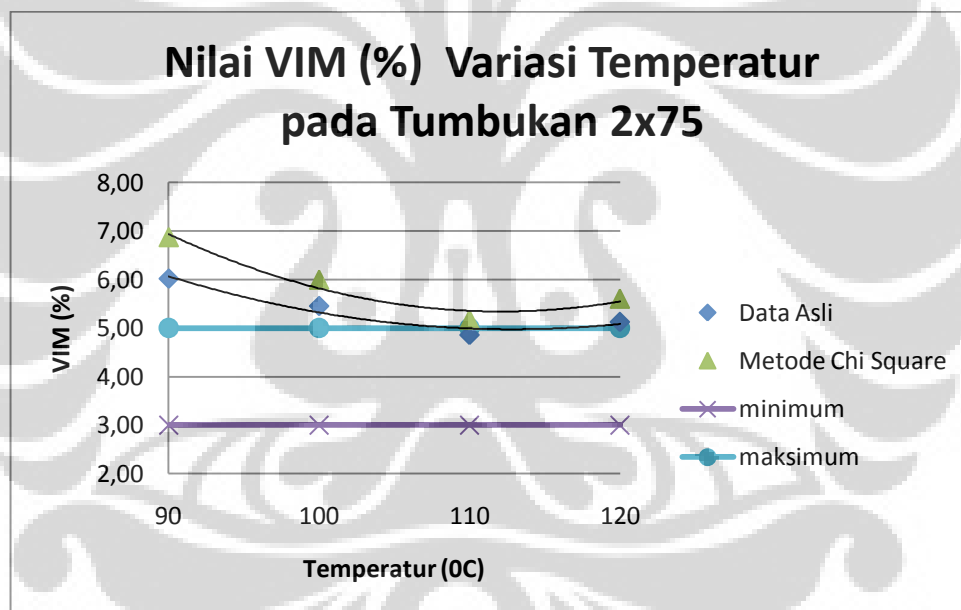
VMA	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = 0,0018x^2 - 0,407x + 41,132$	0,9467	$y = 0,0028x^2 - 0,6332x + 53,961$	0,9541
2X90 Menerus	$y = 0,004x^2 - 0,8241x + 60,275$	0,8146	$y = 0,0052x^2 - 1,0512x + 71,282$	0,9708

Keterangan :

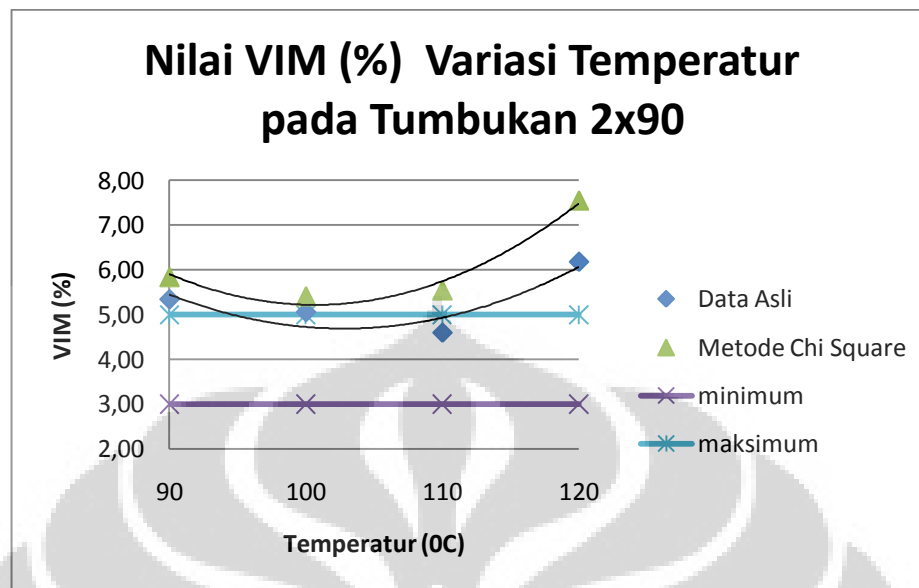
y = VMA (%)

x = Temperatur (°C)

➤ **Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Nilai VIM**



Gambar 4.27. Grafik Hubungan Nilai VIM Campuran Gradasi Menerus 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur



Gambar 4.28. Grafik Hubungan Nilai VIM Campuran Gradasi Menerus 2x90 Tumbukan dengan Variasi Temperatur

Pada kedua **Gambar 4.27** dan **Gambar 4.28**, kondisi nilai VIM terhadap bertambahnya temperatur dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Pada hasil pengolahan data dengan menggunakan metode *chi square*, dapat dilihat bahwa nilai VIM yang diperoleh tidak ada yang termasuk dalam *range*. Hanya terdapat dua data asli yang masih terdapat dalam *range*. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya proses seleksi nilai VIM pada metode *chi square* untuk ketiga sampel dengan rentang nilai yang ditetapkan dari nilai rata-rata pada data asli. Nilai-nilai VIM paling tinggi diperoleh dari pengolahan data dengan metode *chi square*.
- Pada kondisi campuran gradasi menerus dengan 2x75 tumbukan, terdapat persamaan kurva pada data asli dan metode *chi square* yang menunjukkan nilai VIM menurun lalu naik pada temperatur 120⁰C.
- Pada kondisi jumlah tumbukan 2x90 campuran gradasi menerus, persamaan kurva menghasilkan kecenderungan peningkatan nilai yang sama, yaitu naik tinggi terutama pada temperatur 120⁰C untuk kedua jenis pengolahan data.

Tabel 4.21. Persamaan Hubungan Nilai VIM Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur

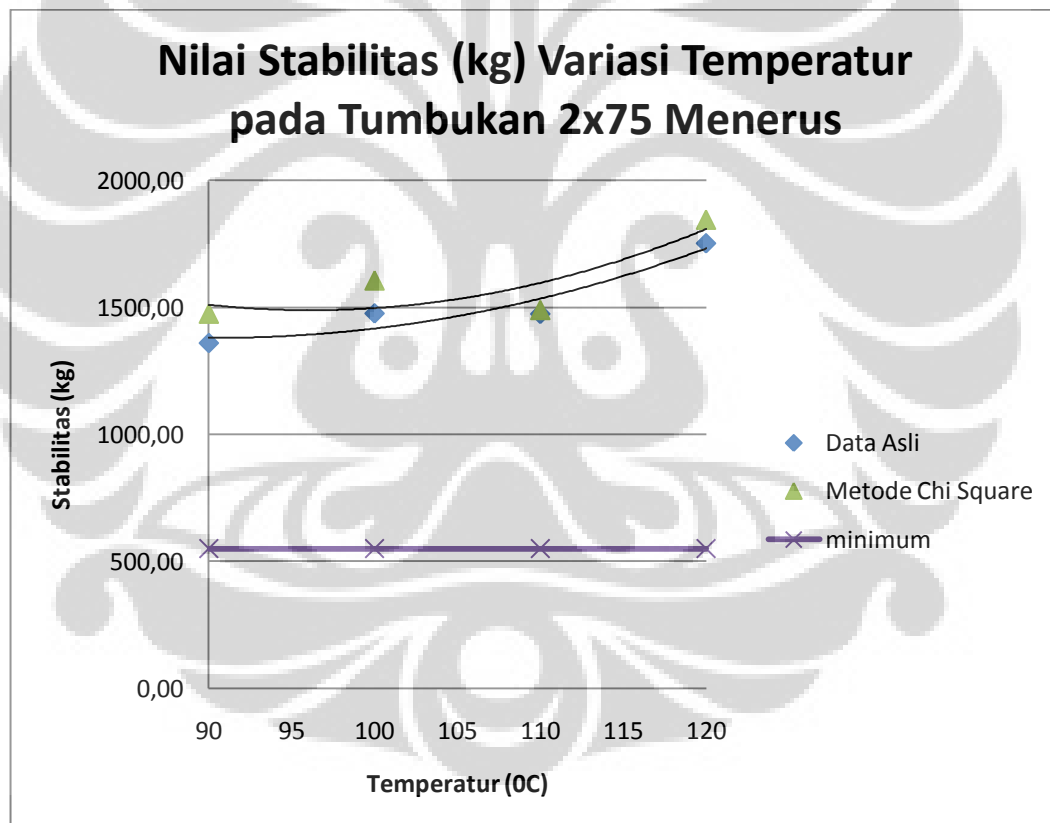
VIM	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = 0,0021x^2 - 0,4726x + 31,646$	0,9467	$y = 0,0033x^2 - 0,7352x + 46,542$	0,9541
2X90 Menerus	$y = 0,0047x^2 - 0,9569x + 53,874$	0,8146	$y = 0,0061x^2 - 1,2206x + 66,654$	0,9708

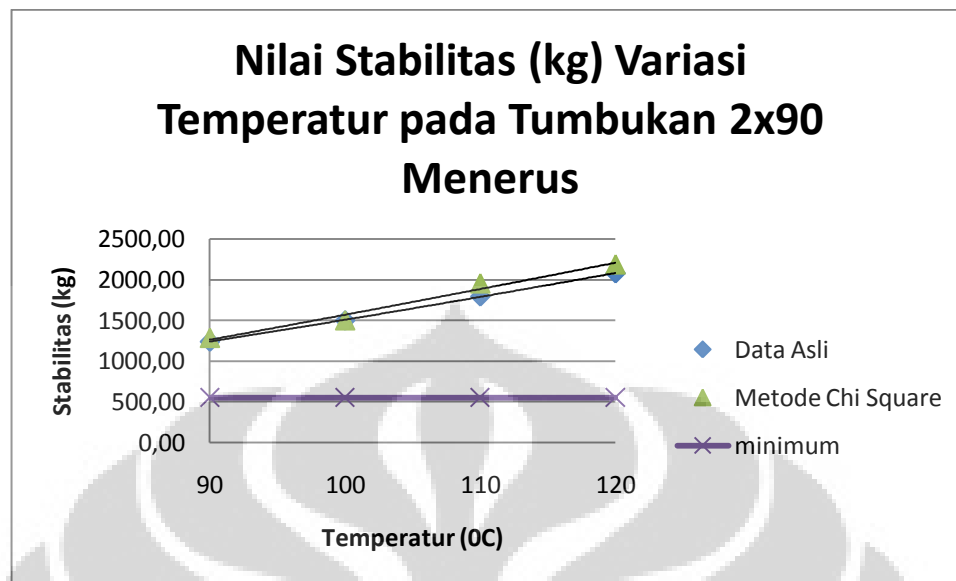
Keterangan :

y = VIM (%)

x = Temperatur (°C)

➤ **Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Nilai Stabilitas**

**Gambar 4.29.** Grafik Hubungan Nilai Stabilitas Campuran Gradasi Menerus 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur



Gambar 4.30. Grafik Hubungan Nilai Stabilitas Campuran Gradasi Menerus 2x90 Tumbukan dengan Variasi Temperatur

Pada **Gambar 4.29** dan **Gambar 4.30**, kondisi nilai stabilitas terhadap bertambahnya temperatur dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Kedua grafik menunjukkan pola yang sama, yaitu pengolahan data dengan metode *chi square* menghasilkan rata-rata nilai stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan data asli. Hal ini dapat disebabkan oleh proses seleksi nilai pada metode *chi square* yang mengeliminasi nilai stabilitas rendah diantara ketiga sampel. Kecenderungan pola kedua grafik pun hampir sama.
- Pada kondisi campuran gradasi menerus dengan 2x75 tumbukan, terdapat persamaan kurva yang terbentuk pada data asli dan metode *chi square* mengakibatkan peningkatan nilai seiring bertambahnya temperatur.
- Pada kondisi jumlah tumbukan 2x90 campuran gradasi menerus, persamaan kurva cenderung menghasilkan pola distribusi nilai yang hampir sama, yaitu terus mengalami peningkatan seiring bertambahnya temperatur untuk kedua jenis pengolahan data.

Tabel 4.22. Persamaan Hubungan Nilai Stabilitas Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur

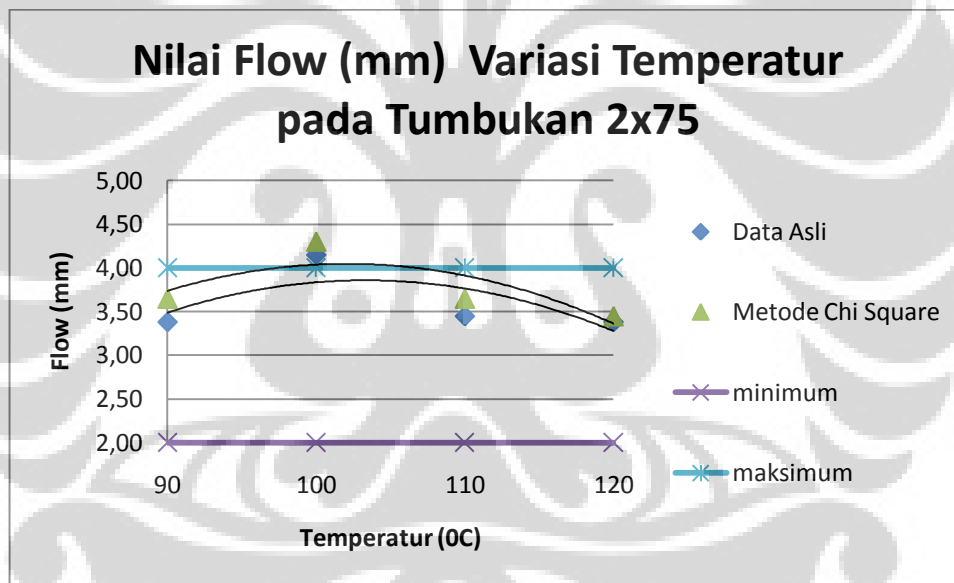
Stabilitas	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = 0,4031x^2 - 72,886x + 4674,8$	0,9048	$y = 0,5626x^2 - 108,2x + 6691,2$	0,706
2X90 Menerus	$y = 0,0617x^2 + 15,171x - 626,96$	0,9997	$y = 0,0426x^2 + 22,63x - 1120,3$	0,9793

Keterangan :

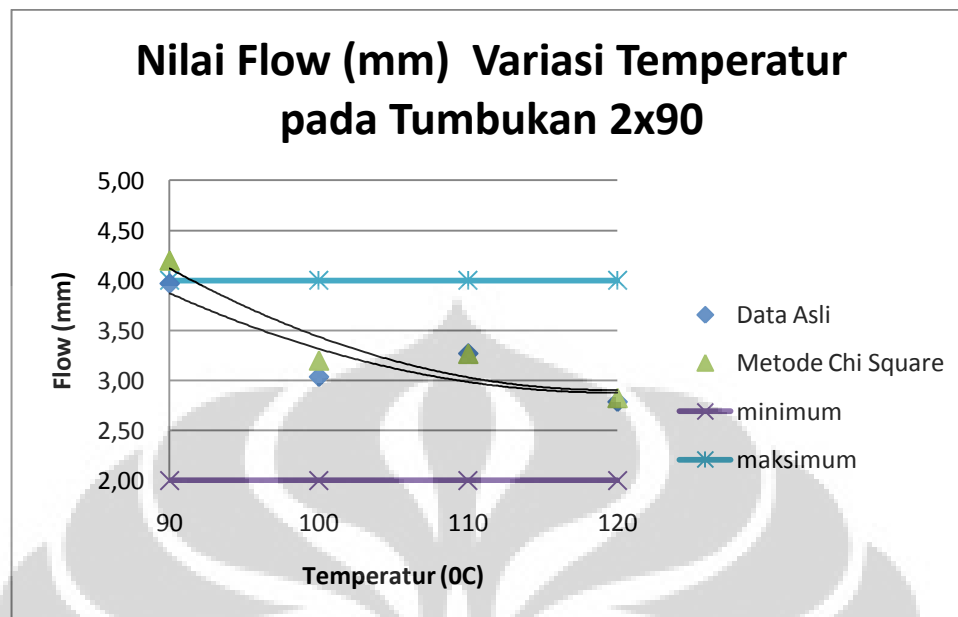
y = Stabilitas (kg)

x = Temperatur (°C)

➤ **Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Nilai Flow**



Gambar 4.31. Grafik Hubungan Nilai Flow Campuran Gradasi Menerus 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur



Gambar 4.32. Grafik Hubungan Nilai *Flow* Campuran Gradasi Menerus 2x90 Tumbukan dengan Variasi Temperatur

Pada **Gambar 4.31** dan **Gambar 4.32**, kondisi nilai *flow* terhadap bertambahnya temperatur dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Pada kondisi tumbukan 2x75 campuran gradasi menerus, nilai *flow* dari kedua jenis pengolahan data tidak termasuk dalam *range* pada temperatur 100⁰C. Sedangkan pada tumbukan 2x90 campuran gradasi menerus, hanya nilai dari metode *chi square* yang tidak masuk *range* pada temperatur 90⁰C. Hal ini disebabkan oleh kecenderungan nilai rata-rata *flow* yang tinggi pada temperatur 90⁰C maupun 120⁰C. Nilai-nilai *flow* paling tinggi diperoleh dari pengolahan data dengan metode *chi square*.
- Kedua grafik menunjukkan *trend* yang sama, yaitu menurun seiring bertambahnya temperatur. Namun untuk persamaan kurva pada campuran gradasi menerus dengan 2x75 tumbukan menghasilkan pola distribusi nilai yang serupa, yaitu naik lalu turun. Kenaikan nilai *flow* paling tinggi adalah saat temperatur 100⁰C.

- Pada kondisi tumbukan 2x90 campuran gradasi menerus, grafik nilai menunjukkan kecenderungan pola turun lalu naik dan turun lagi. Kedua jenis pengolahan data menunjukkan penurunan *trend* dengan nilai *flow* pada temperatur 120⁰C saling berdekatan.

Tabel 4.23. Persamaan Hubungan Nilai *Flow* Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur

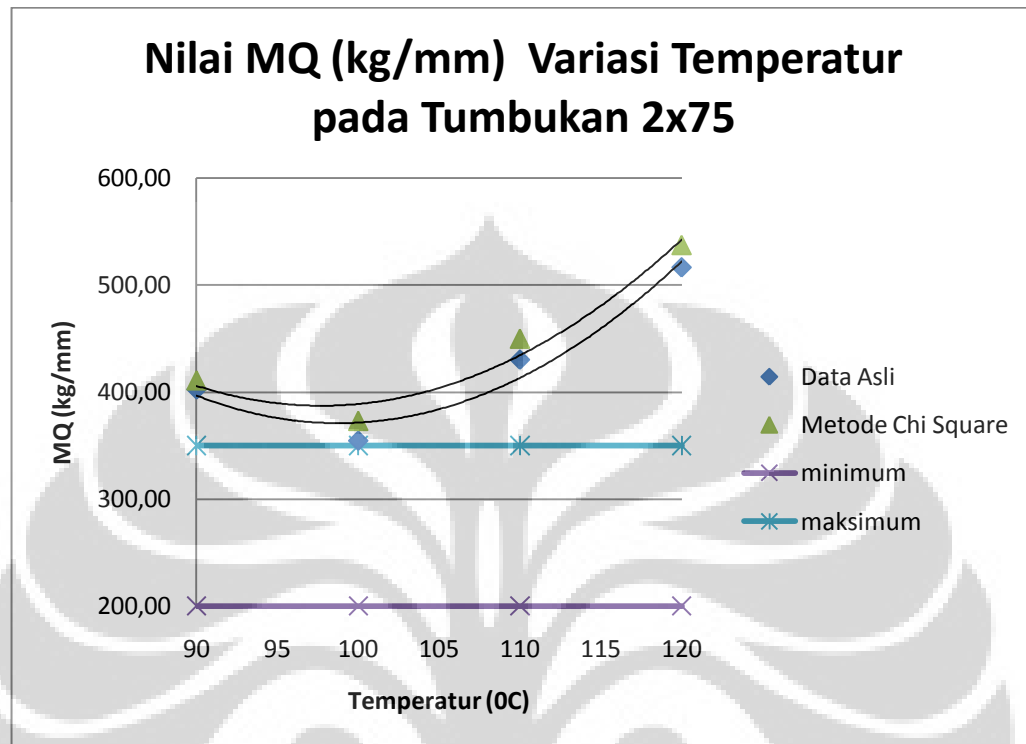
Flow	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = -0,0021x^2 + 0,4305x - 18,382$	0,4733	$y = -0,0021x^2 + 0,4337x - 18,087$	0,6282
2X90 Menerus	$y = 0,0011x^2 - 0,2694x + 19,007$	0,772	$y = 0,0014x^2 - 0,3337x + 22,849$	0,879

Keterangan :

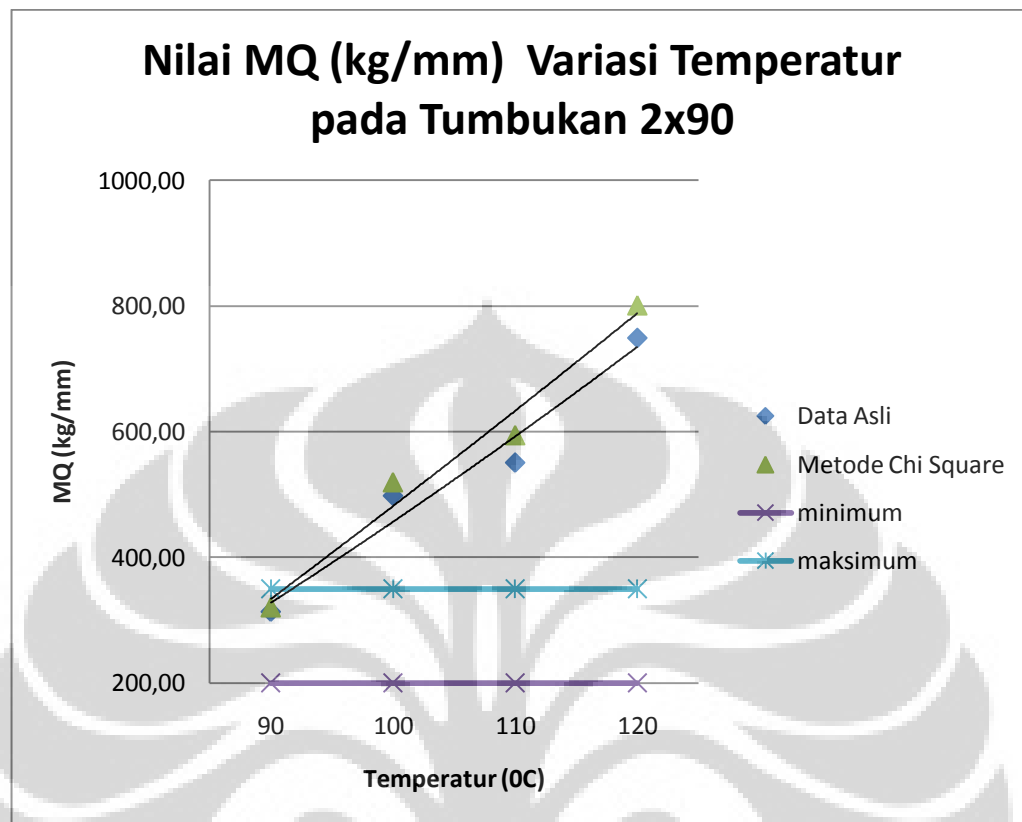
y = *Flow* (mm)

x = Temperatur (°C)

➤ Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Nilai MQ



Gambar 4.33. Grafik Hubungan Nilai MQ Campuran Gradasi Menerus 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur



Gambar 4.34. Grafik Hubungan Nilai MQ Campuran Gradasi Menerus 2x90 Tumbukan dengan Variasi Temperatur

Pada **Gambar 4.33** dan **Gambar 4.34**, kondisi nilai MQ terhadap bertambahnya temperatur dapat dijelaskan sebagai berikut.

- Nilai MQ pada tumbukan 2x75 maupun 2x90 tergolong sangat besar karena sebagian besar nilai rata-rata dari kedua jenis pengolahan data tidak masuk dalam *range*. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor nilai stabilitas yang terlalu tinggi namun tidak sebanding dengan nilai *flow*. Nilai-nilai MQ paling tinggi diperoleh dari pengolahan data dengan metode *chi square*.
- Pada kondisi campuran gradasi menerus dengan 2x75 tumbukan, persamaan kurva yang ada menghasilkan kesamaan *trend* grafik nilai yang naik seiring bertambahnya temperatur pada kedua jenis pengolahan data.

- Pada kondisi tumbukan 2x90 campuran gradasi menerus, persamaan kurva yang ada menghasilkan grafik nilai yang menunjukkan *trend* yang sama, yaitu terus naik seiring bertambahnya temperatur untuk semua jenis pengolahan data. Pada kondisi ini, hanya nilai MQ pada temperatur 90⁰C dari kedua jenis pengolahan data yang masih termasuk dalam *range*.

Tabel 4.24. Persamaan Hubungan Nilai MQ Campuran Gradasi Menerus dengan Variasi Temperatur

MQ	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = 0,3362x^2 - 66,413x + 3650,9$	0,9539	$y = 0,3133x^2 - 61,238x + 3379,5$	0,9636
2X90 Menerus	$y = 3,4501x^2 + 118,46x + 205,9$	0,96	$y = 1,8846x^2 + 142,12x + 189,89$	0,9723

Keterangan :

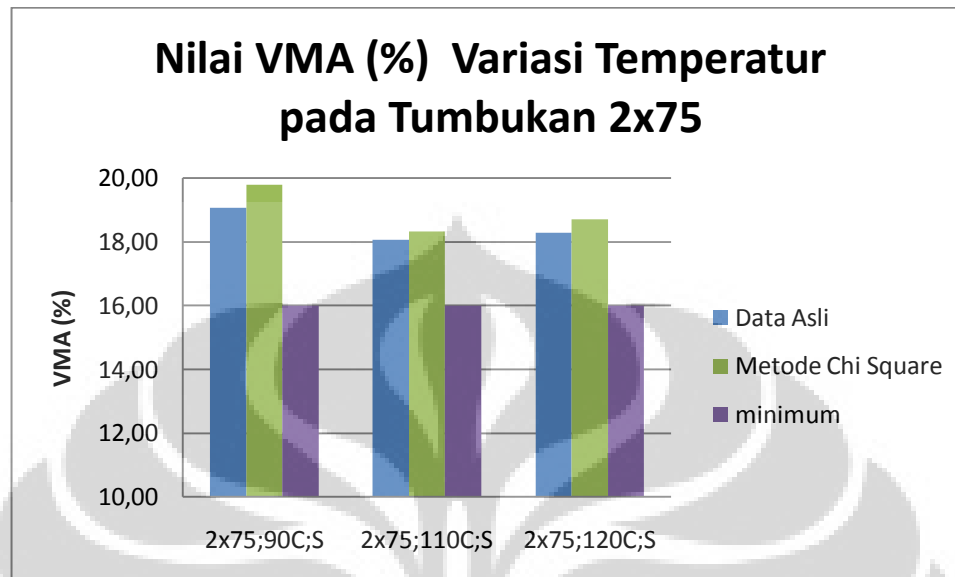
y = MQ (kg/mm)

x = Temperatur (°C)

IV.4.2. Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Kinerja Campuran dengan Gradasi Senjang

Metode pengolahan data yang digunakan untuk kinerja campuran dengan gradasi senjang sama dengan metode untuk campuran dengan gradasi menerus, yaitu data asli yang dirata-rata kemudian dibandingkan dengan hasil metode *chi square*. Disertakan pula data kinerja campuran pada temperatur 110⁰C sebagai temperatur normal pemadatan dan dibandingkan dengan data dari 90⁰C dan 120⁰C. Dari ketiga jenis pengolahan data tersebut, kemudian dibuat histogram.

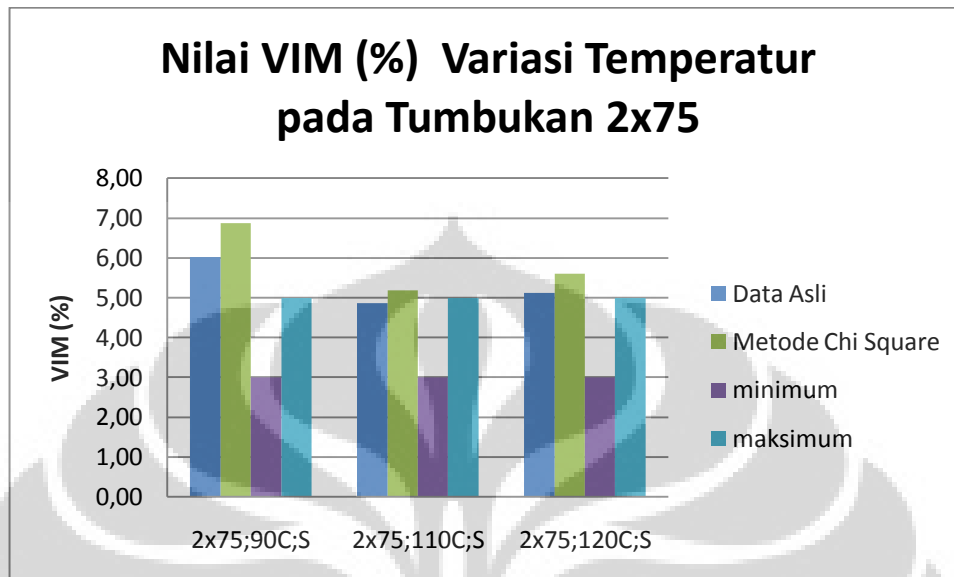
➤ **Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Nilai VMA**



Gambar 4.35. Grafik Hubungan Nilai VMA Campuran Gradasi Senjang 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur

Dari **Gambar 4.35**, terlihat kecenderungan grafik menurun lalu naik seiring temperatur yang bertambah seperti pada grafik VMA campuran gradasi menerus. Nilai- nilai VMA paling tinggi diperoleh dari metode *chi square*. Hal ini dapat disebabkan oleh proses eliminasi salah satu nilai VMA yang rendah pada proses seleksi metode *chi square* sehingga menghasilkan rata-rata nilai yang lebih tinggi.

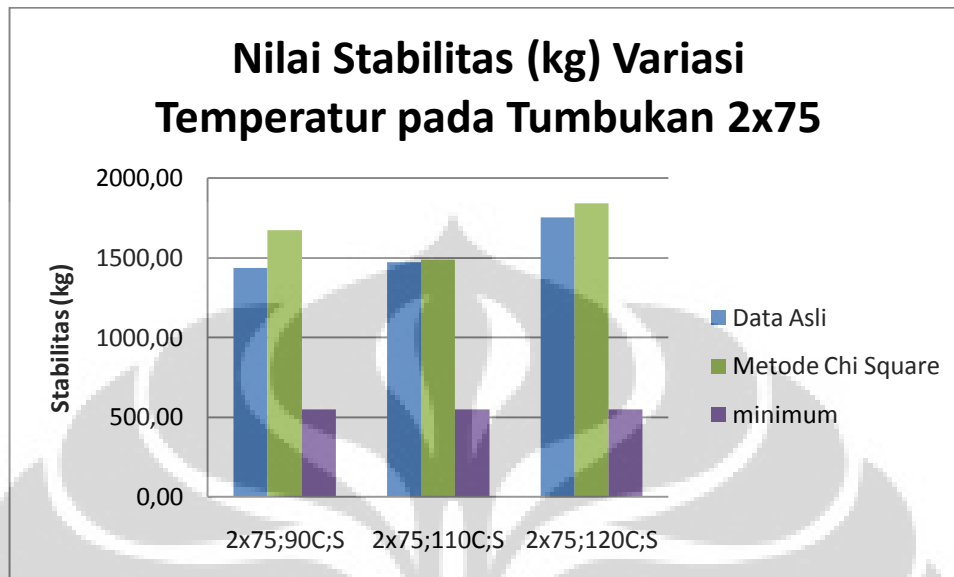
➤ **Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Nilai VIM**



Gambar 4.36. Grafik Hubungan Nilai VIM Campuran Gradasi Senjang 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur

Dari **Gambar 4.36**, terlihat kecenderungan grafik nilai VIM menurun lalu naik seiring temperatur yang bertambah. Selain itu, dapat terlihat pula *trend* yang berbeda dari kedua jenis pengolahan data. Nilai- nilai VIM paling tinggi diperoleh dari metode *chi square*. Hal ini dapat disebabkan oleh proses eliminasi salah satu nilai VIM yang rendah pada proses seleksi metode *chi square* sehingga menghasilkan rata-rata nilai yang lebih tinggi.

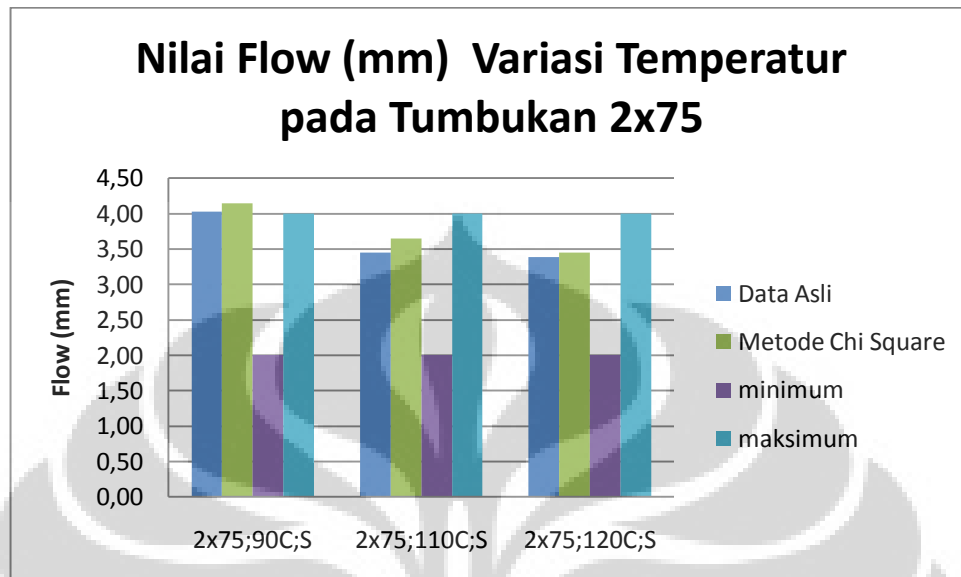
➤ **Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Nilai Stabilitas**



Gambar 4.37. Grafik Hubungan Nilai Stabilitas Campuran Gradasi Senjang 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur

Dari **Gambar 4.37**, pada pengolahan dengan data asli dan metode *chi square*, sama-sama cenderung mengalami kenaikan grafik apabila temperatur bertambah, kecuali metode *chi square* pada temperatur 110⁰C yang menurun dari 90⁰C. Nilai-nilai stabilitas paling tinggi diperoleh dari metode *chi square*. Hal ini dapat disebabkan oleh proses eliminasi salah satu nilai stabilitas yang rendah pada proses seleksi metode *chi square* sehingga menghasilkan rata-rata nilai yang lebih tinggi.

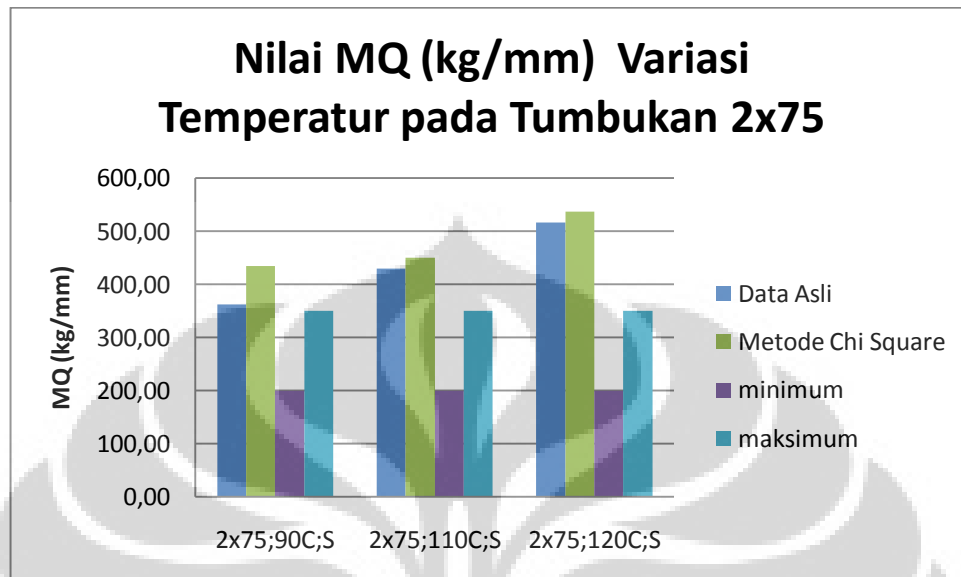
➤ **Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Nilai *Flow***



Gambar 4.38. Grafik Hubungan Nilai *Flow* Campuran Gradasi Senjang 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur

Dari **Gambar 4.38**, terlihat pola distribusi nilai yang hampir sama antara ketiga jenis pengolahan data. Pada temperatur 90⁰C, diperoleh nilai *flow* yang sedikit diatas batas maksimum, namun pada temperatur 120⁰C, semua nilai dari kedua pengolahan data termasuk dalam *range*. Pola ketiga grafik pada ketiga variasi temperatur cenderung sama, yaitu semakin turun seiring naiknya temperatur. Nilai-nilai *flow* paling tinggi diperoleh dari metode *chi square*. Hal ini dapat disebabkan oleh proses eliminasi salah satu nilai *flow* yang rendah pada proses seleksi metode *chi square* sehingga menghasilkan rata-rata nilai yang lebih tinggi.

➤ **Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Nilai MQ**



Gambar 4.39. Grafik Hubungan Nilai MQ Campuran Gradasi Senjang 2x75 Tumbukan dengan Variasi Temperatur

Dari **Gambar 4.39**, terlihat kecenderungan nilai MQ yang naik seiring bertambahnya temperatur untuk semua jenis pengolahan data. Tetapi, nilai-nilai tersebut berada diluar *range* nilai MQ yang seharusnya. Hal ini sangat dipengaruhi oleh nilai stabilitas maupun *flow* campuran. Pada temperatur 90⁰C, nilai metode rata-rata sama dengan metode *chi square*. Pada temperatur 120⁰C, data dari kedua jenis pengolahan cenderung hampir sama. Nilai- nilai MQ paling tinggi diperoleh dari metode *chi square*. Hal ini dapat disebabkan oleh proses eliminasi salah satu nilai MQ yang rendah pada proses seleksi metode *chi square* sehingga menghasilkan rata-rata nilai yang lebih tinggi.

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh variasi temperatur pada proses pemadatan terhadap kinerja campuran aspal beton, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengaruh variasi temperatur pada proses pemadatan campuran dengan gradasi menerus
 - Untuk campuran dengan gradasi menerus yang dipadatkan dengan jumlah tumbukan 2x75, rata-rata menunjukkan peningkatan nilai deformasi setelah bertambahnya temperatur pemadatan diatas temperatur normal ($\pm 105^{\circ}\text{C}$). Nilai deformasi tertinggi diperoleh pada temperatur 110°C dan kembali menurun pada 120°C .
 - Untuk campuran dengan gradasi menerus yang dipadatkan dengan jumlah tumbukan 2x90, rata-rata menunjukkan penurunan nilai deformasi setelah temperatur pemadatan dinaikkan dari 105°C menjadi 110°C . Namun pada temperatur 120°C , nilai deformasi menjadi tinggi kembali hingga mencapai nilai tertinggi.
 - Kenaikan temperatur akan menyebabkan nilai VMA semakin turun hingga temperatur normal campuran saat dipadatkan ($\pm 110^{\circ}\text{C}$). Namun begitu temperatur dinaikkan menjadi 120°C , nilai VMA kembali naik. Hal ini disebabkan pada temperatur tersebut, viskositas aspal yang menjadi tinggi, sehingga pada saat dipadatkan sulit dalam penyusunan butiran agregat dalam campuran, yang mengakibatkan volume rongga

diantara partikel agregat menjadi besar. Persamaan kurva yang diperoleh adalah sebagai berikut.

VMA	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = 0,0018x^2 - 0,407x + 41,132$	0,9467	$y = 0,0028x^2 - 0,6332x + 53,961$	0,9541
2X90 Menerus	$y = 0,004x^2 - 0,8241x + 60,275$	0,8146	$y = 0,0052x^2 - 1,0512x + 71,282$	0,9708

Keterangan :

y = VMA (%)

x = Temperatur (°C)

- Kenaikan temperatur akan menyebabkan nilai VIM semakin turun dan naik kembali pada temperatur 120⁰C. Hal ini dikarenakan karena pada saat pemadatan dengan temperatur tersebut viskositas aspal tinggi, sehingga mengakibatkan rongga udara dalam campuran menjadi besar. Seiring meningkatnya temperatur pemadatan sampai 110⁰C, penyusunan butiran agregat menjadi lebih mudah karena viskositas aspal menurun. Persamaan kurva yang diperoleh adalah sebagai berikut.

VIM	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = 0,0021x^2 - 0,4726x + 31,646$	0,9467	$y = 0,0033x^2 - 0,7352x + 46,542$	0,9541
2X90 Menerus	$y = 0,0047x^2 - 0,9569x + 53,874$	0,8146	$y = 0,0061x^2 - 1,2206x + 66,654$	0,9708

Keterangan :

y = VIM (%)

x = Temperatur (°C)

- Kenaikan temperatur pemadatan dari 90⁰C hingga 120⁰C akan menyebabkan nilai stabilitas meningkat untuk kedua macam jumlah tumbukan. Pemadatan yang dilakukan pada temperatur 90⁰C mengakibatkan proses penyusunan butiran agregat terselimuti aspal, sehingga menghasilkan kepadatan yang rendah selanjutnya tahanan

gesek campuran rendah dan akhirnya stabilitas yang rendah. Dengan meningkatnya temperatur, maka kepadatan dan tahanan gesek meningkat, dan pada akhirnya stabilitas meningkat juga. Persamaan kurva yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Stabilitas	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = 0,4031x^2 - 72,886x + 4674,8$	0,9048	$y = 0,5626x^2 - 108,2x + 6691,2$	0,706
2X90 Menerus	$y = 0,0617x^2 + 15,171x - 626,96$	0,9997	$y = 0,0426x^2 + 22,63x - 1120,3$	0,9793

Keterangan :

y = Stabilitas (kg)

x = Temperatur (°C)

- Kenaikan temperatur pemadatan dari 90⁰C hingga 120⁰C akan menyebabkan menurunnya nilai *flow* campuran dengan gradasi menerus. Seiring meningkatnya temperatur pemadatan, menyebabkan viskositas aspal menurun sehingga pada proses pemadatan, penyusunan butiran agregat menjadi lebih mudah, stabilitas tinggi, meningkatnya kekakuan campuran, dan pada akhirnya akan memperkecil nilai *flow*. Persamaan kurva yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Flow	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = -0,0021x^2 + 0,4305x - 18,382$	0,4733	$y = -0,0021x^2 + 0,4337x - 18,087$	0,6282
2X90 Menerus	$y = 0,0011x^2 - 0,2694x + 19,007$	0,772	$y = 0,0014x^2 - 0,3337x + 22,849$	0,879

Keterangan :

y = Flow (mm)

x = Temperatur (°C)

- Kenaikan temperatur pemadatan dari 90⁰C hingga 120⁰C akan menyebabkan meningkatnya nilai *Marshall Quotient* campuran dengan

gradasi menerus. *Marshall Quotient* yang merupakan perbandingan antara stabilitas dan *flow*, sehingga apabila nilai stabilitas meningkat, dan nilai *flow* menurun, maka nilai MQ akan menunjukkan peningkatan. Semakin besar nilai MQ, maka campuran akan semakin kaku dan tahan terhadap deformasi plastis. Persamaan kurva yang diperoleh adalah sebagai berikut.

MQ	Data Asli		Chi Square	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
2x75 Menerus	$y = 0,3362x^2 - 66,413x + 3650,9$	0,9539	$y = 0,3133x^2 - 61,238x + 3379,5$	0,9636
2X90 Menerus	$y = 3,4501x^2 + 118,46x + 205,9$	0,96	$y = 1,8846x^2 + 142,12x + 189,89$	0,9723

Keterangan :

y = MQ (kg/mm)

x = Temperatur (°C)

2. Pengaruh variasi temperatur pada proses pemadatan campuran dengan gradasi senjang
 - Untuk campuran dengan gradasi senjang yang dipadatkan dengan jumlah tumbukan 2x75, rata-rata menunjukkan peningkatan nilai deformasi setelah bertambahnya temperatur pemadatan diatas temperatur normal menjadi 120⁰C. Namun, nilai deformasi tertinggi diperoleh pada temperatur 90⁰C dalam rentang temperatur yang ada.
 - Kenaikan temperatur akan menyebabkan nilai VMA semakin turun hingga temperatur normal campuran saat dipadatkan (±110⁰C). Namun begitu temperatur dinaikkan menjadi 120⁰C, nilai VMA kembali naik. Hal ini disebabkan pada temperatur tersebut, viskositas aspal yang menjadi tinggi, sehingga pada saat dipadatkan sulit dalam penyusunan butiran agregat dalam campuran, yang mengakibatkan volume rongga diantara partikel agregat menjadi besar.

- Kenaikan temperatur akan menyebabkan nilai VIM semakin turun dan naik kembali pada temperatur 120⁰C. Hal ini dikarenakan karena pada saat pemadatan dengan temperatur tersebut viskositas aspal tinggi, sehingga mengakibatkan rongga udara dalam campuran menjadi besar. Seiring meningkatnya temperatur pemadatan sampai 110⁰C, penyusunan butiran agregat menjadi lebih mudah karena viskositas aspal menurun.
- Kenaikan temperatur pemadatan dari 90⁰C hingga 120⁰C akan menyebabkan nilai stabilitas meningkat. Pemadatan yang dilakukan pada temperatur 90⁰C mengakibatkan proses penyusunan butiran agregat terselimuti aspal, sehingga menghasilkan kepadatan yang rendah selanjutnya tahanan gesek campuran rendah dan akhirnya stabilitas yang rendah. Dengan meningkatnya temperatur, maka kepadatan dan tahanan gesek meningkat, dan pada akhirnya stabilitas meningkat juga.
- Kenaikan temperatur pemadatan dari 90⁰C hingga 120⁰C akan menyebabkan menurunnya nilai *flow* campuran dengan gradasi senjang. Seiring meningkatnya temperatur pemadatan, menyebabkan viskositas aspal menurun sehingga pada proses pemadatan, penyusunan butiran agregat menjadi lebih mudah, stabilitas tinggi, meningkatnya kekakuan campuran, dan pada akhirnya akan memperkecil nilai *flow*.
- Kenaikan temperatur pemadatan dari 90⁰C hingga 120⁰C akan menyebabkan meningkatnya nilai *Marshall Quotient* campuran dengan gradasi senjang. Oleh karena nilai stabilitas meningkat, dan nilai *flow* menurun, maka nilai MQ akan menunjukkan peningkatan. Semakin besar nilai MQ, maka campuran akan semakin kaku dan tahan terhadap deformasi plastis.

V.2. Saran

Dari penelitian pengaruh variasi temperatur pada proses pemadatan terhadap kinerja campuran aspal beton, maka dapat dikemukakan beberapa saran sebagai berikut.

1. Pada penentuan kadar aspal optimum untuk campuran aspal beton dengan gradasi senjang, membutuhkan variasi kadar aspal yang lebih dibandingkan untuk campuran aspal beton dengan gradasi menerus, karena perbedaan komposisi material agregat.
2. Untuk menghasilkan stabilitas campuran aspal beton yang maksimal, agregat halus, medium, dan kasar dalam keadaan SSD dan terbebas dari kotoran organik.
3. Perlu diberikan tanda pada benda uji dan pemasangan *band heater* yang rapat saat pengujian sehingga hasil yang diperoleh akan lebih akurat.
4. Menjaga kondisi cetakan agar selalu terbebas dari kotoran-kotoran atau bekas material benda uji sebelumnya yang masih menempel sehingga dapat mempengaruhi hasil pengujian.
5. Perlu pengecekan alat uji secara berkala karena kondisi alat uji merupakan faktor krusial terhadap hasil pengujian.

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

1. Menambahkan variasi temperatur pada pengujian terhadap campuran aspal beton dengan gradasi senjang menjadi 90⁰C, 100⁰C, 110⁰C, dan 120⁰C seperti pada campuran aspal beton dengan gradasi menerus sehingga dapat dibuat grafik dan persamaan garisnya.
2. Untuk menambah kejelasan *trend* grafik VMA dan VIM yang polanya masih belum konsisten, perlu ditambahkan lagi beberapa variasi temperatur diatas 120⁰C.

DAFTAR PUSTAKA

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

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

Revisi SNI 03-1737-1989. *Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas*. Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, Indonesia.

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

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

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

Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng. 2005. *Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*. Jakarta : Penerbit Erlangga.

Napitupulu, Fernando. 2009. *Karakteristik Campuran Aspal Beton dalam Kondisi Terendam Air Hujan dan Beban Statis dengan Variasi Waktu Rendaman*. Skripsi, Depok: Program Sarjana Fakultas Teknik UI.

LAMPIRAN A

PENGUJIAN MATERIAL



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

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

Penetrasi pada 25⁰C, 5 detik, 100 gram

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

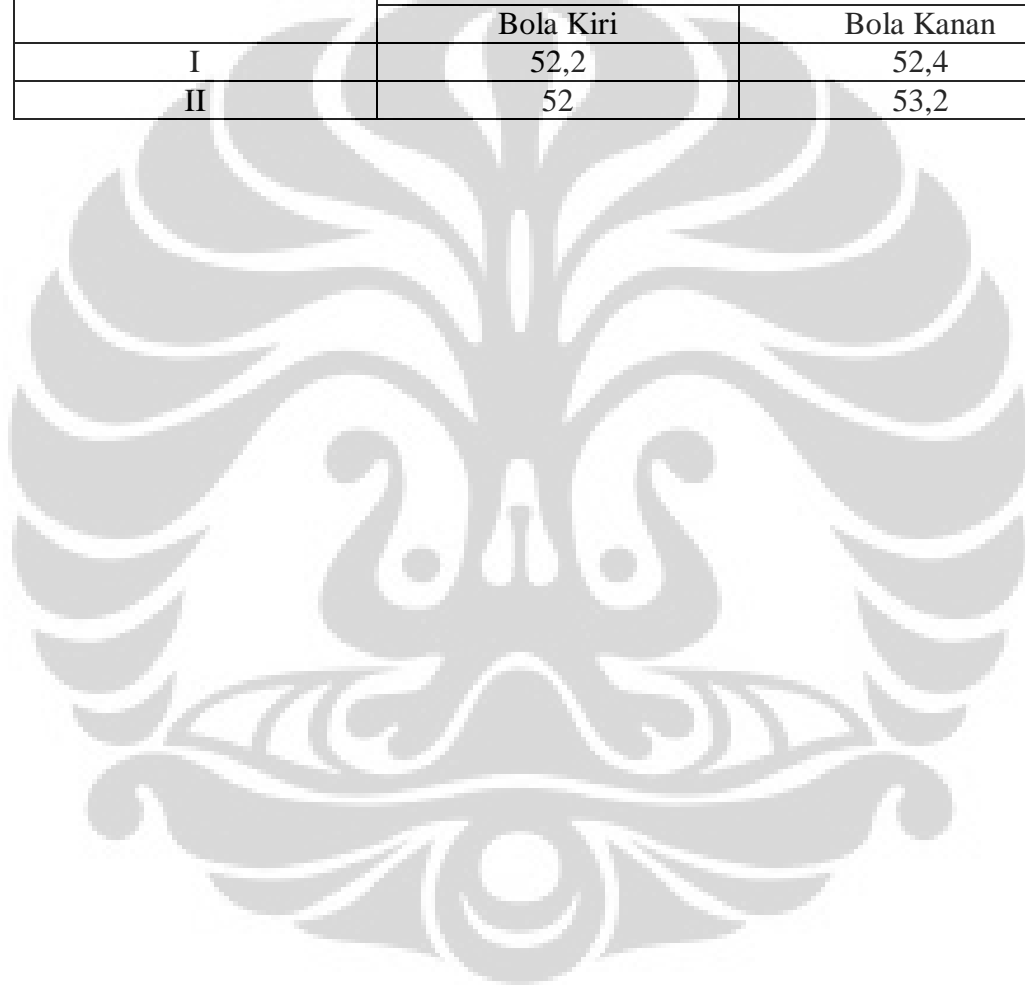
Penetrasi Setelah Kehilangan Berat pada 25⁰C, 5 detik, 100 gram

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

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

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

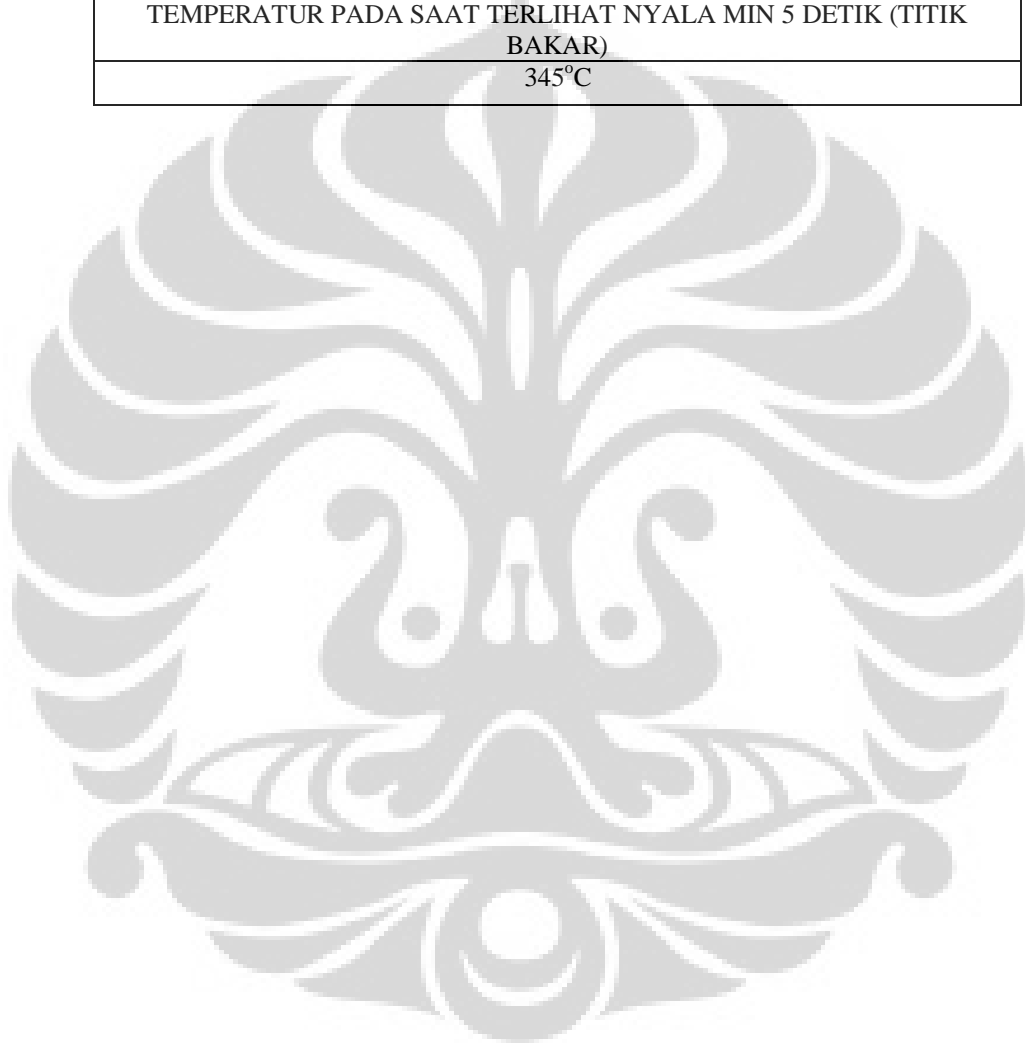
PERCOBAAN	TEMPERATUR PADA SAAT BOLA MENYENTUH PELAT DASAR	
	Bola Kiri	Bola Kanan
I	52,2	52,4
II	52	53,2



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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

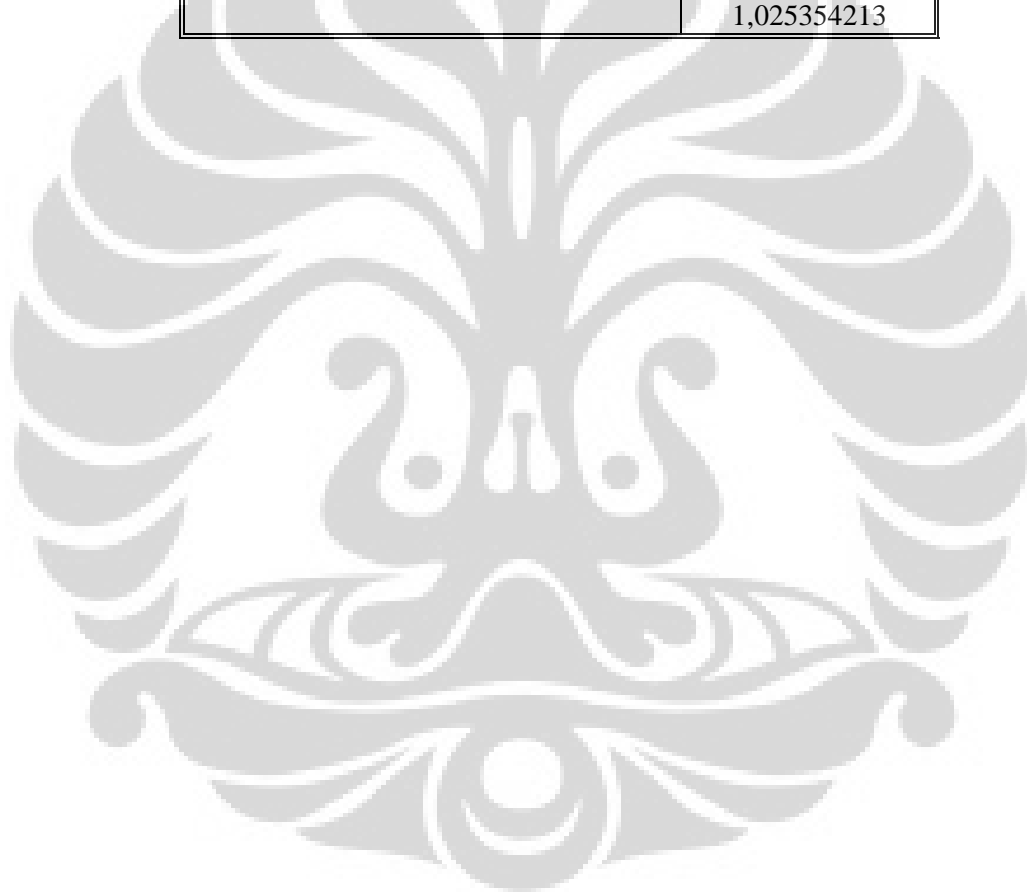
Proses	Waktu		Suhu
	Mulai	Selesai	
Pemanasan			
Pendinginan			
Perendaman			25°C
Pemeriksaan			25°C

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



LAMPIRAN B

PERHITUNGAN DATA MARSHALL UNTUK KADAR
ASPAL OPTIMUM



KETERANGAN :

a = % aspal terhadap campuran

b = tinggi benda uji

c = berat (gram)

d = berat dalam keadaan jenuh (gram)

e = berat dalam air (gram)

f = isi (ml) = d - e

g = berat isi benda uji = c/f

h = berat jenis teoritis

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

l = % rongga terhadap agregat = 100-j

m = % rongga terisi aspal = 100xi/j

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

o = pembacaan arloji stabilitas

p = stabilitas = o x kalibrasi alat

q = stabilitas = p x kolerasi tinggi

r = kelelahan (mm)

s = nilai marshall = stabilitas/kelelahan

s = q/r (kg/mm)

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

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	

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

Berat Jenis Teoritis 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

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

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)

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

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	-	-	-	-	

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

Berat Jenis Teoritis 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

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

SPESIFIKASI BENDA UJI MARSHALL

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

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

KETERANGAN :

a = % aspal terhadap campuran

b = tinggi benda uji

c = berat (gram)

d = berat dalam keadaan jenuh (gram)

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)

s = nilai marshall = stabilitas/kelelahan

s = q/r (kg/mm)

e = berat dalam air (gram)

f = isi (ml) = d - e

g = berat isi benda uji = c/f

h = berat jenis teoritis

o = pembacaan arloji stabilitas

p = stabilitas = o x kalibrasi alat

q = stabilitas = p x kolerasi tinggi

r = kelelahan (mm)

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

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

Berat Jenis campuran

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

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

Berat Jenis Teoritis

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

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


LABORATORIUM BAHAN

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

suhu pencampuran : 135°C

suhu 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	q	r	s
		(%)	(mm)	(gram)	(gram)	(gram)	(ml)	(gr/ml)	(gr/ml)			(%)	(%)	(%)	(%)			Tinggi	(kg)	(mm)	(kg/mm)
5 % aspal	1	5	67,35	1177,00	1186,50	675,00	511,50	2,30	2,43	11,22	83,32	5,46	16,68	67,26	5,31	39,00	897,55	0,878	787,88	3,30	238,75
	2	5	67,83	1189,00	1199,00	680,50	518,50	2,29	2,43	11,18	83,03	5,79	16,97	65,90	5,63	42,00	966,59	0,869	839,73	3,50	239,92
	3	5	67,32	1178,50	1187,00	679,00	508,00	2,32	2,43	11,31	84,00	4,69	16,00	70,70	4,53	39,00	897,55	0,878	788,44	3,30	238,92
	rata-rata												16,55		5,16				805,35	3,37	239,20
5,5 % aspal	1	5,5	66,82	1176,50	1186,50	675,00	511,50	2,30	2,42	12,34	82,84	4,82	17,16	71,92	4,95	52,00	1196,73	0,888	1062,48	3,10	342,73
	2	5,5	67,28	1180,00	1191,00	677,50	513,50	2,30	2,42	12,33	82,77	4,91	17,23	71,53	5,04	45,00	1035,63	0,879	910,39	3,20	284,50
	3	5,5	67,67	1196,00	1207,00	685,00	522,00	2,29	2,42	12,29	82,52	5,19	17,48	70,32	5,32	50,00	1150,71	0,872	1003,27	3,55	282,61
	rata-rata												17,29		5,11				992,04	3,28	303,28
6 % aspal	1	6	69,00	1190,50	1206,00	682,50	523,50	2,27	2,40	13,31	81,47	5,22	18,53	71,83	5,25	56,00	1288,79	0,853	1099,63	3,30	333,22
	2	6	67,40	1195,50	1206,50	683,00	523,50	2,28	2,40	13,36	81,82	4,82	18,18	73,49	4,85	56,00	1288,79	0,877	1130,11	3,50	322,89
	3	6	66,82	1194,00	1201,00	681,00	520,00	2,30	2,40	13,44	82,26	4,30	17,74	75,76	4,33	54,00	1242,76	0,888	1103,34	3,50	315,24
	rata-rata												18,15		4,81				1111,03	3,43	323,78
6,5 % aspal	1	6,5	66,90	1190,00	1195,50	671,00	524,50	2,27	2,38	14,38	80,85	4,76	19,15	75,12	4,67	35,00	805,49	0,886	713,87	3,30	216,32
	2	6,5	65,87	1189,00	1193,50	670,00	523,50	2,27	2,38	14,40	80,94	4,66	19,06	75,54	4,57	49,00	1127,69	0,930	1048,75	3,90	268,91
	3	6,5	68,20	1189,00	1199,50	673,50	526,00	2,26	2,38	14,33	80,55	5,12	19,45	73,69	5,02	46,00	1058,65	0,862	912,42	3,90	233,95
	rata-rata												19,22		4,75				891,68	3,70	239,73


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

SPEKIFIKASI BENDA UJI MARSHALL

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

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

KETERANGAN :

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

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

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

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

Berat Jenis campuran

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

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

Berat Jenis Teoritis

% Aspal	% Agregat	Bj. Campuran (gr/ml)	Bj. Aspal (gr/ml)	Bj. Teoritis (gr/ml)
5	95	2,62	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)

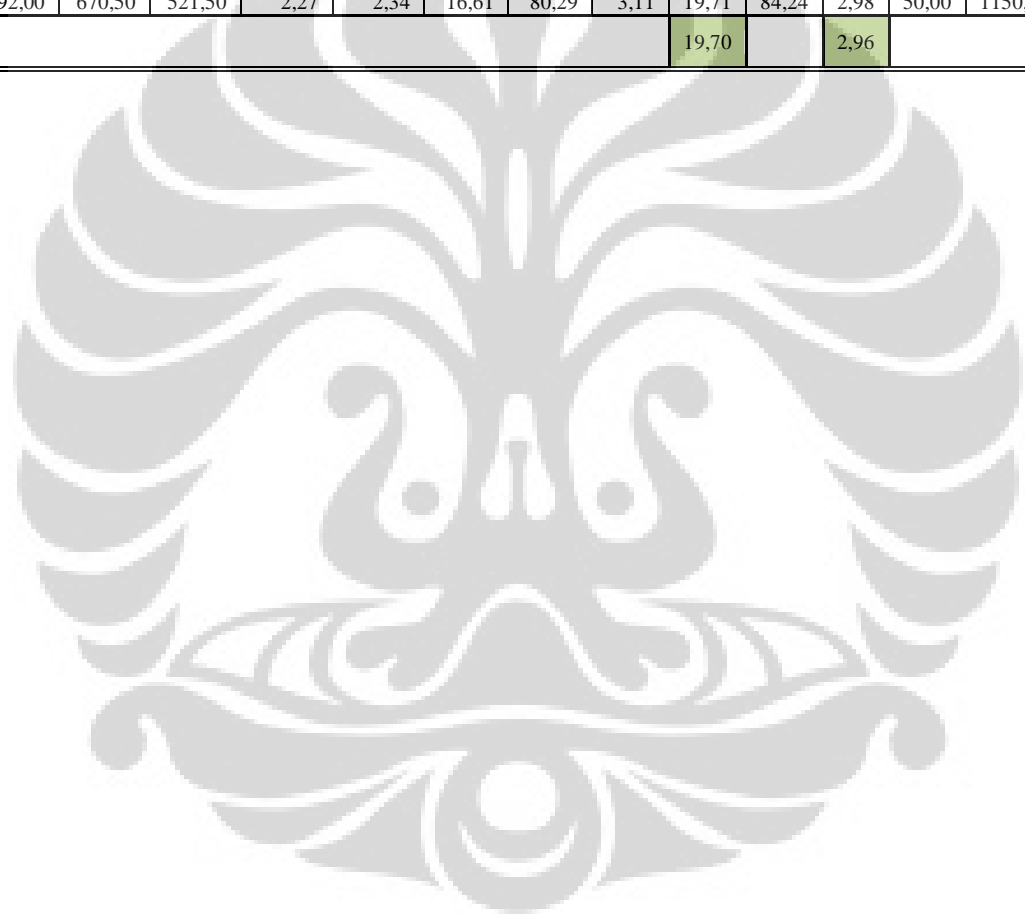
suhu :
 pencampuran : 135°C
 suhu pepadatan : 110°C
 suhu percobaan : 60°C
 berat jenis aspal : 1,025354213
 berat jenis agregat : 2,615720611
 efektif

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	r	s
		(%)	(mm)	(gram)	(gram)	(gram)	(ml)	(gr/ml)	(gr/ml)			(%)	(%)	(%)	(%)				(kg)	(mm)	(kg/mm)
5 % aspal	1	5	69,32	1186,00	1199,00	675,00	524,00	2,26	2,43	11,04	82,20	6,76	17,80	62,01	6,86	39,00	897,55	0,853	765,81	2,90	264,07
	2	5	71,00	1197,00	1211,50	676,00	535,50	2,24	2,43	10,90	81,18	7,92	18,82	57,93	8,01	39,00	897,55	0,853	765,81	3,20	239,32
	3	5	70,28	1198,50	1213,50	677,00	536,50	2,23	2,43	10,89	81,13	7,97	18,87	57,74	8,07	37,00	851,52	0,853	726,54	2,90	250,53
	rata-rata												18,49		7,65				752,72	3,00	251,31
5,5 % aspal	1	5,5	68,92	1192,00	1205,00	679,00	526,00	2,27	2,42	12,16	81,87	5,97	18,13	67,05	6,36	43,00	989,61	0,860	851,06	3,20	265,96
	2	5,5	70,03	1192,00	1206,00	680,00	526,00	2,27	2,42	12,16	81,87	5,97	18,13	67,05	6,36	44,00	1012,62	0,853	863,99	3,20	270,00
	3	5,5	68,98	1193,00	1205,00	679,00	526,00	2,27	2,42	12,17	81,94	5,89	18,06	67,36	6,28	47,00	1081,66	0,860	930,23	3,10	300,07
	rata-rata												18,11		6,33				881,76	3,17	278,68
6 % aspal	1	6	68,98	1181,00	1195,00	677,00	518,00	2,28	2,40	13,34	81,93	4,73	18,07	73,84	5,00	49,00	1127,69	0,860	969,81	3,10	312,84
	2	6	68,47	1182,50	1196,00	679,50	516,50	2,29	2,40	13,40	82,27	4,33	17,73	75,58	4,61	49,00	1127,69	0,860	969,81	3,10	312,84
	3	6	67,90	1186,00	1199,50	680,00	519,50	2,28	2,40	13,36	82,04	4,60	17,96	74,39	4,88	44,00	1012,62	0,869	879,71	3,20	274,91
	rata-rata												17,92		4,83				939,78	3,13	300,20
6,5 % aspal	1	6,5	68,68	1192,50	1204,50	680,00	524,50	2,27	2,38	14,41	81,27	4,32	18,73	76,95	4,47	51,00	1173,72	0,860	1009,40	3,10	325,61
	2	6,5	68,72	1190,00	1202,00	679,00	523,00	2,28	2,38	14,42	81,33	4,24	18,67	77,27	4,40	59,00	1357,83	0,860	1167,74	3,40	343,45
	3	6,5	67,78	1188,50	1201,00	679,00	522,00	2,28	2,38	14,43	81,39	4,18	18,61	77,54	4,34	56,00	1288,79	0,872	1123,66	3,30	340,50
	rata-rata												18,67		4,40				1100,27	3,27	336,52
7 % aspal	1	7	68,68	1187,00	1195,00	670,00	525,00	2,26	2,36	15,44	80,39	4,18	19,61	78,70	4,20	51,00	1173,72	0,860	1009,40	3,20	315,44

	2	7	71,42	1195,00	1206,00	675,00	531,00	2,25	2,36	15,36	80,01	4,62	19,99	76,87	4,64	52,00	1196,73	0,830	993,29	3,10	320,42
	3	7	68,17	1191,50	1202,00	678,00	524,00	2,27	2,36	15,52	80,85	3,63	19,15	81,04	3,65	51,00	1173,72	0,869	1019,67	3,20	318,65
	rata-rata												19,58		4,16				1007,45	3,17	318,17
7,5 % aspal	1	7,5	67,15	1190,00	1197,50	673,50	524,00	2,27	2,34	16,61	80,31	3,08	19,69	84,36	2,95	48,00	1104,68	0,886	979,02	3,20	305,94
	2	7,5	67,30	1185,50	1193,00	671,00	522,00	2,27	2,34	16,61	80,31	3,08	19,69	84,38	2,95	46,00	1058,65	0,879	930,62	3,40	273,71
	3	7,5	66,20	1184,00	1192,00	670,50	521,50	2,27	2,34	16,61	80,29	3,11	19,71	84,24	2,98	50,00	1150,71	0,911	1048,10	3,00	349,37
	rata-rata												19,70		2,96				985,91	3,20	309,67



LAMPIRAN C

DATA DEFORMASI DENGAN VARIASI TEMPERATUR



tumbukan 2x75 sampel 1				
tumbukan	deformasi			
2sx75	90°C	100°C	110°C	120°C
0	0	0	0	0
5	8,416667	6,656667	9,873333	7,266667
10	10,67667	7,55	12,09667	9,126667
15	12,03	9,813333	13,48	11,00667
20	12,72333	11,13667	14,77333	11,83667
25	13,45333	12,11	15,56667	12,33
30	13,85667	12,77667	16,36333	13,29667
35	14,31	13,04	16,77333	13,62
40	15,50333	13,72333	17,16667	13,93667
45	15,63	14,14667	17,61	14,31333
50	16,09667	14,51667	18,3	14,47
55	16,7	14,62667	18,35333	15,20667
60	17,35333	15,1	19,09	15,13333
65	16,45667	15,38333	19,02	15,3
70	16,47333	15,38333	19,03667	15,69333
75	16,68	15,78	18,84333	16,10333
80	16,75333	15,53333	19,14667	16,37
85	16,95	15,96667	19,67667	16,54
90	17,13667	16,17667	19,76333	16,72333
95	17,39667	16,51	20,06	16,97
100	18,01	17,08	20,33333	17,30333
105	17,98	17,2	20,95	17,41
110	17,88333	17,2	20,95	17,41
115	17,93	17,53	20,76	17,95
120	18,00667	17,49667	20,69667	17,67
125	18,22667	17,78667	20,74333	17,75
130	18,42333	17,73	21,19667	17,87333
135	18,69667	17,72333	21,54	18,05667
140	18,75667	17,77	21,28333	21,26333
145	18,40333	17,78	21,61667	18,26333
150	18,65667	17,67333	21,91	18,18667

tumbukan 2x75 sampel 2				
tumbukan	deformasi			
2x75	90°C	100°C	110°C	120°C
0	0	0	0	0
5	7,876667	8,006667	8,156667	10,54667
10	9,95	10,33667	10,35667	12,54333
15	11,62	11,47333	12,1	13,89667
20	12,45333	12,60667	13,17333	15,17333
25	13	13,28	13,90667	15,71333
30	13,15	13,85333	14,49667	16,29667
35	14,27333	14,48333	15,26	17,14333
40	14,74	15,01333	15,40333	17,35667
45	15,19333	15,44	16,56	17,95667
50	15,46333	15,74667	16,12333	18,26667
55	15,96	16,31	16,9	18,59667
60	15,76333	16,26333	17,06333	19,33
65	16,13	16,72	17,25667	19,39333
70	16,30667	16,87667	17,88667	19,62333
75	16,32333	16,92667	17,68333	19,53333
80	16,45333	17,03	17,82667	19,53667
85	16,85333	17,58667	18,52333	19,97
90	17,30333	17,65	18,67333	20,19
95	17,40667	16,71333	18,79667	20,42333
100	17,87667	18,30667	19,25667	20,44667
105	18,09667	18,52667	19,27333	21,06
110	18,09667	18,52667	19,27333	21,06
115	18,06	18,62333	19,47667	21,22
120	18,12667	18,64	19,68667	21,16333
125	18,1	18,87	20,16	21,44333
130	18,18333	19,23	19,85667	21,43667
135	18,26667	19,10333	19,96333	21,91667
140	17,96	19,39	20,42667	21,92333
145	18,17333	19,34333	20,24667	21,89667
150	18,17667	19,30333	20,35333	21,53667

tumbukan 2x75 sampel 3				
tumbukan	deformasi			
2x75	90°C	100°C	110°C	120°C
0	0	0	0	0
5	9,343333	6,626667	9,873333	9,26
10	11,41667	7,273333	10,14333	11,92667
15	13,08667	7,47	10,95667	13,47333
20	13,92	7,8	11,21333	14,45
25	14,46667	8,303333	11,02333	14,60667
30	14,61667	8,573333	11,35667	15,24333
35	15,74	9,413333	11,64667	16,31667
40	16,20667	10,78333	11,96333	16,33333
45	16,66	11,03333	13,14	16,68333
50	16,93	11,67667	13,95667	16,97
55	17,42667	11,63	14,15333	17,55667
60	17,23	11,68333	14,49	17,41333
65	17,59667	12,75	15,01333	17,51333
70	17,77333	13,53333	15,99	17,97333
75	17,79	14,49667	16,36	18,68333
80	17,92	14,83333	16,78333	18,65
85	18,32	15,15667	17,26667	19,14667
90	18,77	15,34	17,58333	19,23
95	18,87333	15,5	17,86333	19,39
100	19,34333	16,68333	18,96667	19,76667
105	19,56333	17,04667	19,25333	19,69
110	19,56333	17,04667	19,25333	19,69
115	19,52667	17,37333	19,61333	20,05
120	19,59333	17,43333	19,84667	20,19667
125	19,56667	17,66667	20,01667	20,26333
130	19,65	18,03	20,17	20,48667
135	19,73333	18,29667	21,54	20,67
140	19,42667	18,47	21,28333	20,54333
145	19,64	18,86	21,61667	20,87667
150	19,64333	19,03	21,91	20,8

tumbukan 2x90 sampel 1				
tumbukan	deformasi			
2x90	90°C	100°C	110°C	120°C
0	0	0	0	0
5	8,43	10,42	8,08	9,973333
10	10,46	12,81	10,193333	12,14
15	11,82	13,95667	11,103333	13,503333
20	13,07	15,263333	12,37667	14,513333
25	13,743333	16,123333	13,25667	15,57
30	14,46667	16,77	13,63667	15,85
35	14,913333	17,33667	14,39667	16,50667
40	15,34	17,81667	14,62667	17,1
45	15,79	17,993333	15,063333	17,41667
50	16,033333	18,66	15,25	17,72667
55	16,663333	18,88667	15,41	18,37
60	16,62667	19,36	15,88	18,25667
65	16,92	19,313333	16,3	18,53
70	17,26667	18,333333	16,41	18,63667
75	17,793333	18,143333	16,45	19,21667
80	17,79667	20,02	16,963333	19,153333
85	17,63	20,16667	16,92	19,44
90	18,003333	20,41	17,063333	19,523333
95	18,15667	20,63	17,12	19,163333
100	18,803333	21,10667	17,843333	19,98
105	19,223333	21,26667	17,903333	19,92667
110	19,223333	21,26667	17,903333	19,92667
115	19,053333	21,55667	17,88	20,01
120	18,913333	21,52	17,96	20,26667
125	19,443333	21,59	18,34	20,21667
130	19,51667	22,423333	18,313333	20,74
135	20,38667	21,94667	18,30667	20,57
140	20,12667	22,113333	18,7	20,7
145	19,84667	22,27	18,99667	20,76667
150	20,263333	22,35667	18,92667	21,04667
155	19,71	22,35	19,023333	21,013333
160	20,253333	22,593333	19,28667	21,233333
165	19,95667	22,5	19,36	21,08667
170	20,27	22,43	19,44667	21,343333
175	20,41667	22,68	19,61667	21,283333
180	20,323333	23,283333	19,653333	21,19667

tumbukan 2x90 sampel 2				
tumbukan	deformasi			
2x90	90°C	100°C	110°C	120°C
0	0	0	0	0
5	7,14	7,776667	8,94	9,723333
10	9,53	10,62333	11,89333	12,21667
15	11,23	12,04333	13,20667	13,54
20	12,32333	13,09667	14,16	14,61667
25	13,31333	14,17667	15,18333	15,77333
30	13,62	14,93667	15,46333	16,14667
35	14,32667	15,68667	15,93667	16,86333
40	14,68667	16,08667	16,63	17,25667
45	14,78	16,64667	16,79333	17,76667
50	15,28667	17,17	17,25	18,03667
55	15,71	17,28	17,69	18,13667
60	15,90333	17,61	17,87333	18,60667
65	16,11	17,95333	18,2	18,91667
70	16,32	17,24	18,21667	19,03667
75	16,13	17,05	18,50333	19,18667
80	16,84	18,67	18,76333	19,61667
85	16,97333	18,87333	17,97	19,86667
90	17	19,04	18,18667	19,77667
95	17,26333	19,24333	18,84667	20,26333
100	17,82667	19,75333	19,49	20,93
105	17,86333	20,02333	19,63	21,46667
110	17,86333	20,02333	19,63	21,46667
115	18,11667	20,21	19,78333	21,54667
120	18,28	20,37667	20,15667	21,69333
125	18,66	20,34667	20,19667	21,74333
130	18,77667	20,37	20,34667	21,94
135	18,82667	20,48667	20,49667	22,00667
140	18,87667	20,81	20,44667	21,96333
145	18,87333	20,76	20,46667	22,25667
150	19,09	20,87333	20,85333	22,49
155	18,97	21,18	20,86333	22,41
160	19,04333	21,02667	20,97	22,70333
165	19,24667	21,17333	20,73	22,38667
170	19,18667	21,08333	21,12333	22,59667
175	19,33667	21,11	21,00333	22,70333
180	19,22	21,31	21,13333	22,61

tumbukan 2x90 sampel 3				
tumbukan	deformasi			
2x90	90°C	100°C	110°C	120°C
0	0	0	0	0
5	8,116667	9,753333	9,753333	11,67667
10	10,32333	12,15	10,78333	14,11667
15	11,76	12,71667	11,94	15,18667
20	12,68	13,42333	13,30333	15,72333
25	13,42667	13,94	14,57333	16,12333
30	14,20667	14,45667	14,74667	16,49
35	14,09667	14,8	15,37	17,21
40	14,12333	15,14	15,64333	17,73667
45	14,77333	15,62	16	17,82333
50	15,11667	15,82333	16,29667	18,01
55	15,34667	15,89667	16,50333	18,21667
60	15,15	16,17333	16,59	18,52
65	15,35	16,40667	16,79667	18,54333
70	15,65333	16,99333	16,87333	18,82667
75	16,24333	17,09333	17,40333	19,01333
80	16,36333	17,26333	17,72333	19,38
85	16,59	17,10333	18,05	19,92
90	17,06333	17,52667	18,65667	20,5
95	17,04667	18,33	18,60333	20,67667
100	17,67333	18,99	18,92667	21,23667
105	18,02	19,22333	18,45667	21,27333
110	18,02	19,16667	18,59333	21,27333
115	18,24667	19,32667	18,98333	21,5
120	18,09	19,53333	18,92667	21,83667
125	18,38667	20,03333	19,1	22,05
130	18,69667	20,15667	19,17667	22,02667
135	18,54667	20,18667	19,42667	22,28667
140	18,75	20,40333	19,43667	22,39333
145	18,99	20,30667	19,66	22,33333
150	19,25667	20,28	19,9	22,5
155	19,21333	20,60667	20,16	22,66333
160	19,41667	20,48	20,14	22,68667
165	19,67333	21,01	20,44333	22,69667
170	19,89	21,33	20,59333	22,92333
175	19,87	21,31	20,72	22,94667
180	20,16	21,36	20,82667	23,24333

tumbukan 2x75 sampel 1			tumbukan 2x75 sampel 2			tumbukan 2x75 sampel 3		
tumbukan	deformasi		tumbukan	deformasi		tumbukan	deformasi	
2x75	90°C	120°C	75 x 2	90°C	120°C	75 x 2	90°C	120°C
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	11,94667	7,67	5	11,99333	11,52	5	12,30667	11,07
10	15,06667	10,02	10	14,29333	14,34	10	14,50667	12,90667
15	16,51667	11,28333	15	15,04667	15,24667	15	15,59	14,15333
20	17,62667	12,39667	20	16,19667	16,44667	20	16,24	15,03333
25	17,97667	13,23667	25	17,08667	17,42	25	17,42333	15,74667
30	18,71	13,97667	30	17,14333	17,59333	30	17,59333	16,27667
35	19,04333	14,32667	35	17,87333	18,32333	35	18,25667	16,83667
40	19,56333	14,50667	40	18,23	18,58333	40	18,56667	17,41667
45	19,95333	14,93667	45	18,62667	19,13667	45	18,85667	17,60667
50	20,26	15,11	50	18,86	19,27667	50	19,2	17,72333
55	20,24667	15,67667	55	18,97	19,93	55	19,21333	17,85333
60	20,58	16,24	60	19,03	20,50333	60	19,67667	18,07667
65	20,67	16,74667	65	19,1	20,61	65	19,75	18,28333
70	20,91333	16,77333	70	19,50667	20,54	70	19,80667	18,67333
75	21,06	17,33667	75	19,69	20,94667	75	20,37333	19,06667
80	21,17667	16,39667	80	20,13	20,73	80	20,15667	19,39
85	21,65	16,83	85	20,40333	21,30667	85	20,37333	19,83333
90	21,77667	17	90	20,68333	21,42667	90	20,63	20,19333
95	22,03	17,24333	95	20,62333	21,69333	95	20,95	20,71
100	22,35	17,53333	100	20,8	21,95333	100	21,11	20,78667
105	22,3	17,82667	105	20,93	22,00333	105	21,21333	21,00667
110	22,63333	17,47	110	21,03667	22,15	110	21,62333	21,05667
115	22,65333	17,79	115	20,90333	22,06	115	21,71333	21,32
120	22,55667	18,44667	120	21,06333	22,14	120	21,94	21,26333
125	22,82667	18,40333	125	21,05333	22,40667	125	21,89	21,49
130	22,84667	18,27	130	21,33667	22,37667	130	22,1	21,81333
135	23,29	18,40667	135	21,4	22,49333	135	22,45333	21,63333
140	23,05333	18,69	140	21,3	22,67667	140	22,53667	21,96
145	23,02333	18,70667	145	21,53	23,01667	145	22,61333	21,95667
150	23,29	18,91667	150	21,49	22,91333	150	22,79	22,15667

LAMPIRAN D

PENGOLAHAN DATA DENGAN METODE *CHI SQUARE*



VMA (%)		percobaan	rata-rata	Std Dev	chi square					Chi Square	
					selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev		
2X75;90C;M1	1	20,83	19,07		1,044742	18,02	20,83	19,80		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;M2	2	17,59		1,64					1,46	N	3
2X75;90C;M3	3	18,77		8,59%	12,61717	31,68	18,77		7,35%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X75;100C;M1	1	17,64	18,58		0,517673	18,06		19,05		χ (0.025)	0,224944
2X75;100C;M2	2	19,08		0,81			19,08		0,05		
2X75;100C;M3	3	19,01		4,37%	6,251852	24,83	19,01		0,25%	Acceptable range	10
2X75;110C;M1	1	17,52	18,06		0,33	17,73		18,33			
2X75;110C;M2	2	18,56		0,52			18,56		0,31		
2X75;110C;M3	3	18,11		2,89%	4,02	22,08	18,11		1,70%		
2X75;120C;M1	1	17,47	18,29		0,50	17,80		18,71			
2X75;120C;M2	2	18,40		0,78			18,40		0,44		
2X75;120C;M3	3	19,02		4,27%	6,01	24,31	19,02		2,35%		
2X90;90C;M1	1	19,16	18,48		0,50	17,97	19,16	18,91			
2X90;90C;M2	2	17,61		0,79					0,35		
2X90;90C;M3	3	18,66		4,26%	6,07	24,54	18,66		1,85%		
2X90;100C;M1	1	17,61	18,23		0,35	17,88		18,54			
2X90;100C;M2	2	18,43		0,55			18,43		0,17		
2X90;100C;M3	3	18,66		3,01%	4,23	22,46	18,66		0,89%		
2X90;110C;M1	1	18,96	17,84		0,93	16,91	18,96	18,66			
2X90;110C;M2	2	16,20		1,45					0,43		
2X90;110C;M3	3	18,36		8,13%	11,17	29,01	18,36		2,28%		

2X90;120C;M1	1	16,83	19,20		1,49	17,71		20,38		
2X90;120C;M2	2	21,49		2,33			21,49		1,57	
2X90;120C;M3	3	19,27		12,13%	17,94	37,13	19,27		7,70%	



VIM (%)					chi square						
		percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev	Chi Square	
2X75;90C;M1	1	8,07	6,02		1,213093	4,81	8,07	6,88		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;M2	2	4,31		1,90					1,69	N	3
2X75;90C;M3	3	5,68		31,58%	14,65031	20,67	5,68		24,56%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X75;100C;M1	1	4,37	5,46		0,601091	4,86		6,00		χ (0.025)	0,224944
2X75;100C;M2	2	6,04		0,94			6,04		0,06		
2X75;100C;M3	3	5,96		17,28%	7,259278	12,72	5,96		0,92%	Acceptable range	10
2X75;110C;M1	1	4,22	4,86		0,39	4,47		5,18			
2X75;110C;M2	2	5,43		0,61			5,43		0,36		
2X75;110C;M3	3	4,92		12,48%	4,67	9,53	4,92		7,01%		
2X75;120C;M1	1	4,17	5,13		0,58	4,55		5,61			
2X75;120C;M2	2	5,25		0,91			5,25		0,51		
2X75;120C;M3	3	5,97		17,69%	6,98	12,11	5,97		9,09%		
2X90;90C;M1	1	6,13	5,34		0,58	4,76	6,13	5,84			
2X90;90C;M2	2	4,34		0,91					0,41		
2X90;90C;M3	3	5,56		17,13%	7,05	12,39	5,56		6,94%		
2X90;100C;M1	1	4,34	5,06		0,41	4,65		5,42			
2X90;100C;M2	2	5,28		0,64			5,28		0,19		
2X90;100C;M3	3	5,55		12,61%	4,91	9,97	5,55		3,55%		
2X90;110C;M1	1	5,90	4,60		1,07	3,52	5,90	5,55			
2X90;110C;M2	2	2,69		1,68					0,49		
2X90;110C;M3	3	5,20		36,64%	12,97	17,57	5,20		8,90%		

2X90;120C;M1	1	3,43	6,18		1,72	4,45		7,55			
2X90;120C;M2	2	8,84		2,70			8,84		1,82		
2X90;120C;M3	3	6,26		43,79%	20,83	27,00	6,26		24,14%		



Stabilitas (kg)		percobaan	rata-rata	Std Dev	chi square					Chi Square		
					selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev			
2X75;90C;M1	1	1131,32	1360,02		127,5348	1232,48		1474,37		Tingkat kepercayaan (α):	5%	
2X75;90C;M2	2	1446,38		200,03			1446,38			39,59	N	3
2X75;90C;M3	3	1502,36		14,71%	1540,216	2900,23	1502,36			2,68%	v	2
										χ (0.975)	2,716616	
2X75;100C;M1	1	1755,06	1476,82		170,9855	1305,83	1755,06	1605,23		χ (0.025)	0,224944	
2X75;100C;M2	2	1219,98		268,18						211,88		
2X75;100C;M3	3	1455,41		18,16%	2064,963	3541,78	1455,41			13,20%	Acceptable range	10
2X75;110C;M1	1	1446,38	1474,72		25,07358	1449,65		1488,90				
2X75;110C;M2	2	1458,17		39,33			1458,17			43,45		
2X75;110C;M3	3	1519,62		2,67%	302,8093	1777,53	1519,62			2,92%		
2X75;120C;M1	1	2010,51	1752,75		146,62	1606,14	2010,51	1844,81				
2X75;120C;M2	2	1568,64		229,96						234,34		
2X75;120C;M3	3	1679,11		13,12%	1770,65	3523,40	1679,11			12,70%		
2X90;90C;M1	1	1152,91	1240,43		63,33	1177,10		1284,19				
2X90;90C;M2	2	1348,40		99,33			1348,40			90,81		
2X90;90C;M3	3	1219,98		8,01%	764,87	2005,29	1219,98			7,07%		
2X90;100C;M1	1	1590,74	1499,60		50,39	1449,21	1590,74	1499,60				
2X90;100C;M2	2	1449,89		79,03			1449,89			79,03		
2X90;100C;M3	3	1458,17		5,27%	608,56	2108,16	1458,17			5,27%		
2X90;110C;M1	1	1480,27	1795,41		246,10	1549,31		1952,98				
2X90;110C;M2	2	2225,92		385,99			2225,92			386,01		
2X90;110C;M3	3	1680,03		21,50%	2972,05	4767,46	1680,03			19,76%		

2X90;120C;M1	1	2408,20	2079,25		184,18	1895,07	2408,20	2185,42			
2X90;120C;M2	2	1962,64		288,87			1962,64		315,05		
2X90;120C;M3	3	1866,90		13,89%	2224,28	4303,53			14,42%		



Flow (mm)		percobaan	rata-rata	Std Dev	chi square					Chi Square	
					selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev		
2X75;90C;M1	1	2,85	3,38		0,334854	3,05		3,65		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;M2	2	3,40		0,53		3,40			0,35	N	3
2X75;90C;M3	3	3,90		15,52%	4,043978	7,43	3,90		9,69%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X75;100C;M1	1	4,30	4,15		0,165647	3,98	4,30	4,30		χ (0.025)	0,224944
2X75;100C;M2	2	3,85		0,26					0,00		
2X75;100C;M3	3	4,30		6,26%	2,000494	6,15	4,30		0,00%	Acceptable range	10
2X75;110C;M1	1	3,70	3,45		0,223152	3,23	3,70	3,65			
2X75;110C;M2	2	3,05		0,35					0,07		
2X75;110C;M3	3	3,60		10,14%	2,694967	6,14	3,60		1,94%		
2X75;120C;M1	1	3,60	3,38		0,12	3,26	3,60	3,45			
2X75;120C;M2	2	3,30		0,19		3,30			0,21		
2X75;120C;M3	3	3,25		5,59%	1,46	4,84			6,15%		
2X90;90C;M1	1	3,50	3,97		0,32	3,65		4,20			
2X90;90C;M2	2	4,50		0,50		4,50			0,42		
2X90;90C;M3	3	3,90		12,69%	3,88	7,84	3,90		10,10%		
2X90;100C;M1	1	3,50	3,03		0,27	2,77	3,50	3,20			
2X90;100C;M2	2	2,90		0,42		2,90			0,42		
2X90;100C;M3	3	2,70		13,73%	3,21	6,24			13,26%		
2X90;110C;M1	1	3,20	3,27		0,07	3,19	3,20	3,27			
2X90;110C;M2	2	3,20		0,12		3,20			0,12		
2X90;110C;M3	3	3,40		3,53%	0,89	4,16	3,40		3,53%		

2X90;120C;M1	1	2,75	2,78		0,07	2,72	2,75	2,83			
2X90;120C;M2	2	2,70		0,10					0,11		
2X90;120C;M3	3	2,90		3,74%	0,80	3,58	2,90		3,75%		



MQ (kg/mm)		percobaan	rata-rata	Std Dev	chi square					Chi Square	
					selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev		
2X75;90C;M1	1	396,95	402,53		13,17493	389,35	396,95	411,18		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;M2	2	425,41		20,66			425,41		20,12	N	3
2X75;90C;M3	3	385,22		5,13%	159,1114	561,64			4,89%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X75;100C;M1	1	408,15	354,50		30,41409	324,09	408,15	373,31		χ (0.025)	0,224944
2X75;100C;M2	2	316,88		47,70					49,27		
2X75;100C;M3	3	338,47		13,46%	367,3058	721,81	338,47		13,20%	Acceptable range	10
2X75;110C;M1	1	390,91	430,37		28,16229	402,21		450,10			
2X75;110C;M2	2	478,09		44,17			478,09		39,58		
2X75;110C;M3	3	422,12		10,26%	340,1111	770,48	422,12		8,79%		
2X75;120C;M1	1	558,48	516,82		26,50	490,32	558,48	537,56			
2X75;120C;M2	2	475,35		41,57					29,58		
2X75;120C;M3	3	516,65		8,04%	320,05	836,87	516,65		5,50%		
2X90;90C;M1	1	329,40	313,95		9,51	304,45	329,40	321,11			
2X90;90C;M2	2	299,64		14,91					11,73		
2X90;90C;M3	3	312,81		4,75%	114,82	428,78	312,81		3,65%		
2X90;100C;M1	1	454,50	498,17		27,30	470,88		520,01			
2X90;100C;M2	2	499,96		42,81			499,96		28,36		
2X90;100C;M3	3	540,06		8,59%	329,65	827,82	540,06		5,45%		
2X90;110C;M1	1	462,58	550,77		80,60	470,17		594,86			
2X90;110C;M2	2	695,60		126,41			695,60		142,46		
2X90;110C;M3	3	494,13		22,95%	973,38	1524,15	494,13		23,95%		

2X90;120C;M1	1	875,71	748,79		74,92	673,87	875,71	801,31			
2X90;120C;M2	2	726,90		117,51			726,90		105,22		
2X90;120C;M3	3	643,76		15,69%	904,83	1653,63			13,13%		



VMA (%)		percobaan	rata-rata	Std Dev	chi square					Chi Square	
					selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev		
2X75;90C;S1	1	20,83	19,07		1,044742	18,02	20,83	19,80		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;S2	2	17,59		1,64					1,46	N	3
2X75;90C;S3	3	18,77		8,59%	12,61717	31,68	18,77		7,35%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X75;120C;S1	1	17,47	18,29		0,49797	17,80		18,71		χ (0.025)	0,224944
2X75;120C;S2	2	18,40		0,78			18,40		0,44		
2X75;120C;S3	3	19,02		4,27%	6,013896	24,31	19,02		2,35%	Acceptable range	10
2X75;110C;S1	1	17,52	18,06		0,332808	17,73		18,33			
2X75;110C;S2	2	18,56		0,52			18,56		0,31		
2X75;110C;S3	3	18,11		2,89%	4,019264	22,08	18,11		1,70%		

VIM (%)		percobaan	rata-rata	Std Dev	chi square					Chi Square	
					selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev		
2X75;90C;S1	1	8,07	6,02		1,213093	4,81	8,07	6,88		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;S2	2	4,31		1,90					1,69	N	3
2X75;90C;S3	3	5,68		31,58%	14,65031	20,67	5,68		24,56%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X75;120C;S1	1	4,17	5,13		0,578213	4,55		5,61		χ (0.025)	0,224944
2X75;120C;S2	2	5,25		0,91			5,25		0,51		
2X75;120C;S3	3	5,97		17,69%	6,982977	12,11	5,97		9,09%	Acceptable range	10
2X75;110C;S1	1	4,22	4,86		0,386437	4,47		5,18			
2X75;110C;S2	2	5,43		0,61			5,43		0,36		
2X75;110C;S3	3	4,92		12,48%	4,66693	9,53	4,92		7,01%		

Stabilitas (kg)		percobaan	rata-rata	Std Dev	chi square					Chi Square	
					selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev		
2X75;90C;S1	1	958,62	1435,45		266,0289	1169,42		1673,86		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;S2	2	1733,65		417,25		1733,65			84,55	N	3
2X75;90C;S3	3	1614,08		29,07%	3212,785	4648,24	1614,08		5,05%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X75;120C;S1	1	2010,51	1752,75		146,6152	1606,14	2010,51	1844,81		χ (0.025)	0,224944
2X75;120C;S2	2	1568,64		229,96					234,34		
2X75;120C;S3	3	1679,11		13,12%	1770,646	3523,40	1679,11		12,70%	Acceptable range	10
2X75;110C;S1	1	1446,38	1474,72		25,07358	1449,65		1488,90			
2X75;110C;S2	2	1458,17		39,33		1458,17			43,45		
2X75;110C;S3	3	1519,62		2,67%	302,8093	1777,53	1519,62		2,92%		

Flow (mm)					chi square					Chi Square	
					percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas	rentang		
2X75;90C;S1	1	4,40	4,03		0,204952	3,83	4,40	4,15		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;S2	2	3,90		0,32		3,90	0,35		N	3	
2X75;90C;S3	3	3,80		7,97%	2,475173	6,51	8,52%		v	2	
										χ (0.975)	2,716616
2X75;120C;S1	1	3,60	3,38		0,120691	3,26	3,60	3,45		χ (0.025)	0,224944
2X75;120C;S2	2	3,30		0,19		3,30	0,21				
2X75;120C;S3	3	3,25		5,59%	1,457568	4,84	6,15%		Acceptable range	10	
2X75;110C;S1	1	3,70	3,45		0,223152	3,23	3,70	3,65			
2X75;110C;S2	2	3,05		0,35			0,07				
2X75;110C;S3	3	3,60		10,14%	2,694967	6,14	3,60		1,94%		

MQ (kg/mm)		percobaan	rata-rata	Std Dev	chi square					Chi Square	
					selisih batas	rentang	seleksi	rata-rata	std dev		
2X75;90C;S1	1	217,87	362,38		80,04354	282,34		434,64		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;S2	2	444,53		125,54		444,53			13,98	N	3
2X75;90C;S3	3	424,76		34,64%	966,6722	1329,06	424,76		3,22%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X75;120C;S1	1	558,48	516,82		26,50097	490,32	558,48	537,56		χ (0.025)	0,224944
2X75;120C;S2	2	475,35		41,57					29,58		
2X75;120C;S3	3	516,65		8,04%	320,0477	836,87	516,65		5,50%	Acceptable range	10
2X75;110C;S1	1	390,91	430,37		28,16229	402,21		450,10			
2X75;110C;S2	2	478,09		44,17		478,09			39,58		
2X75;110C;S3	3	422,12		10,26%	340,1111	770,48	422,12		8,79%		

Deformasi (mm)					chi square					Chi Square	
					percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas	rentang		
2X75;90C;M1	1	18,65667	18,83		0,47676517	18,35	18,66	19,15		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;M2	2	18,17667		0,75					0,70	N	3
2X75;90C;M3	3	19,64333		3,97%	5,75781152	24,58	19,64		3,64%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X75;100C;M1	1	17,67333	18,67		0,55656683	18,11		19,17		χ (0.025)	0,224944
2X75;100C;M2	2	19,30333		0,87			19,30		0,19		
2X75;100C;M3	3	19,03		4,68%	6,72156252	25,39	19,03		1,01%	Acceptable range	10
2X75;105C;M1	1	19,79167	20,03		0,24323039	19,79	19,79	20,03			
2X75;105C;M2	2	19,82833		0,38			19,83		0,38		
2X75;105C;M3	3	20,47		1,90%	2,93745182	22,97	20,47		1,90%		
2X75;110C;M1	1	21,91	21,39		0,57301692	20,82	21,91	21,91			
2X75;110C;M2	2	20,35333		0,90					0,00		
2X75;110C;M3	3	21,91		4,20%	6,92022743	28,31	21,91		0,00%		
2X75;120C;M1	1	18,18667	20,17		1,12240936	19,05		21,17			
2X75;120C;M2	2	21,53667		1,76			21,54		0,52		
2X75;120C;M3	3	20,8		8,73%	13,5551461	33,73	20,80		2,46%		

Deformasi (mm)					chi square					Chi Square	
					percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas	rentang		
2X90;90C;M1	1	20,32333	19,90		0,379668075	19,52	20,32	20,24		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X90;90C;M2	2	19,22		0,60					0,12	N	3
2X90;90C;M3	3	20,16		2,99%	4,585186474	24,49	20,16		0,57%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X90;100C;M1	1	23,28333	21,98		0,717368514	21,27	23,28	21,98		χ (0.025)	0,224944
2X90;100C;M2	2	21,31		1,13			21,31		1,13		
2X90;100C;M3	3	21,36		5,12%	8,663536984	30,65	21,36		5,12%	Acceptable range	10
2X90;105C;M1	1	21,46833	21,26		0,121513404	21,14	21,47	21,26			
2X90;105C;M2	2	21,22167		0,19			21,22		0,19		
2X90;105C;M3	3	21,09333		0,90%	1,467496621	22,73	21,09		0,90%		
2X90;110C;M1	1	19,65333	20,54		0,498041935	20,04		20,98			
2X90;110C;M2	2	21,13333		0,78			21,13		0,22		
2X90;110C;M3	3	20,82667		3,80%	6,014767364	26,55	20,83		1,03%		
2X90;120C;M1	1	21,19667	22,35		0,668060873	21,68		22,93			
2X90;120C;M2	2	22,61		1,05			22,61		0,45		
2X90;120C;M3	3	23,24333		4,69%	8,068057024	30,42	23,24		1,95%		

Deformasi (mm)					chi square				Chi Square		
					percobaan	rata-rata	Std Dev	selisih batas			rentang
2X75;90C;S1	1	23,29	22,52		0,592409	21,93	23,29	23,04		Tingkat kepercayaan (α):	5%
2X75;90C;S2	2	21,49		0,93					0,35	N	3
2X75;90C;S3	3	22,79		4,13%	7,154423	29,68	22,79		1,53%	v	2
										χ (0.975)	2,716616
2X75;105C;S1	1	17,84833	19,08		0,749294	18,33		19,70		χ (0.025)	0,224944
2X75;105C;S2	2	19,21		1,18			19,21		0,69		
2X75;105C;S3	3	20,18833		6,16%	9,049093	28,13	20,19		3,51%	Acceptable range	10
2X75;120C;S1	1	18,91667	21,33		1,353593	19,98		22,54			
2X75;120C;S2	2	22,91333		2,12			22,91		0,54		
2X75;120C;S3	3	22,15667		9,95%	16,34711	37,68	22,16		2,37%		