



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI SUSUT BETON BERKINERJA TINGGI TANPA  
MENGUNAKAN *FLY ASH* PADA ARAH VERTIKAL**

**SKRIPSI**

**GABBY RIZKIYANA KHALAWI  
0806315704**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2012**

No. 1095/FT.01/SKRIP/07/2012



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI SUSUT BETON BERKINERJA TINGGI TANPA  
MENGUNAKAN *FLY ASH* PADA ARAH VERTIKAL**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Teknik Sipil**

**GABBY RIZKIYANA KHALAWI  
0806315704**

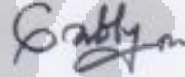
**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
BIDANG KEKHUSUSAN STRUKTUR  
DEPOK  
JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Gabby Rizkiyana Khalawi

NPM : 0806315704

Tanda Tangan : 

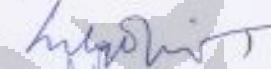
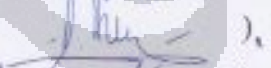
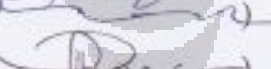
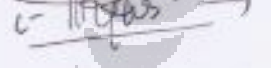
Tanggal : 3 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Gabby Rizkiyana Khalawi  
Npm : 0806315704  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Seminar Skripsi : Studi Susut Beton Berkinerja Tinggi Tanpa Menggunakan *Fly Ash* pada Arah Vertikal

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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 : Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA. (  )  
Pembimbing : Chatarina Niken (  )  
Penguji : Ir. Madsuri, MT (  )  
Penguji : Ir. Essy Arijoeni, Ph.D (  )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 3 Juli 2012

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil kekhususan Struktur pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- 2) Chatarina Niken Dwi, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membantu saya dalam penyusunan skripsi ini.
- 3) Orang tua saya Khalawi AH dan Yusdiana Caya, adik saya Reza Fahlevi dan Khansa Raihana serta seluruh keluarga besar saya yang tidak pernah lelah memberikan doa, perhatian, dan kasih sayangnya serta dukungan material sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
- 4) Sahabat satu perjuangan Fitriyan Anggrasari atas segala bantuan, semangat, dan kerja samanya yang sangat berarti buat saya selama menyelesaikan skripsi ini.
- 5) Sahabat sipil lingkungan 2008 khususnya Bundo, Mila, Eqhi, Piti, Nanda, Tadho, Fatih, Qi, Nico, Bulek, Asrovi, Wan Abud, Fatchur, Dimas, Sandy, Sella, Ganjar, Budi, Ezi, Anggit, Cipta, Iqbal, Janit, Akang, Ridha, dan lainnya atas bantuan tenaga, semangat dan doa sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.
- 6) Sahabat sipil lingkungan 2009 dan 2010 khususnya Rezhi, Wiwid, Andrie dan lainnya atas tenaga dan waktunya untuk membantu penelitian ini.
- 7) Sahabat struktur satu perjuangan khususnya Inal, Damar, Wisnu, Dian, Yushak, Rizal, Ajis, Dila, Shefi dan Eva.

- 8) Sahabat SMA khususnya Fadly, Rini, Adissa, Ices, Dina, Nola, Corryn, Adit, Vika, Niwa, Ika, Kiting, Putri, Vivin, Idil, Adek dan lainnya atas keceriaan, semangat dan doanya.
- 9) Para laboran yang setia membantu baik tenaga maupun pikiran khususnya Pak Agus, Pak Apri, Pak Idris, Pak Hanafi, Pak Yudi, Pak Obet, Mas Sony, Mas Nadar, Pak Jay, Mas Anto, Babe dan lainnya.
- 10) Om Ahmad yang telah membantu dengan seluruh tenaga untuk kelancaran penelitian ini.
- 11) Seluruh warga Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan yang telah memberikan dukungan dan doa.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian ini, tanpa mereka semua penelitian ini tidak akan berjalan dengan lancar. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu di Indonesia.

Depok, 3 Juli 2012

Penulis

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

---

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

Nama : Gabby Rizkiyana Khalawi  
NPM : 0806315704  
Program studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**Studi Susut Beton Berkinerja Tinggi Tanpa Menggunakan *Fly Ash* pada Arah Vertikal.**

Bersama dengan perangkat lainnya. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmediakan/format-kan, 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 : Jakarta

Pada tanggal : 3 Juli 2012

Yang Menyatakan



(Gabby Rizkiyana Khalawi)

## ABSTRAK

Nama : Gabby Rizkiyana Khalawi  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Studi Susut Beton Berkinerja Tinggi Tanpa Menggunakan *Fly Ash* pada Arah Vertikal

Penelitian yang dilakukan akhir-akhir ini mengenai susut sebatas susut pada beton arah horizontal. Tes susut ASTM C157/ C157M-08 adalah tes susut pada arah horizontal. Sedangkan pada keadaan dilapangan, tidak semua beton ada pada kondisi horizontal, dapat diambil contoh yaitu kolom pada bangunan. Penulis ingin melihat apakah ada pengaruh dari perubahan letak beton tersebut terhadap susut beton dengan meneliti susut beton pada arah vertikal. Penelitian yang dilakukan adalah beton berkinerja tinggi menggunakan *Ordinary Portland Cement* (OPC), silikafume, dan *High Range Water Reducing* (HRWR) yaitu sika viscocrete 10. Untuk uji kuat tekan beton, benda uji akan dibuat dalam silinder kecil berdiameter 100mm dan tinggi 200mm yang dites pada hari 3,7,14,dan 28 hari. Uji modulus elastisitas menggunakan silinder besar berdiameter 150mm dan tinggi 300mm. Sedangkan untuk pengujian susut menggunakan balok berukuran 150mm x 150mm x 600mm berdasarkan ASTM C78-94 karena sebagian besar elemen struktur menderita lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa susut yang terjadi pada arah vertikal lebih kecil dibandingkan susut yang terjadi pada arah horizontal dan lebih kecil dibandingkan susut menurut ACI 209R-92.

Kata Kunci: beton berkinerja tinggi, vertikal, horizontal, susut beton.



## ABSTRACT

Name : Gabby Rizkiyana Khalawi  
Study Program : Civil Engineering  
Title : Shrinkage Studies of High Performance Concrete Without Using Fly Ash in Vertical Direction

Research carried out recently about the extent of shrinkage in concrete shrinkage horizontal direction. Shrinkage test ASTM C157 / C157M-08 is a test shrinkage in the horizontal direction. While the state of the field, not all concrete there is in the horizontal condition, the sample can be taken on the building columns. The author would like to see if there is the influence of changes in the location of the concrete to the shrinkage of concrete by examining the concrete shrinkage in the vertical direction. The research conducted is of high-performance concrete using Ordinary Portland Cement (OPC), silikafume, and High Range Water Reducing (HRWR) is Sika Viscocrete 10. For concrete compressive strength test, the test object will be created in a small cylinder of 100mm diameter and 200mm high to be tested on day 3,7,14, and 28 days. Modulus of elasticity test using a cylinder of 150mm diameter and 300mm high. As for the shrinkage test using a beam size of 150mm x 150mm x 600mm according to ASTM C78-94 because most of the structural elements suffer from flexure. The results showed that the shrinkage that occurs in the vertical direction is smaller than the shrinkage that occurs in the horizontal direction and smaller than the shrinkage according to ACI 209R-92.

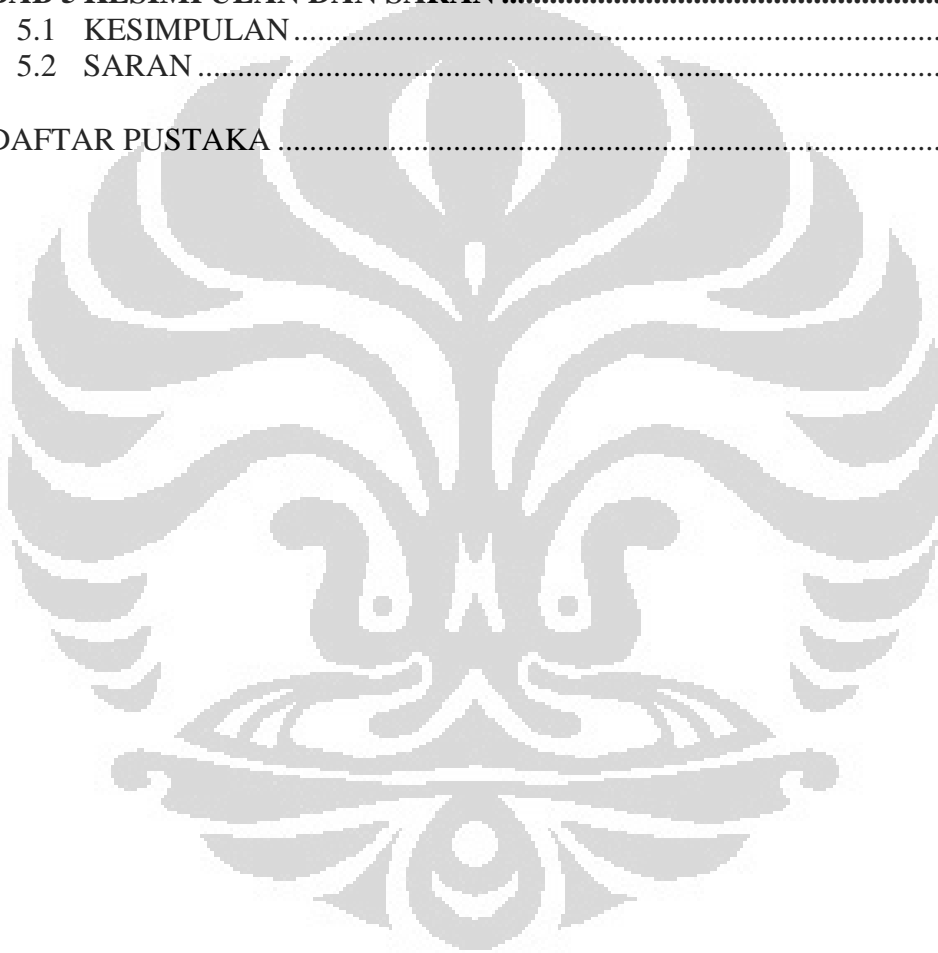
Keyword: high performance concrete, vertical, horizontal, shrinkage of concrete.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH .....	2
1.3 TUJUAN PENULISAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
1.5 HIPOTESIS.....	3
1.6 METODOLOGI PENELITIAN.....	3
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 BETON .....	5
2.1.1 Sejarah Umum Beton.....	5
2.1.2 Definisi Umum Beton.....	6
2.1.3 Komposisi Beton .....	7
2.1.3.1 Air.....	7
2.1.3.2 Agregat Kasar .....	8
2.1.3.3 Agregat Halus .....	9
2.1.3.4 Semen .....	11
2.1.3.5 Bahan Tambah ( <i>Admixtures</i> ).....	13
2.1.4 Sifat-Sifat dari Beton.....	13
2.1.4.1 <i>Workability</i> .....	14
2.1.4.2 Segregasi.....	14
2.1.4.3 <i>Bleeding</i> .....	15
2.1.4.4 Kuat Tekan Beton .....	15
2.1.4.5 Modulus Elastisitas.....	16
2.1.5 Beton Mutu Tinggi .....	16
2.2 <i>SELF COMPACTING CONCRETE (SCC)</i> .....	17
2.2.1 Definisi <i>Self Compacting Concrete</i> .....	18
2.2.2 Kriteria <i>Self Compacting Concrete</i> .....	19
2.2.2.1 Pada Beton Segar.....	19
2.2.2.2 Pada Beton Keras.....	19
2.2.3 Pengujian pada <i>Self Compacting Concrete</i> .....	20
2.2.3.1 <i>Workability</i> .....	20
2.2.3.2 <i>Flowability</i> .....	21
2.3 SUSUT BETON ( <i>SHRINKAGE IN CONCRETE</i> ).....	22

2.3.1	Definisi Susut Pada Beton .....	22
2.3.2	Jenis Susut Pada Beton .....	24
2.3.2.1	Susut plastis .....	24
2.3.2.2	Susut pengeringan.....	25
2.3.3	Faktor Yang Mempengaruhi Susut.....	25
2.3.4	Perhitungan Regangan Susut .....	29
2.3.4.1	Perhitungan Regangan Susut Pada Kondisi Standar .....	29
2.3.4.2	Perhitungan Regangan Susut Pada Kondisi Non-Standar .....	30
2.3.5	Penelitian Mengenai Susut .....	32
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>34</b>
3.1	RENCANA PENELITIAN .....	34
3.2	PENJELASAN PENELITIAN .....	36
3.2.1	Studi Literatur .....	36
3.2.2	Uji Material.....	36
3.3	BAHAN PENELITIAN .....	37
3.4	PROSEDUR PENELITIAN.....	37
3.4.1	Pengujian Agregat Kasar .....	37
3.4.1.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air.....	37
3.4.1.2	Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat.....	38
3.4.2	Pengujian Agregat Halus .....	40
3.4.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air.....	40
3.4.2.2	Pengujian Berat Isi Agregat.....	42
3.4.3	RANCANG CAMPUR ( <i>MIX DESIGN</i> ) BETON DENGAN METODE ACI.....	44
3.5	PEMBUATAN BENDA UJI .....	47
3.6	UJI FLOW BETON SEGAR .....	49
3.7	PERAWATAN BENDA UJI .....	49
3.8	METODE PENGUJIAN .....	50
3.8.1	Metode Pengujian Tekan Beton .....	50
3.8.2	Metode Pengujian Modulus Elastisitas Beton .....	51
3.8.3	Metode Pengujian Susut Beton.....	52
3.8.4	Rencana Kebutuhan Benda Uji.....	54
3.9	METODE PENGOLAHAN HASIL DAN ANALISIS DATA .....	54
<b>BAB 4</b>	<b>ANALISA DATA DAN HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>56</b>
4.1	ANALISA PENGUJIAN MATERIAL .....	56
4.1.1	Agregat Kasar .....	56
4.1.1.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air.....	56
4.1.1.2	Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat.....	56
4.1.2	Agregat Halus .....	57
4.1.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air.....	57
4.1.2.2	Pengujian Berat Isi Agregat dan Rongga Udara.....	57
4.2	HASIL DAN ANALISA CAMPURAN BETON.....	58
4.2.1	Perhitungan <i>Mix Design</i> .....	58
4.2.2	Persiapan Sebelum Pencampuran .....	59
4.2.3	Pencampuran dan Uji <i>Slump</i> .....	62
4.2.4	Perawatan Benda Uji .....	64

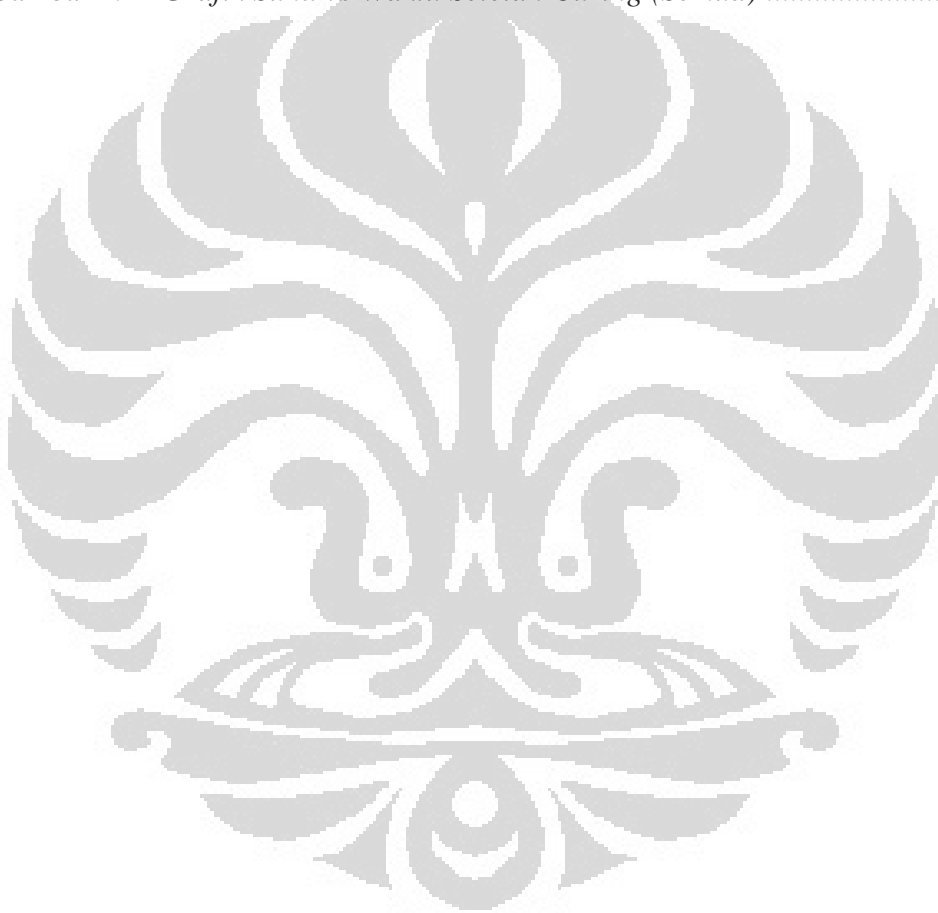
4.3 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN BETON YANG TELAH MENERAS .....	65
4.3.1 Analisa Kuat Tekan Beton.....	65
4.3.2 Analisa Modulus Elastisitas Beton .....	67
4.3.3 Analisa Susut Beton.....	75
4.4 HASIL PENELITIAN DIBANDINGKAN PENELITIAN SUSUT PADA SAMPEL HORIZONTAL .....	77
4.5 HASIL PENELITIAN DIBANDINGKAN ACI 209R-92 .....	85
4.6 HASIL PENELITIAN DIBANDINGKAN PENELITIAN SUSUT DENGAN MENGGUNAKAN <i>FLY ASH</i> .....	89
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>91</b>
5.1 KESIMPULAN .....	91
5.2 SARAN .....	91
DAFTAR PUSTAKA .....	93



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Slump Cone</i> .....	20
Gambar 2.2 <i>V - Funnel</i> .....	21
Gambar 2.3 <i>L – Shaped Box</i> .....	22
Gambar 2.4 <i>Pengukuran <math>H_1</math> dan <math>H_2</math> pada L-Shaped Box</i> .....	22
Gambar 2.5 <i>Kurva Susut-Waktu</i> .....	23
Gambar 2.6 <i>Hubungan Kandungan Agregat dan Rasio Air-Semen Terhadap Susut (Odman 1968)</i> .....	27
Gambar 2.7 <i>Faktor Koreksi Susut Kondisi Non-Standar</i> .....	32
Gambar 3.1 <i>Diagram Alir Penelitian</i> .....	35
Gambar 3.2 <i>Standard Gradation</i> .....	36
Gambar 3.3 <i>Grafik Hubungan Kuat Tarik beton terhadap Persentase Silica fume</i> .....	45
Gambar 3.4 <i>Vibrating wire embeded strain gauge</i> .....	52
Gambar 3.5 <i>Read Out</i> .....	52
Gambar 3.6 <i>Alat pengukur kelembaban dan suhu</i> .....	53
Gambar 3.7 <i>Detail Pemasangan Alat Shringkage</i> .....	53
Gambar 4.1 <i>Proses Penyaringan dan Pencucian Agregat</i> .....	60
Gambar 4.2 <i>Agregat dalam Kondisi SSD</i> .....	60
Gambar 4.3 <i>Silinder <math>\varnothing 15</math> cm, h 30 cm (kiri) dan Silinder <math>\varnothing 10</math> cm, h 20 cm (kanan)</i> .....	61
Gambar 4.4 <i>Proses Pemasangan Vibrating Wire Embeded Strain Gauge</i> .....	61
Gambar 4.5 <i>Bekisting Balok dengan Vibrating Wire Embeded Strain Gauge</i> .....	62
Gambar 4.6 <i>Proses Pencampuran Beton</i> .....	63
Gambar 4.7 <i>Proses Pengukuran Slump Flow</i> .....	63
Gambar 4.8 <i>Proses Pemasangan Adonan Beton ke dalam Bekisting</i> .....	64
Gambar 4.9 <i>Proses Perawatan Benda Uji untuk Silinder</i> .....	64
Gambar 4.10 <i>Proses Perawatan Benda Uji untuk Balok</i> .....	64
Gambar 4.11 <i>Proses capping</i> .....	66
Gambar 4.12 <i>Alat Uji Kuat Tekan (kiri) dan Proses Uji Kuat Tekan (kanan)</i> .....	66
Gambar 4.13 <i>PUNDITplus MODEL PC1600</i> .....	67
Gambar 4.14 <i>Selinder dengan Gemuk (kanan) dan Gemuk (kiri)</i> .....	67
Gambar 4.15 <i>Main Menu PUNDITplus MODEL PC1600</i> .....	68
Gambar 4.16 <i>Transit Time Screen (Kanan) dan Dua buah Sensor (kiri)</i> .....	68
Gambar 4.17 <i>Kalkulasi Transit Time</i> .....	68
Gambar 4.18 <i>Elastic Modulus Parameter Screen (kanan) dan Elastic Modulus Screen (Kiri)</i> .....	69
Gambar 4.19 <i>Penimbangan Silinder Uji</i> .....	71
Gambar 4.20 <i>Strain Gauge</i> .....	72
Gambar 4.21 <i>Proses Pemasangan Strain Gauge</i> .....	72
Gambar 4.22 <i>Proses Pen-solderan Kabel ke Stain Gauge</i> .....	72
Gambar 4.23 <i>Proses Uji Tekan Silinder Uji</i> .....	73
Gambar 4.24 <i>Proses Pembacaan Regangan Pada Alat Output</i> .....	73
Gambar 4.25 <i>Grafik Susut vs Waktu (Gabby)</i> .....	76
Gambar 4.26 <i>Grafik Susut vs Waktu Final</i> .....	76
Gambar 4.27 <i>Grafik Susut vs Waktu Arah Horizontal dan Vertikal</i> .....	77
Gambar 4.28 <i>Grafik Susut vs Waktu (Hari ke-1)</i> .....	78

Gambar 4.29 Grafik Susut vs Waktu (Hari ke-2) .....	79
Gambar 4.30 Grafik Susut vs Waktu (Hari ke-3 s/d 7) .....	79
Gambar 4.31 Grafik Susut vs Waktu (setelah curing).....	80
Gambar 4.32 Grafik Kelembaban vs Waktu.....	81
Gambar 4.33 Grafik Suhu vs Waktu.....	82
Gambar 4.34 Grafik Suhu Beton vs Waktu.....	83
Gambar 4.35 Grafik Suhu Beton vs Waktu (curing) .....	83
Gambar 4.36 Grafik Suhu Beton vs Waktu (setelah curing) .....	84
Gambar 4.37 Grafik Delta Suhu vs Waktu .....	84
Gambar 4.38 Letak Strain Gauge Pada Beton.....	85
Gambar 4.39 Grafik Suhu vs Waktu Setelah Curing (ACI 209R) .....	88
Gambar 4.40 Grafik Suhu vs Waktu (Flyash) .....	89
Gambar 4.41 Grafik Suhu vs Waktu Setelah Curing (Semua) .....	90

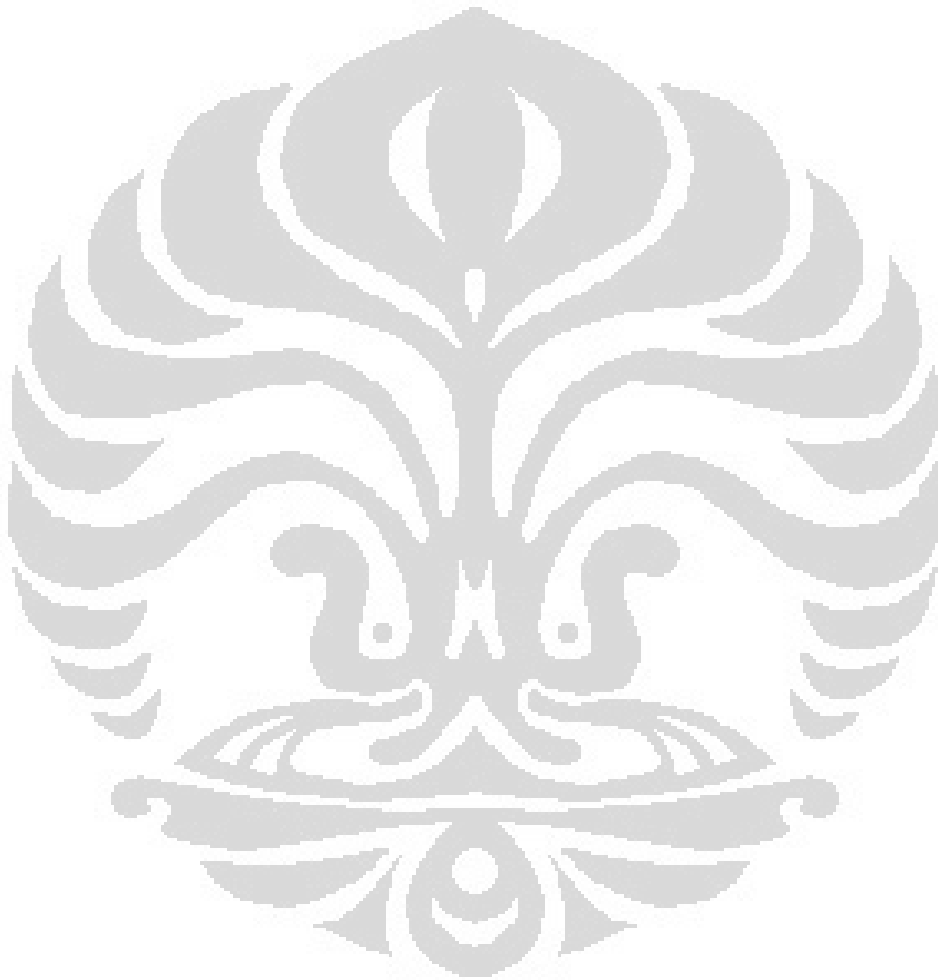


## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Persyaratan gradasi agregat halus SK-SNI-T-15-1990-03</i> .....	10
Tabel 2.2	<i>Empat Senyawa utama dalam semen portland</i> .....	12
Tabel 2.3	<i>Nilai penyusutan untuk berbagai kekentalan beton</i> .....	25
Tabel 2.4	<i>Pengaruh Tipe Agregat Terhadap Susut Beton</i> .....	26
Tabel 2.5	<i>Kondisi Standar Untuk Faktor Rangkap dan Susut</i> .....	29
Tabel 3.1	<i>Rekomendasi Maksimum Rasio <math>w/(c+p)</math> untuk Beton yang Menggunakan HRWR</i> .....	45
Tabel 3.2	<i>Rekomendasi Volume Agregat Kasar per Unit Volume Beton</i> .....	47
Tabel 3.3	<i>Jadwal Pembacaan Susut</i> .....	54
Tabel 3.4	<i>Jumlah Kebutuhan Sampel Silinder</i> .....	54
Tabel 4.1	<i>Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar</i> .....	56
Tabel 4.2	<i>Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar</i> .....	57
Tabel 4.3	<i>Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus</i> .....	57
Tabel 4.4	<i>Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus</i> .....	58
Tabel 4.5	<i>Kebutuhan Material</i> .....	59
Tabel 4.6	<i>Hasil Kuat Tekan</i> .....	65
Tabel 4.7	<i>Modulus Elastisitas dari PUNDITplus MODEL</i> .....	69
Tabel 4.8	<i>Kriteria Dixon</i> .....	70
Tabel 4.9	<i>Data Modulus Elastisitas Urut</i> .....	70
Tabel 4.10	<i>Modulus Elastisitas dengan Strain Gauge</i> .....	74
Tabel 4.11	<i>Faktor Koreksi Kelembaban Relatif</i> .....	86
Tabel 4.12	<i>Faktor Koreksi Tebal Penampang</i> .....	87

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Hasil Uji Material
LAMPIRAN B	<i>Mix Design</i>
LAMPIRAN C	Alat dan Material
LAMPIRAN D	Hasil Uji Kuat Tekan Beton
LAMPIRAN E	Hasil Uji Modulus Elastisitas ( <i>PUNDITplus</i> )
LAMPIRAN F	Hasil Uji Modulus Elastisitas ( <i>Strain Gauge</i> )
LAMPIRAN G	Hasil Uji Susut Beton
LAMPIRAN H	Grafik Susut Sampel Horizontal, Vertikal dan ACI 209R





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Dewasa ini, karena tuntutan geometris dan metode konstruksi, kian banyak bangunan yang menggunakan beton bermutu dan berkinerja sangat tinggi. Jembatan Akihabara di Jepang menggunakan beton berkekuatan 120 MPa. Bahkan, Jembatan Sakata Mirai juga di Jepang, menggunakan beton bermutu ultra tinggi dengan kekuatan mencapai 180 MPa (sekitar K2000). Meskipun begitu, teknologi beton di Indonesia tidaklah tertinggal terlalu jauh. (Beton Modern)

Supartono menjelaskan pada dasarnya beton bermutu tinggi merupakan beton yang memiliki kekuatan tinggi, namun parameter beton mutu tinggi sangat beragam, tergantung di mana berada. Di Indonesia, beton dengan kekuatan di atas 50 MPa sudah digolongkan beton mutu tinggi. sementara di Australia, beton berkekuatan 200 MPa merupakan hal biasa. Di China, dengan menggunakan agregat sintetik, telah ada beton hingga 300 MPa. Dalam perkembangan konstruksi beton modern, beton dituntut menjadi material konstruksi yang bermutu tinggi sekaligus berkinerja tinggi.

Pada beton segar, mudah dalam pengerjaan pengecoran (*workable*), panas hidra si yang rendah (*low heat of hydration*), susut relatif rendah pada saat pengeringan, memiliki percepatan tingkat waktu ikat awal (*acceleration*) atau penundaan (*retardation*) yang baik, serta mudah dipompakan ke tempat yang lebih tinggi, merupakan beberapa tuntutan yang harus dapat dipenuhi beton bermutu dan berkinerja tinggi. Sementara, pada beton yang sudah mengeras, beton bermutu dan berkinerja tinggi dituntut memiliki kekuatan tekan yang tinggi atau sangat tinggi, kuat tarik yang lebih baik, kuat tekan awal yang tinggi, perilaku yang daktail (liat), kedap udara dan air, tahan terhadap abrasi dan korosi sulfat, penetrasi klorida yang rendah, muai susut yang rendah, dan awet.

Satu konsep terbaru untuk menciptakan beton berkinerja tinggi adalah dengan menggunakan *Self Compacting Concrete*. Konsep ini menjadi solusi agar beton dapat dituang dengan mudah dan cepat tanpa perlu dipadatkan/ digetarkan. Beton dengan mudah mengalir, mengisi rongga-rongga tulangan yang rapat tanpa mengalami *bleeding* atau segregasi, meskipun pada tempat- tempat sulit.

Salah satu sifat beton adalah susut, dimana yang harus diperhatikan adalah bagaimana menjaga beton agar penyusutan yang terjadi dapat diminimalisasi. Hal ini dikarenakan akibat dari penyusutan dapat menurunkan kualitas beton serta dapat menimbulkan keretakan pada beton.

Penelitian yang dilakukan akhir-akhir ini mengenai susut sebatas susut pada beton arah horizontal. Tes susut ASTM C157/C 157M-08 adalah tes susut pada arah horizontal. Sedangkan pada keadaan dilapangan, tidak semua beton ada pada kondisi horizontal, dapat diambil contoh yaitu kolom pada bangunan. Penulis ingin melihat apakah ada pengaruh dari perubahan letak beton tersebut terhadap susut beton.

Pengaruh dari berat beton sendiri yang berbeda pada arah horizontal dan vertikal, terlihat bahwa beton pada arah vertikal mengalami beban beton sendiri lebih banyak dikarenakan volume kearah vertikal lebih besar dibanding volume kearah horizontal. Oleh karena itu penulis akan meneliti mengenai susut pada beton arah vertikal untuk melihat apakah adanya perbedaan perilaku susut beton terhadap arah horizontal.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana perilaku susut beton yang terjadi pada sampel vertikal jika dibandingkan dengan perilaku susut beton pada sampel horizontal.
2. Apakah berat sendiri beton pada arah vertikal menambah susut beton jika dibandingkan dengan susut pada arah horizontal.

3. Bagaimana perilaku susut beton yang terjadi pada sampel vertikal jika dibandingkan dengan susut menurut ACI 209R-92.

### 1.3 TUJUAN PENULISAN

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti susut yang terjadi pada beton tanpa menggunakan tambahan *fly-ash* pada arah vertikal.

### 1.4 BATASAN MASALAH

Pedoman, teori, peralatan dan prosedur percobaan yang dipakai dalam penulisan skripsi ini mengacu kepada standar dari American Society for Testing and Material dengan memperhatikan Standar Nasional Indonesia terbitan PusLitbang Departmen Pekerjaan Umum.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Jurusan Sipil, Fakultas Teknik UI, Depok. Lingkup penelitian terbatas pada beton berkinerja tinggi (*High Performance Concrete*) dengan kekuatan 60 MPa. Pembahasan penelitian ini ditekankan terhadap susut beton pada arah vertikal.

### 1.5 HIPOTESIS

Susut beton pada arah vertikal lebih besar dari pada susut beton pada arah horizontal serta terdapat perbedaan perilaku susut beton tersebut, hal dikarenakan adanya pengaruh beban beton yang ada di atasnya.

### 1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang akan dipakai dalam kegiatan ini adalah:

1. Studi literatur

Studi literatur adalah penelitian terhadap peraturan standar yang berlaku dan dipakai, serta mencari masukan-masukan dari kegiatan penelitian lain yang berhubungan dengan susut pada beton.

2. Percobaan di laboratorium

Percobaan ini untuk meneliti susut dari beton tanpa menggunakan *fly-ash* pada arah vertikal.

3. Analisa hasil percobaan.

Data yang didapat dari hasil percobaan dianalisis berdasarkan studi literatur yang ada, serta dibandingkan dengan hasil penelitian susut beton arah horizontal oleh Chatarina Niken dan ACI 209R-92.

## 1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Dalam penyusunan makalah untuk skripsi ini digunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I :Pendahuluan

Berisi mengenai latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, hipotesis, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II :Landasan Teori

Berisi penjelasan mengenai hal-hal yang berkaitan dengan beton, *High Performance Concrete*, dan susut. Penjelasan ini bersumber dari buku-buku referensi, jurnal dan hasil penelitian yang telah dilakukan.

Bab III : Metodologi Penelitian

Berisi rencana mengenai prosedur penelitian yang akan dilakukan di laboratorium.

Bab IV :Hasil dan Analisa Penelitian

Hasil pengujian yang telah dilaksanakan dan analisa terhadap hasil pengujian tersebut serta dibandingkan dengan hasil penelitian susut beton arah horizontal oleh Chatarina Niken dan ACI 209R-92.

Bab V :Penutup

Berisi kesimpulan dan saran

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 BETON

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lain-lain. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai beton.

##### 2.1.1 Sejarah Umum Beton

Penggunaan beton dan bahan-bahan vulkanik seperti abu pozzolan<sup>1</sup> sebagai pembentuknya telah dimulai sejak zaman Yunani dan Romawi, bahkan mungkin sebelum itu (Nawy, 1985:2-3). Penggunaan bahan beton bertulang secara intensif diawali pada awal abad ke sembilan belas. Pada tahun 1801, F.Coignet menerbitkan tulisannya mengenai prinsip-prinsip konstruksi dengan meninjau kelembaban beton terhadap tariknya. Pada tahun 1850, J.L.Lambot untuk pertama kalinya membuat kapal kecil dari bahan semen untuk dipamerkan pada Pameran Dunia tahun 1855 di Paris. J.Monier, seorang ahli taman dari Prancis, mematenkan rangka metal sebagai tulangan beton untuk mengatasi tariknya yang digunakan untuk tempat tanamannya. Pada tahun 1886, Koenen menerbitkan tulisan mengenai teori dan perancangan struktur beton. C.A.P Turner mengembangkan pelat *slab* tanpa balok pada tahun 1906.

Seiring dengan kemajuan besar yang terjadi dalam bidang ini, terbentuklah *German Committee Reinforce Concrete*, *Australian Concrete Committee*, *American Concrete Institute*, dan *British Concrete Institute*. Di Indonesia sendiri, Departemen Pekerjaan Umum selalu mengikuti perkembangan beton melalui Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan (LPMB). Melalui lembaga ini diterbitkan peraturan-peraturan standar beton yang biasanya mengadopsi peraturan internasional (*code*

---

<sup>1</sup> Pozzolan adalah unsur yang tidak memiliki sifat semen secara mandiri, namun mengandung unsur yang bila dicampurkan dengan kalsium oksida dan air pada temperatur biasa, bisa membentuk unsur yang mempunyai ciri-ciri semen yaitu kalsium-silikat-hidrat (CSH). (Bahan Kuliah Teknologi Semen, Elly Tjahjono)

*standard international*) yang disesuaikan dengan kondisi bahan dan jenis bangunan di Indonesia.

Perkembangan yang cepat dalam bidang seni serta analisis perancangan dan konstruksi beton telah menyebabkan dibangunnya struktur-struktur beton yang sangat khas (Nawy, 1985) seperti Auditorium Kresge di Boston, Marina Tower, Lake Point Tower di Chicago, dan Keong Mas di Taman Mini di Indonesia. (Alizar, 2009)

### 2.1.2 Definisi Umum Beton

Beton adalah material konstruksi bangunan yang dibuat dengan cara pencampuran bersama semen kering dan agregat (halus dan kasar) dalam komposisi yang tepat dan kemudian ditambah dengan air, yang menyebabkan semen mengalami hidrasi dan kemudian seluruh campuran berkumpul dan mengeras untuk membentuk sebuah bahan dengan sifat seperti bebatuan, (Tjokrodimulyoo, 1994).

Menurut SNI 03-2834-2000 “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”, beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. Beton memiliki banyak kelebihan, diantaranya :

- Mampu menahan gaya tekan dengan baik
- Tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan
- Beton segar dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
- Tahan terhadap temperatur yang tinggi
- Biaya pemeliharaan yang relatif kecil

Selain itu, beton juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya :

- Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak, oleh karena itu perlu diberi baja tulangan sebagai penahan gaya tarik
- Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
- Beton memiliki beban sendiri yang cukup berat

- Daya pantul suara yang besar

### 2.1.3 Komposisi Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari pasta, agregat dan bahan tambahan (*admixture*). Pasta adalah campuran semen dan air yang digunakan sebagai perekat antara agregat-agregat dalam beton. Agregat berdasarkan besarnya dibagi menjadi dua, yaitu agregat kasar dan agregat halus. (Beton Sebagai Bahan Bangunan)

Mutu beton secara umum akan sangat tergantung dengan jenis serta karakteristik dari material yang digunakan. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai bahan-bahan penyusun beton.

#### 2.1.3.1 Air

Air merupakan bahan yang penting dalam pembuatan beton, digunakan untuk memicu proses kimiawi semen dan memberi kemudahan dalam pengerjaan beton. Kualitas air harus diperhatikan dikarenakan jika terdapat senyawa berbahaya seperti minyak, air garam, gula atau senyawa kimia lain akan menurunkan kualitas dan mutu dari beton.

Proporsi air dalam pencampuran beton memberikan efek yang berbeda-beda pada beton. Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemasan beton atau daya kerjanya akan berkurang (Duma, 2009). Sedangkan proporsi air yang agak besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pengecoran, tetapi kekuatan hancur beton jadi rendah. Proporsi air ini dinyatakan dalam rasio air-semen (*water-cement ratio*), yaitu angka yang menyatakan perbandingan antara berat air (kg) dibagi dengan berat semen (kg) dalam adukan beton tersebut (Agustian, 2009).

Syarat mutu air untuk beton telah distandarisasi menurut British Standard (BS.3148-80) adalah menurut ketentuan dibawah ini:

- Garam-garam anorganik. Gabungan ion-ionkalsium, magnesium, narium, kalium, bikarbonat, sulfatm klorida, dan karbonat tidak

boleh melebihi 2000 mg per liter karena dapat memperlambat waktu pengikatan beton.

- NaCL dan Sulfat. Konsentrasi NaCL atau garam dapur sebesar 20000 ppm pada umumnya masih diizinkan.
- Air Asam. Air campuran asam dapat digunakan atau tidak berdasarkan konsentrasi asamnya yang dinyatakan dalam ppm (parts per million).
- Air Basa. Air dengan kandungan natrium hidroksida sebesar 0,5% dari berat semen, tidak banyak berpengaruh pada kekuatan beton, asalkan waktu pengikatan tidak berlangsung dengan cepat.
- Air Gula. Apabila kadar gula dalam campuran dinaikkan hingga mencapai 0,2% dari berat semen, maka waktu pengikatan akan lebih cepat dan berkurangnya kekuatan beton pada 28 hari.
- Minyak. Minyak tanah atau minyak mineral dengan konsentrasi lebih dari 2% berat semen dapat mengurangi kekuatan hingga 20%.
- Rumput Laut. Rumput laut yang tercampur dengan air campuran beton dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan secara signifikan. Dimana pengaruh pada beton adalah mengurangi daya lekat semen sehingga menyebabkan banyaknya gelembung udara dalam beton.

#### 2.1.3.2 Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000 “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Sedangkan menurut ASTM C 125-92, agregat kasar adalah porsi dari agregat yang tertahan (9,5 mm) dan pada saringan 4,75 mm (saringan No.4 Standar ASTM)

Fungsi agregat kasar adalah sebagai penyusun kekuatan didalam beton. Menurut PBI 1971 (NI-2) pasal 3.4 syarat agregat kasar yang akan dipakai sebagai bahan campuran beton :



- a. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butiran-butiran pipih hanya boleh dipakai apabila jumlah butiran-butiran pipih tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butiran-butiran agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh cuaca seperti terik matahari atau hujan.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Yang dimaksud dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melampaui ayakan 0.063. Apabila kadar lumpur melampaui dari 1% (ditentukan terhadap berat kerikil) maka agregat kasar harus dicuci.

#### 2.1.3.3 Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-2000 “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Sedangkan menurut ASTM C 125-92, agregat halus adalah agregat yang lewat ayakan 3/8 in (9,5 mm) dan hampir seluruhnya melewati saringan 4,75 mm (saringan No.4 Standar ASTM) dan tertahan pada ayakan 75- $\mu$ m (No.200).

Fungsi dari agregat halus yaitu sebagai pengisi ruang kosong. Dalam praktek, agregat halus bekerja dengan bahan matriks membentuk suatu mortar yang melingkupi seluruh permukaan agregat kasar dan memberikan sifat adesif. Syarat agregat halus yang dipakai sebagai campuran beton menurut Peraturan Beton Indonesia 1971 SNI-2 :

1. Agregat halus atau pasir harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui

5% (ditentukan terhadap berat kering) maka agregat halus harus dicuci.

3. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
  - Sisa diatas ayakan 4 mm harus minimum 2% berat.
  - Sisa diatas ayakan 1 mm harus minimum 10% berat.
  - Sisa diatas ayakan 0.25 mm harus berkisar 80%-95% berat.
4. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.
5. Persyaratan gradasi untuk agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Persyaratan gradasi agregat halus SK-SNI-T-15-1990-03*

Ukuran saringan (mm)	Prosentase lolos saringan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber : Teknologi Beton; Kardiyono Tjokrodimulyoo. 1994)

Keterangan: Daerah I : pasir kasar  
 Daerah II : pasir agak kasar  
 Daerah III : pasir agak halus  
 Daerah IV : pasir halus

Beberapa pemeriksaan untuk mendapatkan kondisi agregat halus yang memenuhi standar antara lain :

1. Pemeriksaan kadar lumpur sesuai dengan British Standard dengan kadar lumpur maksimum 5%.

2. Pemeriksaan kadar kotoran organik sesuai dengan British Standard dengan ketentuan warna larutan harus lebih muda dari no. 3 standar organik plate.
3. Pemeriksaan *specific gravity* dan absorpsi air pada pasir sesuai dengan standar British Standard.
4. Pemeriksaan analisa saringan sesuai dengan British Standard.

#### 2.1.3.4 Semen

Semen merupakan salah satu komponen penting dalam membuat bangunan permanen. Semen merupakan perekat non-organik dalam beton, serta digunakan juga sebagai pembuat material-material lain seperti bata berlubang, ornamen cetak dan lain-lain.

Semen adalah hasil industri dari bahan baku batu kapur (*gamping*) sebagai bahan utama dan lempung (tanah liat) atau pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk. Untuk menghasilkan semen, bahan baku dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk *clinker*, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*) dalam jumlah yang sesuai. Hasil akhir dalam proses produksi dikemas dalam kantong (sak) dengan berat rata-rata 40-50 kg.

Semen digolongkan menjadi dua bagian yaitu semen hidraulik dan semen no-hidraulik. Semen hidraulik adalah semen yang mengeras setelah bereaksi dengan air, sedangkan semen no-hidraulik merupakan semen yang tidak dapat mengeras bila terjadi reaksi dengan air.

Semen portland adalah semen yang banyak digunakan dalam pekerjaan konstruksi. Menurut ASTM C-150,1985, semen portland didefinisikan sebagai semen hidraulik yang dihasilkan dengan klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidraulik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Semen portland memiliki beberapa senyawa kimia yang masing-masing memiliki sifat sendiri. Empat senyawa kimia yang utama dari semen portland antara lain Trikalsium Silikat ( $C_3S$ ), Dikalsium Silikat

(C<sub>2</sub>S), Trikalsium Aluminat (C<sub>3</sub>A), Tetra Aluminoferrit (C<sub>4</sub>AF). Keempat senyawa utama dalam Tabel 2.2 disebut Komposisi Bogue.

Tabel 2.2 *Empat Senyawa utama dalam semen portland*

Nama Oksida Utama	Rumus Empiris	Rumus Oksida	Notasi Pendek	Kadar rata-rata (%)
Trikalsium Silikat	Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	50
Dikalsium Silikat	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	25
Trikalsium Aluminat	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	12
Tetrakalsium Aluminoferrit	Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF	8
Kalsium Sulfat Dihidrat (Gypsum)		CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	C $\bar{S}$ H <sub>2</sub>	3,5

(Sumber : Paul Nugraha dan Antoni, Teknologi Beton dari material, Pembuatan ke Beton Kinerja Tinggi, penerbit Andu, 2007)

ASTM (*American Standard for Testing Material*) menentukan komposisi semen portland menjadi lima type, yaitu :

1. **Type I** : Semen portland yang digunakan untuk semua bangunan beton yang tidak mengalami perubahan cuaca yang dahsyat atau dibangun dalam lingkungan yang korosif.
2. **Type II** : Jenis semen yang mengeluarkan panas hidrasi lebih rendah serta dengan kecepatan penyebaran panas yang rendah pula, selain itu juga lebih tahan terhadap serangan sulfat.
3. **Type III** : Jenis semen yang cepat mengeras, yang cocok untuk pengerasan beton pada suhu rendah. Jenis ini digunakan bilamana kekuatan yang harus dicapai dalam waktu sangat singkat dan biasanya dipakai pada pembuatan jalan yang harus cepat dibuka untuk lalu lintas.
4. **Type IV** : Semen jenis ini menimbulkan panas hidrasi yang rendah.
5. **Type V** : Semen portland jenis ini tahan terhadap serangan sulfat serta mengeluarkan panas hidrasi 25%-40% lebih rendah dari semen type I.

#### 2.1.3.5 Bahan Tambah (*Admixtures*)

Bahan tambah (*admixtures*) adalah bahan yang bukan air, agregat maupun semen tetapi lebih ke bahan kimiawi yang ditambahkan ke dalam campuran sesaat atau selama pencampuran. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat beton atau pasta semen agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis untuk tujuan lain seperti menghemat energi (Nawy, 1996).

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixtures*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan pada saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*) sedangkan bahan tambah *additive* yaitu yang bersifat mineral ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan. (Cindika, 2008)

Suatu bahan tambah pada umumnya dimasukkan ke dalam campuran beton dengan jumlah sedikit, sehingga tingkat kontrolnya harus lebih besar daripada pekerjaan beton biasa. Oleh sebab itu, kontrol terhadap bahan tambah perlu dilakukan dengan tujuan untuk menunjukkan bahwa pemberian bahan tambah pada beton tidak menimbulkan efek samping seperti kenaikan penyusutan kering, pengurangan elastisitas (L.J. Murdock dan K.M. Brook, 1991).

Bahan tambah kimia misalnya HRWR (*High Range Water Reducing*) cukup efektif dipakai pada *ratio* air semen rendah dan untuk mempermudah pengerjaan beton. Penggunaan bahan tambahan untuk mereduksi air perlu dilakukan, HRWR (*High Range Water Reducing*) dari sikacrete-HD (superplasticizer) dapat mereduksi air 12%-25% dibandingkan dengan pereduksi air konvensional yang hanya dapat mereduksi 5%-10%. (Herlina, 1995)

#### 2.1.4 Sifat-Sifat dari Beton

Beton memiliki sifat yang sangat banyak dan beragam, berikut adalah beberapa sifat-sifat dari beton.

#### 2.1.4.1 *Workability*

*Workability* beton dapat didefinisikan sebagai kemudahan pengerjaan beton yang dipengaruhi oleh jumlah air yang digunakan, faktor air semen, jenis, dan gradasi agregat, kehalusan semen, jumlah semen, dan bahan tambahan (*admixture*).

*Workability* meliputi kemudahan penempatan sampai pencetakan beton dan ketahanan beton terhadap segregasi serta sifat-sifat beton dalam kondisi plastis lainnya. Pengukuran *workability* ditentukan dari pengukuran nilai slump beton sebelum penghamparan. Semakin kecil nilai slump beton maka beton lebih kaku dan *workability* beton rendah.

Menurut Newman, sifat *workability* beton dapat diklasifikasikan menjadi :

1. *Compactibility*, mewakili sifat kemudahan pemampatan beton dengan cara menghilangkan rongga udara yang ada.
2. *Stability*, yaitu ketahanan beton terhadap segregasi materialnya selama masa pengangkutan atau saat pemadatan.
3. *Mobility*, yaitu kemudahan beton segar untuk mengisi seluruh sudut cetakan dan rongga antar tulangan.
4. *Finishibility*, yaitu sifat yang menolong untuk memperoleh penyelesaian permukaan beton yang licin dan baik.

#### 2.1.4.2 Segregasi

Segregasi merupakan peristiwa pemisahan bahan-bahan penyusun dari suatu campuran beton selama beton dalam proses pengangkutan, pemadatan, dan pengecoran. Segregasi disebabkan oleh kadar semen yang rendah, kadar air terlalu tinggi, kurangnya agregat halus dan pada saat pengerjaan tinggi jatuh campuran ke cetakan atau bekisting terlalu jauh. Ada dua macam segregasi :

1. Agregat memisah. Jika penggunaan pompa beton (*concrete pump*) atau beton dalam jumlah besar didiamkan terlalu lama.

2. Pasta semen memisah. Karena faktor air semen yang tinggi sehingga daya kohesi pasta semen menurun.

#### 2.1.4.3 *Bleeding*

*Bleeding* merupakan keadaan beton menjadi terlalu encer dimana menyebabkan agregat kasar akan jatuh kebawah lalu air semen dan agregat halus yang ringan yang naik ke permukaan. Bagian yang lemah dari beton akan terbawa ke permukaan dari akumulasi air yang berada di atas beton dan akan mengurangi ikatan antar beton dengan tulangnya.

#### 2.1.4.4 Kuat Tekan Beton

Beton dikatakan kuat terhadap tekan jika padat, permeabilitas rendah, dan lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan. Kuat tekan beton sangat penting dikarenakan mencerminkan kualitas mekanik dan memberikan indikasi dari ketahanan jangka panjang.

Secara teori, kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas, jika dituliskan dalam persamaan :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Keterangan :  $\sigma$  (kuat tekan beton), P (beban tekan akibat gaya luar), A (luas bidang tekan)

Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton antara lain :

1. Faktor air semen (FAS) yaitu rasio antara air dan semen ( $w/c$ ), jika FAS semakin kecil maka jumlah air akan semakin sedikit sehingga kuat tekan beton akan semakin besar.
2. Sifat dan jenis agregat yang digunakan, semakin tinggi tingkat kekerasan agregat maka akan menghasilkan kuat tekan beton yang tinggi. Kuat tekan agregat yang digunakan minimal dua kali lipat dari kuat tekan beton yang diinginkan.
3. Jenis campuran.
4. Kelecekan (*workability*)
5. Perawatan (*curing*) beton setelah 1 jam dilakukan penghampanan beton. *Curing* adalah suatu proses untuk menjaga tingkat

kelembaban dan temperature ideal untuk mencegah hidrasi yang berlebihan serta menjaga agar hidrasi terjadi secara berkelanjutan.

#### 2.1.4.5 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau disebut juga dengan *modulus young* adalah perbandingan antara tegangan tarik atau tegangan tekan terhadap regangan yang bersangkutan, di bawah batas proporsional dari material. Nilai ini pada perhitungan perencanaan disebut sebagai modulus elastisitas beton. Modulus ini mempunyai asumsi praktis bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dapat dianggap elastisitas (pada keadaan beban dihilangkan bersifat *reversible* penuh) dan regangan lainnya akibat beban dipandang sebagai rangkak.

Modulus elastisitas beton tergantung dari jumlah mortar semen dan agregat serta nilai modulus dari masing-masing bahan pembentuknya. SNI 03-2847-2002 memberikan persamaan untuk menghitung modulus elastisitas beton, yaitu  $E_c = 4700\sqrt{f_c}$  (MPa).

ACI-code merekomendasikan rumus umum untuk menghitung nilai modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) sebagai berikut :

$$E_c = w_c^{1.5} \times 0.043\sqrt{f_c}$$

Dimana :

$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

$w_c$  = Berat isi beton (1440-2480 kg/m<sup>3</sup>)

$f_c$  = Kuat tekan

#### 2.1.5 Beton Mutu Tinggi

Terminologi beton mutu tinggi mencakup pengertian beton dengan kekuatan tinggi dan/atau dengan kepadatan yang tinggi, susut dan rangkak yang kecil, modulus elastisitas yang lebih besar, ketahanan panas yang baik, daktilitas rendah (bersifat getas) serta mempunyai ketegaran retak yang tinggi.

Untuk membedakan beton mutu normal dengan beton mutu tinggi, *ACI Committee 363*, mengatakan bahwa beton dengan karakteristik tekan



6000 psi ( $410 \text{ kg/cm}^2 = 41 \text{ MPa}$ ) atau lebih, dapat dikategorikan sebagai beton mutu tinggi.

Menurut *American Concrete Institute*, untuk memperoleh hasil beton dengan mutu tinggi secara garis besar perlu beberapa hal yang diprasyarkan untuk memenuhi fungsinya sebagai beton cukup kuat untuk menahan beban yang bekerja padanya, sebagai berikut :

1. Meningkatkan kekuatan pasta semen dengan mencari perbandingan air dengan semen yang optimal, dimana semakin rendah *ratio* air semen akan menghasilkan mutu beton yang semakin tinggi.
2. Memakai kualitas agregat yang baik.
3. Meningkatkan daya lekat (*bound strength*) mortar dengan agregat.
4. Menambahkan bahan tambah untuk meningkatkan interface zone.

Sehingga kriteria beton mutu tinggi didapat sebagai berikut :

1. Kuat tekan 6000 psi = 41 Mpa atau lebih.
2. Mempunyai tingkat kepadatan yang tinggi.
3. Penyusutan dan rangkai yang terjadi kecil.
4. Mempunyai ketegaran retak yang tinggi.
5. Daktalitas rendah (bersifat getas).
6. Mempunyai ketahanan yang lebih baik terhadap serangan lingkungan yang agresif.

## 2.2 *SELF COMPACTING CONCRETE (SCC)*

Self-Memadatkan Beton (SCC) pertama kali dikembangkan di Jepang sekitar 10 tahun yang lalu dalam rangka untuk mencapai struktur beton tahan lama. Sejak itu, beberapa penyelidikan telah dilakukan untuk mencapai desain campuran beton yang rasional untuk standar pembuatan beton, yang sebanding dengan beton normal. (*Self Compacting Concrete (SCC) Time Development of the Material Properties and of the Bond Behaviour*)

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pekerjaan konstruksi beton adalah pemadatan atau vibrasi beton. Pemadatan ini bertujuan untuk meminimalkan udara yang terjebak dalam beton segar sehingga

diperoleh beton homogen dan tidak terdapat rongga-rongga di dalam beton (*honey-cob*). Selama ini, proses pemadatan lebih dikenal dengan menggunakan vibrator. Namun proses ini belum mencapai kepadatan secara optimal. Di samping itu, penggunaan alat vibrator pada daerah yang padat bangunan dapat menimbulkan polusi suara yang mengganggu sekitar.

SCC (*Self Compacting Concrete*) merupakan solusi untuk menjawab persoalan diatas karena tidak perlu menggunakan vibrator dalam proses pemadatan. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai SCC.

### 2.2.1 Definisi *Self Compacting Concrete*

SCC (*Self Compacting Concrete*) adalah beton performance tinggi yang dapat mengalami konsolidasi dengan sendirinya (memadat sendiri) tanpa bantuan alat pemadat seperti penggetar atau sejenisnya. Dengan kemampuan berkonsolidasi sendiri SCC juga mampu menjangkau ruang yang banyak tulangnya atau ruang-ruang sempit dan jauh. Homogenitas beton lebih mungkin terjadi pada SCC akibat reduksi faktor pengerjaan casting beton. (Cindika,2008)

Metode pemadatan yang dikembangkan dalam SCC bukan hanya untuk menghasilkan beton yang padat tetapi juga untuk mencegah terjadinya segregasi agregat dan mortar pada saat pasta mengalir dari titik yang banyak tulangan. Untuk mendapatkan kondisi SCC pada campuran beton, agregat harus terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar dan semen menjadi material utama yang akan menahan tegangan. Agregat halus berfungsi mengisi celah-celah yang tidak terisi oleh agregat kasar. Agregat halus akan menyalurkan gaya dalam pula. Agar SCC didapatkan, maka jumlah agregat kasar harus dikurangi bila dibandingkan dengan jumlah agregat kasar pada beton normal. Sebaliknya, jumlah agregat halus pada beton SCC menjadi bertambah.

Penambahan kandungan agregat halus, berfungsi agar beton SCC itu dapat mengalir dengan baik dan karena ukurannya yang kecil maka

agregat halus ini diharapkan akan selalu mengisi ruang-ruang yang kosong selama pengecoran. maka dibutuhkan pula sifat kekentalan beton untuk mendukung pergerakan agregat ini. (Cindika, 2008)

Untuk memperoleh *flowability* SCC maka digunakan perbandingan antara agregat halus dan agregat kasar yang baik, serta pengurangan jumlah air. Namun pengurangan jumlah air menyebabkan *workability*-nya rendah, mengatasi hal itu dapat digunakan *admixtures* yang berfungsi meningkatkan plastisitas pasta beton. Admixtures ini adalah HRWR (High Range Water Reducer).

## 2.2.2 Kriteria *Self Compacting Concrete*

### 2.2.2.1 Pada Beton Segar

1. *Workability* yang tinggi, sehingga beton pada saat dituangkan akan “mengalir” memenuhi semua tempat dalam cetakan dan padat secara mandiri (tanpa penggetaran) serta memberikan kemudahan dalam pengecoran.
2. Kohesivitas dan kemudahan pemompaan ke level yang tinggi (*pumpability*).
3. Panas hidrasi yang rendah (*low heat of hydration*).
4. Susut yang rendah pada proses pengerasan (*low drying shrinkage*).
5. Perlambatan waktu ikat awal (*retardation*) atau percepatan (*acceleration*) sesuai keperluan.
6. Beton homogen dan stabil.

### 2.2.2.2 Pada Beton Keras

1. Kuat tekan yang tinggi bahkan sangat tinggi (*high or very high compressive strength*) bila dirancang dengan kadar air yang rendah.
2. Kuat tarik yang lebih baik (*better tensile strength*)
3. Kuat tekan awal yang tinggi (*high early strength*)
4. Perilaku yang daktail (*ductility*)
5. Kemampuan kedap air yang tinggi.

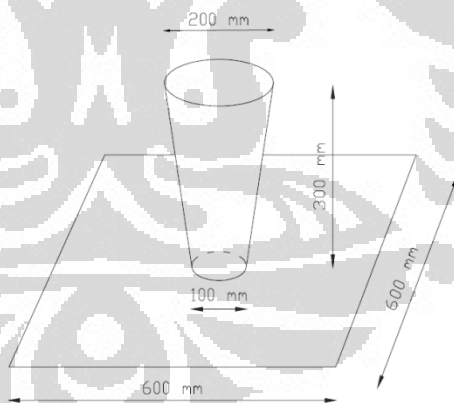
6. Tingkat ketahanan yang tinggi terhadap serangan lingkungan yang agresif (sulfat, karbon, klorida).
7. Keawetan jangka panjang yang lebih baik.
8. Mutu permukaan beton yang baik.

### 2.2.3 Pengujian pada *Self Compacting Concrete*

#### 2.2.3.1 *Workability*

##### 1. *Slump Flow*

Untuk pengujian *workability* (slump flow) digunakan slump cone, berbeda dengan beton konvensional pengujian ini dilakukan secara terbalik. Alat uji *Slump Cone* dapat dilihat pada gambar 2.1. Slump flow dapat mengukur besaran diameter alir beton segar. Nilai slump flow beton SCC bervariasi antara 600-725 mm, sedangkan menurut National Ready Mixed Concrete Association (2004), diameter alir beton segar antara 455-810 mm (18-32 inches). Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai diameter alir beton segar sebesar 50 cm (SF50 atau T50) bervariasi antara 2 – 10 detik.

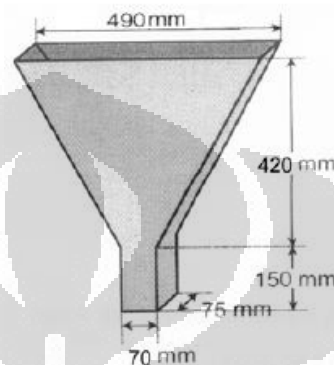


Gambar 2.1 *Slump Cone*

Pengujian *workability* (slump flow), slump cone diangkat perlahan-lahan sehingga beton mulai mengalir. Aliran beton harus bersambung, tidak boleh terputus. Stopwatch mulai dijalankan pada saat beton mulai mengalir dan dihentikan sampai slump flow beton mencapai diameter 50 cm (SF50), kemudian dilakukan pengukuran untuk diameter maksimum yang dicapai (SFmax).

## 2. V-Funnel Test

Alat *V-Funnel* ini digunakan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan representatif untuk pengujian *fillingability* campuran beton. Alat ini dapat dilihat pada gambar 2.2. Syarat *fillingability* yang harus dipenuhi adalah waktu yang diperlukan untuk semua campuran keluar adalah 3-6 detik.



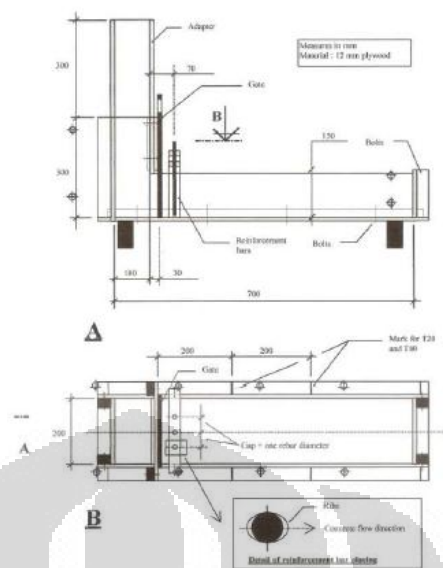
Gambar 2.2 V - Funnel

### 2.2.3.2 Flowability

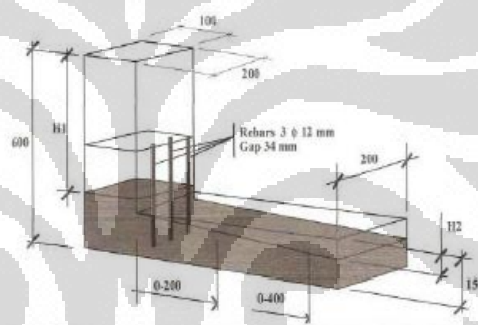
Untuk pengujian *flowability* digunakan L-Shaped Box atau disebut juga Swedish Box, seperti pada gambar 2.3. L-Shaped Box dapat mengukur sifat-sifat yang berbeda dari SCC, seperti *blocking* atau segregasi dan *stability*. Nilai *blocking ratio* dapat dihitung sebagai berikut.

$$\frac{H_2}{H_1} = 0,80 - 0,85 \quad (2.2.3.2.1)$$

Nilai  $H_1$  dan  $H_2$  dapat ditentukan berdasarkan ketinggian aliran beton saat berhenti mengalir, seperti pada gambar 2.4. Perhitungan waktu saat pengujian *flowability* digunakan 3 buah stopwatch. Perhitungan waktu stopwatch dimulai saat gate L-Shaped Box diangkat atau dibuka. Stopwatch pertama, pencatatan waktu dihentikan pada saat aliran beton mencapai garis batas 20 cm (T20), sedangkan untuk stopwatch kedua dan ketiga, pencatatan waktu dihentikan pada saat aliran beton.



Gambar 2.3 L – Shaped Box

Gambar 2.4 Pengukuran  $H_1$  dan  $H_2$  pada L-Shaped Box

## 2.3 SUSUT BETON (SHRINKAGE IN CONCRETE)

Pada waktu proses hidrasi, saat air bercampur dengan semen beton melepaskan panas dan air, dapat diamati dengan naiknya suhu beton tersebut menyebabkan terjadinya susut (*shrinkage*). Susut yang berlebihan dapat menyebabkan retak. Penjelasan lebih lanjut mengenai susut ini akan dijabarkan pada sub-bab berikut.

### 2.3.1 Definisi Susut Pada Beton

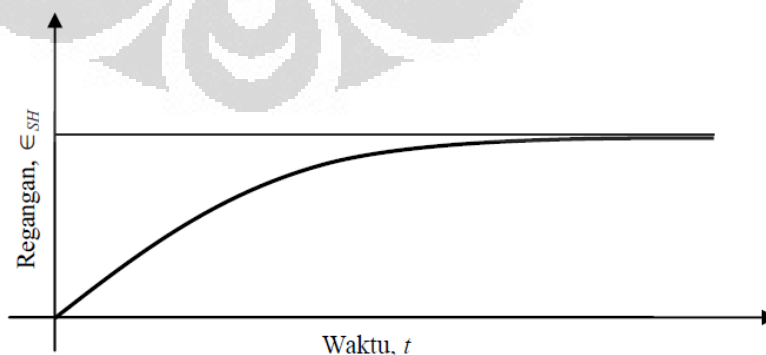
Susut (*shrinkage*) didefinisikan sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Susut (*shrinkage*) adalah sifat beton yang berupa mengecilnya volume beton akibat berkurangnya kandungan

air. Susut pada beton merupakan salah satu akibat dari hilangnya kelembaban beton saat terjadi proses pengerasan. (Phil M. Ferguson)

Panas yang ditimbulkan oleh bermacam-macam tipe semen selama proses pengikatan dan pengerasan sangat bervariasi, yang tentunya mempengaruhi terjadinya susut pada beton. Karena tegangan-tegangan susut dan temperatur sangat penting dalam disain, perubahan volume yang berhubungan dengan perbedaan-perbedaan panas tersebut menjadi hal yang penting.

Penyusutan pada beton akan berakibat terjadi keretakan pada beton yang masih plastis, dan terjadinya retak ini tentu akan mengakibatkan berkurangnya mutu beton yang dihasilkan. Fenomena sebaliknya, yaitu penambahan volume karena penyerapan air, disebut *swelling*. Dengan perkataan lain, susut dan *swelling* menunjukkan adanya perpindahan air ke luar dan ke dalam struktur gel pada beton akibat adanya perbedaan kelembaban atau perbedaan kejenuhan di antara elemen-elemen yang berdekatan. Fenomena ini tidak bergantung pada beban luar.

Susut adalah proses yang tidak reversibel. Jika beton yang sudah benar-benar susut kemudian dijenuhkan dengan air, maka tidak akan tercapai volume asalnya. gambar 2.5 menunjukkan penambahan regangan susut  $\epsilon_{sh}$  terhadap waktu. Laju perubahannya berkurang terhadap waktu karena beton yang semakin berumur akan semakin tahan tegangan dan semakin sedikit mengalami susut. Dengan demikian kurva ini asimtotis untuk  $t$  yang semakin besar.



Gambar 2.5 Kurva Susut-Waktu

(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G. Nawy)

Menurut *Phil M. Ferguson* susut pada beton terjadi karena beton kehilangan kelembabannya karena penguapan. Karena kelembaban tidak pernah meninggalkan beton seluruhnya secara uniform, perbedaan-perbedaan kelembaban mengakibatkan terjadinya tegangan-tegangan internal dan susut yang berbeda. Tegangan-tegangan yang disebabkan oleh perbedaan susut dapat cukup besar dan ini merupakan salah satu alasan perlunya kondisi-kondisi perawatan perkerasan yang basah. Makin besar perbandingan luas permukaan terhadap penampang bagian konstruksi, susut yang terjadi akan makin besar. Oleh sebab itu, susut pada bahan-bahan percobaan yang besar jauh lebih kecil dari bahan-bahan percobaan yang kecil.

Dalam beton biasa, besarnya susut akan bergantung kepada keterbukaan dan beton itu sendiri. Keterbukaan terhadap angin sangat memperbesar kecepatan susut. Susut biasanya dinyatakan dengan koefisien susut  $s$ , yang merupakan pemendekan per satuan panjang. Koefisien ini sangat bervariasi, pada umumnya berkisar antara 0,0002 sampai 0,0006 dan kadang-kadang sebesar 0,0010.

### **2.3.2 Jenis Susut Pada Beton**

Menurut Edward G. Nawi susut beton pada dasarnya dibedakan menjadi dua jenis yaitu: susut plastis dan susut pengeringan.

#### **2.3.2.1 Susut plastis**

Susut plastis terjadi beberapa jam setelah beton segar dicor ke dalam acuan. Permukaan yang diekspos seperti pelat lantai akan lebih mudah dipengaruhi oleh udara kering karena adanya bidang kontak yang luas. Dalam hal demikian terjadi penguapan yang lebih cepat melalui permukaan beton dibandingkan dengan pergantian oleh air dari lapisan beton yang lebih bawah. (Edward G. Nawi)

Pada saat semen berada pada kondisi plastis, terjadi kontraksi penyusutan volumetrik yang mana skalanya sekitar 1% lebih besar dari volume kering semen sebenarnya. Kontraksi ini dikenal sebagai susut



plastis, karena proses ini terjadi saat beton masih berada pada fase plastis. (Neville, 1981)

#### 2.3.2.2 Susut pengeringan

Susut pengeringan terjadi setelah beton mencapai bentuk akhirnya dan proses hidrasi pasta semen telah selesai. Susut pengeringan adalah berkurangnya volume elemen beton jika terjadi kehilangan uap air karena penguapan. Susut adalah proses yang tidak reversible. Jika beton yang sudah mengalami susut kemudian dijenuhkan dengan air, maka tidak akan mencapai volume asalnya. (Edward G. Nawi)

Air bebas pada saat pertama pencampurann, menyebabkan sedikit banyak terjadinya susut beton. Pada saat pengeringan berlangsung, penguapan terus berjalan dan perubahan volume pasta semen tidak ditahan. Pada saat itulah terjadi kehilangan air sekitar 1%, maka perubahan dimensi (ukuran) pasta semen dalam waktu pengerasan mencapai minimal  $4 \times 10^{-6}$  mm sampai  $10 \times 10^{-6}$  mm. (Mardiah, 2010)

#### 2.3.3 Faktor Yang Mempengaruhi Susut

Faktor utama penentu besarnya susut adalah kandungan air dalam adukan beton, berikut adalah beberapa faktor-faktor lain yang mempengaruhi besarnya susut (Nawy, Edward.G., 1990) :

##### 1. Agregat.

Agregat beraksi menahan susut pasta semen. Beton dengan modulus elastisitas tinggi atau dengan permukaan kasar lebih dapat menahan proses susut. Pada tabel 2.3 dapat dilihat semakin besar ukuran agregat, semakin kecil nilai penyusutan untuk nilai slump yang sama, sedangkan besar penyusutan terhadap nilai slump adalah semakin besar nilai slump maka penyusutan yang terjadi semakin besar.

Tabel 2.3 *Nilai penyusutan untuk berbagai kekentalan beton*

Ukuran Agregat (inci)	Slump (cm)	Penyusutan per Unit Panjang
$\frac{3}{4}$	5	0,00063

	10	0,00071
	15	0,00079
1½	5	0,00044
	10	0,00050
2	15	0,00056
	5	0,00037
	10	0,00041
	15	0,00045

(Sumber : Syafei Amri, Teknologi Beton A-Z,2005)

Berikut adalah tabel mengenai pengaruh dari tipe agregat terhadap susut beton.

Tabel 2.4 *Pengaruh Tipe Agregat Terhadap Susut Beton*

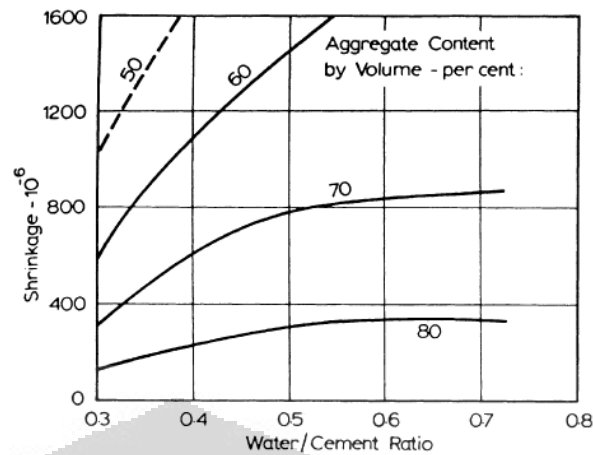
Aggregate	Specific gravity	Absorption	1-year shrinkage, %
Sandstone	2.47	5.0	0.116
Slate	2.75	1.3	0.068
Granite	2.67	0.8	0.047
Limestone	2.74	0.2	0.041
Quartz	2.66	0.3	0.032

(Sumber : Carlson,1938)

Dapat dilihat bahwa modulus elastisitas kecil, maka tingkat absorpsi pada agregat semakin besar, sehingga susut yang terjadi semakin besar pula.

## 2. *Rasio air/semen.*

Semakin tinggi rasio air/semen, semakin tinggi pula efek susut. Pada Gambar 2.2 di bawah ini dapat dilihat hubungan antara kandungan agregat dan rasio air/semen terhadap susut.



Gambar 2.6 Hubungan Kandungan Agregat dan Rasio Air-Semen Terhadap Susut (Odman 1968)

(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G. Nawy)

Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa semakin tinggi air-semen maka semakin tinggi susut yang dihasilkan dan semakin besar kandungan agregat yang dimiliki beton, maka semakin kecil susut yang dialami

3. *Ukuran elemen beton.*

Baik laju maupun besar total susut berkurang apabila volume elemen beton semakin besar. Namun, durasi susut akan lebih lama untuk komponen struktur yang lebih besar karena lebih banyak waktu yang dibutuhkan dalam pengeringan untuk mencapai daerah dalam.

4. *Kondisi kelembaban di sekitar.*

Kelembaban relatif pada lingkungan sekitar sangat mempengaruhi besarnya susut, laju perubahan susut semakin kecil pada lingkungan dengan kelembaban relatif yang tinggi. Temperatur di sekeliling juga merupakan faktor yang menentukan, yaitu susut akan tertahan pada temperatur rendah.

5. *Banyaknya penulangan.*

Beton bertulang menyusut lebih sedikit dibandingkan dengan beton polos. Perbedaan relatifnya merupakan fungsi dari persentase tulangan.

#### 6. *Bahan tambahan.*

Efek ini bervariasi bergantung pada jenis bahan tambahan. Akselerator seperti kalsium klorida digunakan untuk mempercepat proses pengerasan beton dan memperbesar susut. *Pozzolan* juga dapat menambah susut, sedangkan bahan tambahan *Super plasticizers*, *Plasticity retarding agent*, *Retarder* adalah bahan tambahan yang dapat meningkatkan *workability* campuran beton dan dapat mengurangi pemakaian air serta penundaan panas hidrasi sehingga dapat memperkecil susut pada beton.

#### 7. *Jenis semen.*

Semen yang cepat mengering akan susut lebih banyak dibandingkan jenis-jenis lainnya. Sangat perlu diperhatikan penggunaan semen yang mengandung kadar  $C_3A$  yang terlalu tinggi. Jumlah  $C_3A$  di dalam semen harus dibatasi, agar hidrasi dari semen dapat diperlambat. Begitu juga pembentukan panasnya (*heat generation*). Penggilingan semen yang terlalu halus (3500 Blaine) juga harus dihindari. Pada dasarnya adalah sangat beralasan bila jumlah semen dalam  $1m^3$  beton dibatasi. Jumlah semen harus dibuat minimum dengan menggunakan 'admixture' dan atau abu-terbang. Sebaliknya makin besar kandungan Gypsum ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) dalam semen, akan menghasilkan *setting time* yang makin panjang. (Gusti Sudika, 2010)

#### 8. *Karbonasi.*

Susut karbonasi disebabkan oleh reaksi antar karbon dioksida ( $CO_2$ ) yang ada di atmosfer dan yang ada di pasta semen. Banyaknya susut gabungan bergantung pada urutan proses karbonisasi dan pengeringan. Apabila kedua fenomena tersebut terjadi secara simultan, maka susut yang terjadi akan lebih sedikit. Proses karbonisasi dapat sangat tereduksi pada kelembaban relatif di bawah 50 persen.

### 2.3.4 Perhitungan Regangan Susut

Perhitungan susut dilakukan pada kondisi standar dan non-standar, yaitu sebagai berikut :

#### 2.3.4.1 Perhitungan Regangan Susut Pada Kondisi Standar

Besarnya regangan susut dapat diprediksi dengan menggunakan rumusan seperti berikut :

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t^\beta}{b+t^\beta} (\epsilon_{SH})_u \quad (2.3.4.1.1)$$

Dengan :

$(\epsilon_{SH})_t$  = regangan susut pada saat t

$(\epsilon_{SH})_u$  = regangan ultimit susut

t = waktu (hari)

b = konstanta

$\beta$  = konstanta

Tabel 2.5 Kondisi Standar Untuk Faktor Rangkak dan Susut

Parameter	Factors	Variable Considered	Standard Conditions	
Concrete (creep and shrinkage)	Concrete composition	Cement paste content	Type of cement	Type I and Type III
		Water/cement ratio	Slump	2.7 in. (70 mm)
		Mixture proportions	Air content	≤6%
		Aggregate characteristics	Fine aggregate percentage	50%
		Degree of compaction	Cement content	470 to 752 lb/yd <sup>3</sup> (279 to 446 kg/m <sup>3</sup> )
	Initial curing	Length of initial curing	Moist-cured	7 days
		Curing temperature	Steam cured	1-3 days
			Moist-cured	73.4 ± 4°F (23 ± 2°C)
			Steam-cured	≤212°F (≤100°C)
			Curing humidity	Relative humidity
Member geometry and environment (creep and shrinkage)	Environment	Concrete temperature	73.4 ± 4°F (23 ± 2°C)	
		Concrete water content	Ambient relative humidity	40%
	Geometry	Size and shape	Volume/surface ratio (V/S)	V/S = 1.5 in. (38 mm)
		Minimum thickness		6 in. (150 mm)
Loading (only creep)	Loading history	Concrete age at load	Moist-cured	7 days
		Application	Steam-cured	1-3 days
		Duration	Sustained load	Sustained load
		Duration of unloading period	—	—
		Number of unloading cycles	—	—
	Stress conditions	Type of stress and distribution across the section	Compressive stress	Axial compression
		Stress/strength ratio	Stress/strength ratio	≤0.50

(Sumber : ACI Committee 209, Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures, ACI 209R-92, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1992, pp. 1-47.)

Nilai regangan ultimit susut pada kondisi standar dapat ditentukan berdasarkan tabel 2.5 yang besarnya berkisar antara  $(\epsilon_{SH})_u = 415 \times 10^{-6}$  sampai dengan  $1070 \times 10^{-6}$  (mm/mm). Sedangkan rata-rata nilai regangan ultimate susut yang direkomendasikan oleh ACI Committee 209 (1992) adalah :

Untuk perawatan yang direndam selama 7 hari

$$(\epsilon_{SH})_u = 800 \times 10^{-6} \quad (\text{mm/mm})$$

Untuk perawatan yang dialiri selama 1 – 3 hari

$$(\epsilon_{SH})_u = 730 \times 10^{-6} \quad (\text{mm/mm})$$

Pada umumnya rata-rata regangan susut ultimit pada kondisi standar dari kedua perlakuan perawatan beton yang direndam dan dialiri dapat digunakan akurasi nilai sebesar :

$$(\epsilon_{SH})_u = 780 \times 10^{-6} \quad (\text{mm/mm})$$

Untuk beton dengan berat normal, beton pasir ringan, dan semua beton ringan dalam kondisi standar, ACI Committee 209 merekomendasikan besarnya konstanta b pada persamaan (2.1) yaitu :

- a.  $b = 35$ , untuk perawatan yang direndam (*moist-cured*) selama 7 hari
  - b.  $b = 55$ , untuk perawatan yang dialiri (*steam-cured*) selama 1 – 3 hari
- sehingga prediksi regangan susut menjadi

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{SH})_u \quad (2.3.4.1.2)$$

untuk perawatan yang direndam (*moist-cured*) selama 7 hari, dan

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{SH})_u \quad (2.3.4.1.3)$$

untuk perawatan yang dialiri (*steam-cured*) selama 1 – 3 hari

#### 2.3.4.2 Perhitungan Regangan Susut Pada Kondisi Non-Standar

Perhitungan regangan ultimit susut untuk kondisi non-standar perlu dilakukan koreksi dengan mengalikan besarnya regangan ultimit susut pada kondisi standar dengan faktor koreksi ( $\gamma_{SH}$ ) yang besarnya tergantung pada komponen struktur susut, sehingga regangan ultimit susut pada kondisi non-standar menjadi :

$$(\epsilon_{SH})_{u,n} = 780 \times 10^{-6} \times \gamma_{SH} \quad (\text{mm/mm})$$

atau

$$(\epsilon_{SH})_{u,n} = (\epsilon_{SH})_u \times \gamma_{SH} \quad (\text{mm/mm})$$

di mana :

$(\epsilon_{SH})_{u,n}$  = rata-rata regangan ultimit susut pada kondisi non-standar

Dengan demikian, regangan susut pada kondisi non-standar juga dapat diperoleh dengan mengalikan regangan susut pada kondisi standar dengan faktor koreksi  $\gamma_{SH}$ .

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{SH})_u \gamma_{SH} \quad (2.3.4.2.1)$$

dan

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{SH})_u \gamma_{SH} \quad (2.3.4.2.2)$$

Faktor koreksi  $\gamma_{SH}$  memiliki komponen yang menunjukkan kondisi yang berbeda, yaitu

$$\gamma_{SH} = K_H^S K_d^S K_s^S K_F^S K_B^S K_{AC}^S \quad (2.3.4.2.3)$$

di mana :

$\gamma_{SH} = 1$ , untuk kondisi standar

$K_H^S$  = faktor kelembaban relatif

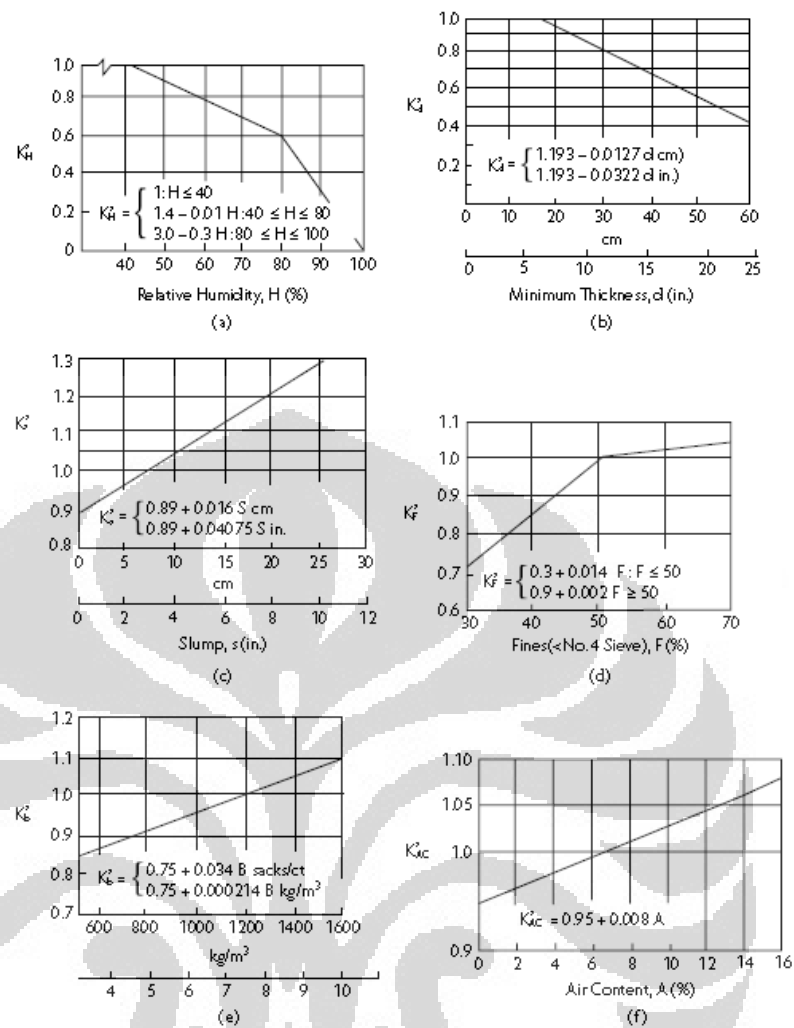
$K_d^S$  = faktor tebal minimum penampang

$K_s^S$  = faktor kekentalan beton

$K_F^S$  = faktor kandungan agregat halus

$K_B^S$  = faktor kandungan semen

$K_{AC}^S$  = faktor kandungan udara



Gambar 2.7 Faktor Koreksi Susut Kondisi Non-Standard  
(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G. Nawy)

### 2.3.5 Penelitian Mengenai Susut

- a. Studi perilaku susut pada beton daur ulang, oleh Heidi Duma 2008.

Pada penelitian didapatkan bahwa semakin banyak material halus dan pasta semen yang melekat pada beton daur ulang maka susut yang terjadi semakin besar. Serta didapatkan bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang dengan persentase 25 % lebih baik dari pada penggunaan agregat halus daur ulang dengan persentase 25 % untuk pengujian perubahan panjang (susut).



- b. Karakteristik susut beton dengan *Portland Composite Cement*, oleh Arif Yuris 2008.

Perubahan susut dipengaruhi oleh perubahan suhu ruangan dan kelembaban akibat perubahan cuaca, yang terkadang cerah dan dapat berubah hujan. Penggunaan *fly ash* yang halus dan memiliki bentuk partikel bulat mampu meningkatkan kohesi dan *workability* beton, selain itu juga memperlambat *setting time* dan boleh mereduksi penggunaan air, seharusnya mampu mengurangi susut yang terjadi. Akan tetapi, jika dilihat dari hasil yang ada penggunaan PCC tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai susut beton dibanding beton normal.

- c. Penggunaan *fly ash* dan *viscocrete* pada *Self Compacting Concrete*, oleh Handoko Sugiharto dan Gideon Hadi Kusuma 2001.

Untuk penggunaan *viscocrete* dalam SCC merupakan hal yang mutlak harus diberikan. Tanpa diberikan *viscocrete*, *trial mix* tidak akan dapat mengalami keadaan *self compactibility*, meskipun *trial mix* dibuat mendekati beton sangat cair tetapi tetap tidak dapat memenuhi syarat *flowability* dan *workability*. Penggunaan *viscocrete* 1,5% dan 2% tidak menunjukkan perbedaan-perbedaan yang signifikan.

- d. Kompatibilitas susut antara material perbaikan dan beton, oleh SA Kristiawan.

Kompatibilitas susut antara material perbaikan dengan beton tidak bisa semata-mata ditentukan dengan pembatasan besaran susut maksimum. Evaluasi kompatibilitas susut lebih tepat didekati dengan cara merelasikan sifat susut dengan kinerjanya di lapangan. Dalam aplikasinya untuk mengevaluasi kompatibilitas susut, metode yang diusulkan hanya memerlukan data susut bebas yang diperoleh dari pengujian pada benda uji nonkomposit serta data total deformasi yang diperoleh dari pengujian pada benda uji komposit.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

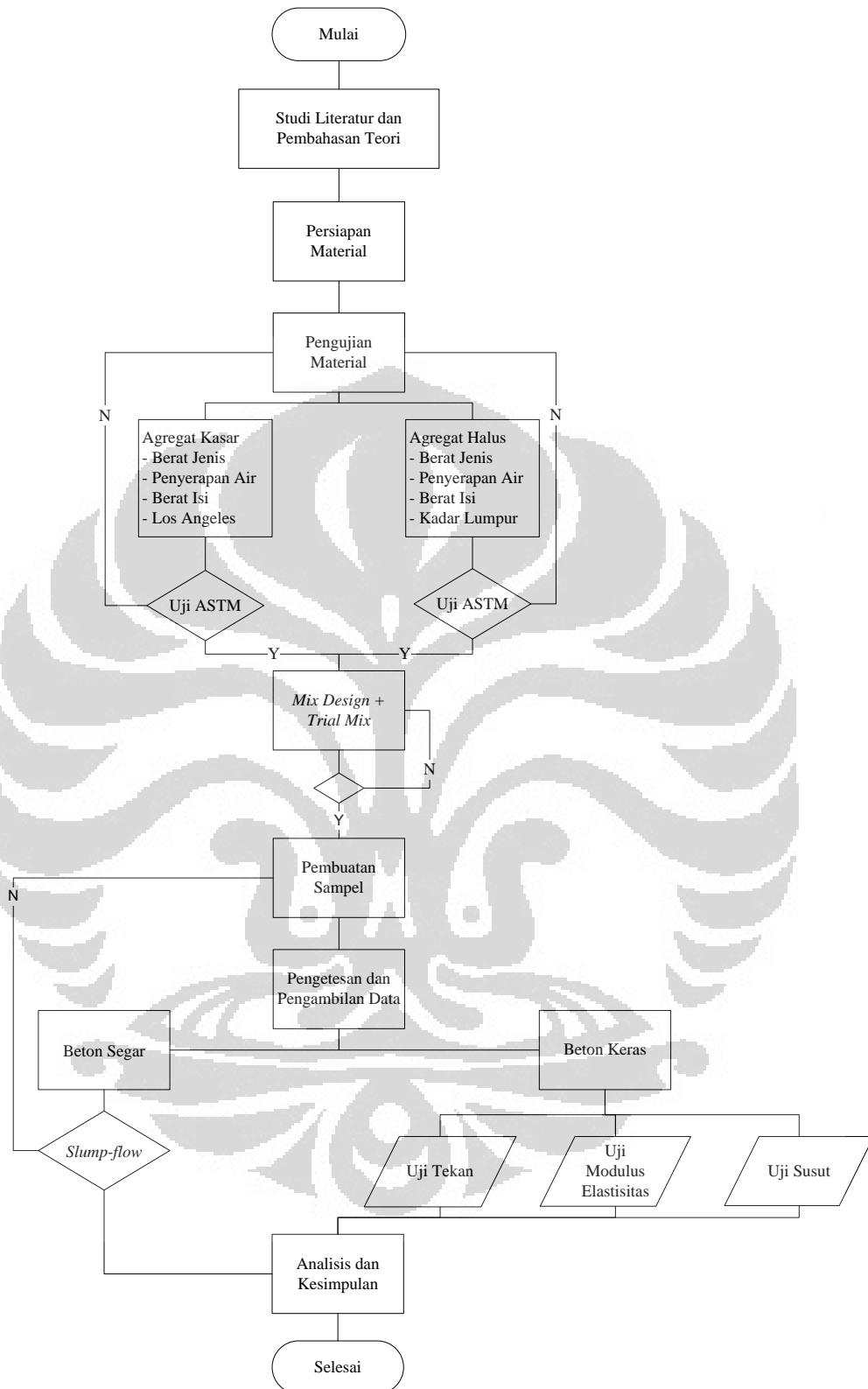
### 3.1 RENCANA PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai gambaran pelaksanaan penelitian secara terstruktur beserta penjelasannya dan jadwal kegiatan yang dilakukan, sampai pada analisis data hasil praktikum.

Penelitian akan dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu studi literatur, pelaksanaan pengujian di laboratorium, pengambilan data praktikum serta analisis data hasil praktikum. Penelitian di laboratorium akan didasarkan pada hasil karakteristik beton yang telah di desain dengan menggunakan semen OPC. Beton yang diuji yaitu beton berkinerja tinggi (*High Performance Concrete*) dengan kekuatan beton sebesar 60 MPa. Karakteristik utama yang diperhatikan pada penelitian ini adalah susut pada beton arah vertikal.

Secara garis besar penelitian ini melingkupi proses kegiatan sebagai berikut :

- a. menyiapkan material beton seperti semen, agregat, dan air.
- b. memeriksa properties dari material-material tersebut.
- c. merencanakan komposisi material dalam campuran beton.
- d. membuat benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan balok susut (15 cm × 15 cm × 60 cm).
- e. melakukan proses perawatan (curing).
- f. melakukan uji kuat tekan pada benda uji, uji modulus elastisitas pada beton dan pengamatan susut selama 60 hari.
- g. mengolah dan menganalisis data hasil percobaan.
- h. mengambil kesimpulan dari hasil percobaan tersebut



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 3.2 PENJELASAN PENELITIAN

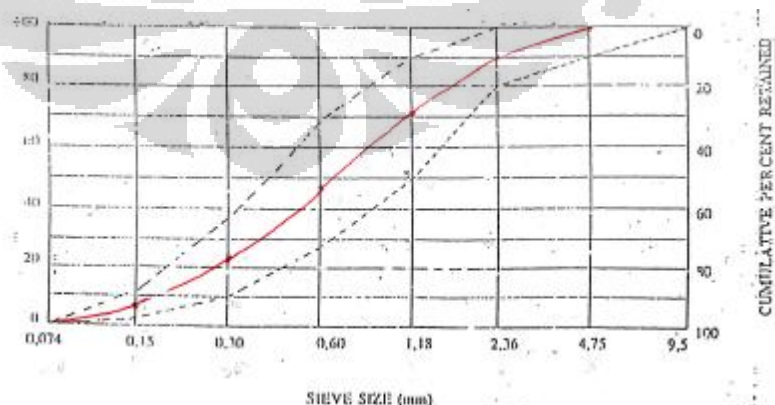
### 3.2.1 Studi Literatur

Pada tahapan ini dilakukan kajian mengenai teori beton, *Self Compacting Concrete*, susut pada beton, dan metode pengujian yang dilakukan.

### 3.2.2 Uji Material

Pada uji ini standar tes yang digunakan adalah ASTM. Uji ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat material bahan yang digunakan dan untuk mendapatkan data guna menentukan proporsi campuran beton (mix design). Material yang diuji adalah agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Uji material beton dilakukan di laboratorium struktur dan material Departemen Sipil FTUI.

Pada agregat halus, pengujian yang dilakukan meliputi analisis berat jenis (*specific gravity*) dan absorpsi untuk menentukan *bulk*, *apparent specific-gravity* dan absorpsi pasir; analisis saringan (*sieve analysis*) tidak dilakukan, dikarenakan penulis menggunakan pasir yang telah dikelompokkan berdasarkan analisis saringan. Gradasi pasir yang digunakan yaitu gradasi yang terletak di tengah-tengah grafik standar gradasi, dapat dilihat pada gambar 3.2. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan beton mutu tinggi dengan hasil maksimal. Selain itu, juga dilakukan pengujian kadar lumpur dan kadar organik pada agregat halus.



Gambar 3.2 Standard Gradation

Untuk uji agregat kasar dilakukan penentuan terhadap berat jenis (specific gravity) dan absorpsi dari kerikil dengan tujuan yang sama dengan uji terhadap agregat halus. Selain itu juga dilakukan uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles.

### 3.3 BAHAN PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) Tiga Roda produksi PT. Indocement Tbk.
2. Agregat halus berupa pasir sungai yang didatangkan dari sungai Liat Bangka, Sumatra. Dimana pasir telah disaring dan dibersihkan dengan menggunakan campuran yang didapat dari pertengahan grafik standar gradasi.
3. Agregat kasar berupa pecahan batu gunung di Banten, Jawa Barat. Komposisi agregat kasar yang digunakan yaitu 70 % ukuran saringan 13-19 mm dan 30 % ukuran saringan 6-12 mm.
4. Bahan tambah yang digunakan yaitu :
  - a. *Sika fume* yang diproduksi oleh PT Sika Indonesia
  - b. Viscocrete10 dengan dosis 1-2% (dosis maksimal untuk beton SCC)

### 3.4 PROSEDUR PENELITIAN

#### 3.4.1 Pengujian Agregat Kasar

##### 3.4.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini berdasarkan standar ASTM C 127 - 88.

##### 1. Tujuan :

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menurut ASTM C 127 guna menentukan volume agregat dalam beton.

##### 2. Peralatan :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,5 gram, kapasitas minimum 5 kg.
2. Panjang besi 8 in dan tinggi 2.5 in

3. Alat penggantung keranjang
4. Oven
5. Handuk
3. Bahan :
 

10000 g (2 x 5000 g) agregat (SSD) diperoleh dari alat pemisah contoh atau alat perempatan. Bahan benda uji lewat saringan No.4 dibuang.
4. Prosedur :
  - a. Benda uji direndam 24 jam.
  - b. Benda uji digulung dengan handuk, sehingga air permukaannya habis, tetapi harus masih tampak lembab (kondisi SSD), setelah itu ditimbang.
  - c. Benda uji dimasukkan ke keranjang dan direndam kembali dalam air. Temperatur air ( $23 \pm 3$ ) °C dan ditimbang sebelum container diisi benda uji, digoyang-goyang dalam air untuk melepaskan udara yang terperangkap.
  - d. Benda uji dimasukkan ke dalam oven dengan suhu ( $110 \pm 5$ )°C. Setelah mengalami oven dry dikeluarkan dari oven dan ditimbang.
5. Perhitungan :
  1. Berat jenis curah (Bulk SG)  $= \frac{A}{B-C}$
  2. Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)  $= \frac{B}{B-C}$
  3. Berat jenis semu (Apparent SG)  $= \frac{A}{A-C}$
  4. Penyerapan (Absorpsi)  $= \frac{B-A}{A} \times 100\%$

Keterangan :

A = Berat (gram) dari benda uji oven-dry di udara

B = Berat (gram) dari benda uji pada kondisi SSD

C = Berat (gram) dari benda uji pada kondisi jenuh

#### 3.4.1.2 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Pengujian ini berdasarkan ASTM C 29/29M - 97.

## 1. Tujuan :

Pemeriksaan ini dimaksud untuk menentukan berat isi agregat kasar. Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi.

## 2. Peralatan :

1. Timbangan dengan ketelitian 0.1 % berat contoh
2. Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat
3. Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat
4. Mistar perata (straight edge)
5. Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang.

## 3. Bahan :

Masukkan contoh agregat ke dalam talam sekurang-kurangnya sebanyak kapasitas wadah. Keringkan dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap.

## 4. Prosedur :

## a. Berat isi lepas

- ✓ Timbang dan catat berat wadah ( $w_1$ )
- ✓ Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 cm di atas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh
- ✓ Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
- ✓ Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji ( $w_2$ )
- ✓ Hitunglah berat benda uji ( $w_3 = w_2 - w_1$ )

b. Berat isi padat agregat ukuran butir maksimum 36.1 mm ( $1\frac{1}{2}$ "") dengan cara penusukkan

- ✓ Timbanglah dan catat berat wadah ( $w_1$ )
- ✓ Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada pemadatan tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan.

- ✓ Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
  - ✓ Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji ( $w_2$ )
  - ✓ Hitunglah berat benda uji ( $w_3 = w_2 - w_1$ )
- c. Berat isi pada agregat ukuran butir antara 38,1 mm ( $1\frac{1}{2}$ "") sampai 101,8 mm (4") dengan cara penggoyangan
- ✓ Timbanglah dan catat berat wadah ( $w_1$ )
  - ✓ Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal
  - ✓ Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah
  - ✓ Letakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan
  - ✓ Ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi
  - ✓ Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
  - ✓ Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji ( $w_2$ )
  - ✓ Hitunglah berat benda uji ( $w_3 = w_2 - w_1$ ).

5. Perhitungan :

a. Berat isi agregat  $= B = \frac{w_3}{V} \text{ kg/dm}^3$

b. Rongga udara  $= \frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$

Keterangan :

V = Isi wadah ( $\text{dm}^3$ )

A = Bulk specific gravity agregat ( $\text{kg/dm}^3$ )

B = Berat isi agregat ( $\text{kg/dm}^3$ )

W = Berat isi air ( $\text{kg/dm}^3$ )

### 3.4.2 Pengujian Agregat Halus

#### 3.4.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini berdasarkan standar ASTM C 128 – 93

#### 4. Tujuan :



Pemeriksaan ini menentukan *bulk* dan *specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menurut ASTM C 128, guna menentukan volume agregat dalam beton.

5. Peralatan :

5. Neraca timbangan dengan kepekaan 0,1 gram dan kapasitas maksimum 1 kg.
6. Piknometer kapasitas 500 gram
7. Cetakan kerucut pasir.
8. Tongkat pemadat (tamper) dari logam untuk cetakan kerucut pasir.
9. Oven, dengan ukuran yang mencukupi dan dapat mempertahankan suhu  $[110 \pm 5]^{\circ}\text{C}$ .

6. Bahan :

Seribu gram agregat halus, diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat.

7. Prosedur :

- a. Agregat halus dibuat jenuh air dengan cara merendam selama satu hari, kemudian dikeringkan (kering udara) sampai didapat keadaan kering merata. Agregat halus disebut kering merata jika telah dapat tercurah (*free flowing condition*).
- b. Pengujiannya dilakukan dengan memasukkan sebagian benda uji pada *metal sand cone mold*. Kemudian benda uji dipadatkan dengan tongkat pemadat sampai 25 kali tumbukan. Kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) diperoleh jika ketika cetakan diangkat, agregat halus runtuh atau longsor.
- c. Lima ratus gram agregat halus dalam kondisi SSD dimasukkan kedalam piknometer, kemudian ditambahkan air sampai 90% kapasitas piknometer.
- d. Gelembung-gelembung udara dihilangkan dengan cara menggoyang-goyangkan piknometer.

- e. Rendam dengan air dengan temperatur air  $[23 \pm 3]^{\circ}\text{C}$  selama paling sedikit satu hari. Kemudian tentukan berat piknometer, benda uji, dan air.
  - f. Pisahkan benda uji dari piknometer dan dikeringkan pada temperatur  $[100 - 110]^{\circ}\text{C}$  selama satu hari.
  - g. Tentukan berat piknometer berisi air sesuai kapasitas kalibrasi pada temperatur  $[23 \pm 3]^{\circ}\text{C}$  dengan ketelitian 0,1 gram.
8. Perhitungan :

- a. Berat jenis curah [*bulk specific gravity*]  $= \frac{A}{B+500-C}$
- b. Berat jenis jenuh kering permukaan [SSD]  $= \frac{500}{B+500-C}$
- c. Berat jenis semu [*apparent speific gravity*]  $= \frac{A}{B+A-C}$
- d. Penyerapan [absorpsi]  $= \frac{500-A}{A} \times 100\%$

Keterangan :

A = berat (gram) dari uji *oven dry*

B = berat (gram) dari piknometer berisi air

C = berat (gram) dari piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi

#### 3.4.2.2 Pengujian Berat Isi Agregat

Pengujian ini berdasarkan ASTM C 29/29M – 97.

1. Tujuan :  
Pemeriksaan ini dimaksud untuk menentukan berat isi agregat halus (pasir). Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi.
2. Peralatan :
  - a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh.
  - b. Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat.
  - c. Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 mm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat.
  - d. Mistar perata (*straight edge*).

e. Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang, berkapasitas  $2 \text{ dm}^3$ .

3. Bahan :

Masukan contoh agregat halus (pasir) kedalam talam sekurang-kurangnya sebanyak kapasitas wadah yaitu  $2 \text{ dm}^3$  ; keringkan dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  sampai berat tetap.

4. Prosedur :

a. Berat isi lepas agregat halus

- ✓ Timbang dan catatlah berat wadah ( $w_1$ ).
- ✓ Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 cm diatas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh.
- ✓ Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
- ✓ Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji ( $w_2$ ).
- ✓ Hitunglah berat benda uji ( $w_3 = w_2 - w_1$ ).

b. Berat isi padat agregat halus dengan cara penusukan

- ✓ Timbang dan catatlah berat wadah ( $w_1$ ).
- ✓ Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada pemadatan tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan.
- ✓ Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
- ✓ Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji ( $w_2$ ).
- ✓ Hitunglah berat benda uji ( $w_3 = w_2 - w_1$ ).

c. Berat isi padat agregat halus dengan cara penggoyangan

- ✓ Timbang dan catatlah berat wadah ( $w_1$ ).
- ✓ Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal.
- ✓ Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut:

- a. Letakan wadah diatas tempat kokoh dan datar, angkatlah salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan.
  - b. Ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi.
- ✓ Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
  - ✓ Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (  $w_2$  ).
  - ✓ Hitunglah berat benda uji (  $w_3 = w_2 - w_1$  ).
5. Perhitungan :

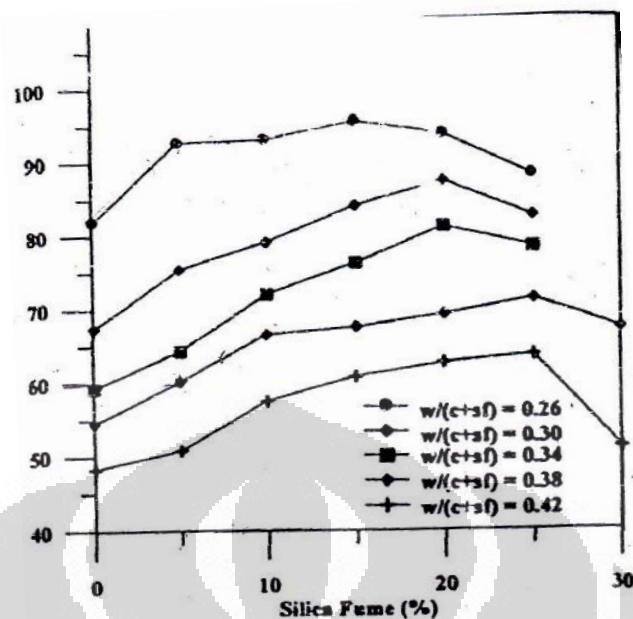
$$\text{Berat isi agregat} = \frac{W_3}{V} \quad \text{kg/dm}^3$$

Keterangan :  $V = \text{Isi wadah} = 2 \text{ dm}^3$

### 3.4.3 RANCANG CAMPUR (*MIX DESIGN*) BETON DENGAN METODE ACI

Rancang campur beton pada penelitian ini mengacu kepada ACI 211.4R, jurnal-jurnal mengenai penggunaan admixture, serta SCC Euro Code 2. Prosedur perhitungan campuran beton yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengujian material penyusun beton  
Pengujian material penyusun ditujukan untuk mendapatkan data-data yang akan dipakai pada perhitungan rancang campur beton.
2. Menetapkan komposisi semen dan *silica fume*
  1. Komposisi semen  
Pada penelitian ini komposisi semen ditetapkan sebesar 500 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah semen yang digunakan, maka panas hidrasi akan semakin tinggi dan dapat menyebabkan susut yang tinggi pula. (Nawy.G)
  2. Komposisi silicafume  
*Silica fume* ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara kuat tekan dan persentase *silica fume* berikut ini.



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Kuat Tarik beton terhadap Persentase Silica fume  
(Sumber : Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash, ACI Journal Materials)

Pada penelitian ini penulis mengambil garis paling atas, dimana dikarenakan kekuatan beton paling tinggi dengan  $w/(c+sf) = 0,26$ . Pada penelitian ini mengambil persentase *silica fume* 5 – 10 % pada garis lurus mendatar, dikarenakan saat terjadi kekurangan maupun kelebihan dari kadar *silica fume* tidak akan mengurangi mutu beton. Maka diambil persentase *silica fume* sebesar 8 % dari semen yang digunakan, yaitu sebanyak  $8 \text{ kg/m}^3$ .

3. Menentukan jumlah viscocrete10.

Viscocrete di tentukan dengan mengambil 1,4 % dari jumlah *cementitius*.

4. Menentukan nilai  $w/(c+p)$ .

Nilai  $w/(c+p)$  didapat dari tabel 3.2 dengan menggunakan data ukuran maksimum agregat dan kuat tekan rencana.

Tabel 3.1 Rekomendasi Maksimum Rasio  $w/(c+p)$  untuk Beton yang Menggunakan HRWR

Field strength $f'_c$ , psi		$w/(c+p)$			
		Maximum-size coarse aggregate, in.			
		$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1
7000	28-day	0.50	0.48	0.45	0.43
	56-day	0.55	0.52	0.48	0.46
8000	28-day	0.44	0.42	0.40	0.38
	56-day	0.48	0.45	0.42	0.40
9000	28-day	0.38	0.36	0.35	0.34
	56-day	0.42	0.39	0.37	0.36
10,000	28-day	0.33	0.32	0.31	0.30
	56-day	0.37	0.35	0.33	0.32
11,000	28-day	0.30	0.29	0.27	0.27
	56-day	0.33	0.31	0.29	0.29
12,000	28-day	0.27	0.26	0.25	0.25
	56-day	0.30	0.28	0.27	0.26

\* $f'_{cr} = f'_c + 1400$ .

Note: A comparison of the values contained in Tables 4.3.5(a) and 4.3.5(b) permits, in particular, the following conclusions:

1. For a given water cementitious material ratio, the field strength of concrete is greater with the use of HRWR than without it, and this greater strength is reached within a shorter period of time.
2. With the use of HRWR, a given concrete field strength can be achieved in a given period of time using less cementitious material than would be required when not using HRWR.

(Sumber : *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*, ACI Journal Materials)

5. Menentukan komposisi air.

Setelah didapat  $w/(c+p)$  dan dengan data  $(c+p)$  yang telah ada sebelumnya, maka didapatkan nilai  $w$  (berat air per  $m^3$ ).

6. Menentukan rongga udara di dalam agregat halus.

Berdasarkan jurnal *Guide for Selecting Proportion for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*, rongga udara dalam agregat halus diperoleh berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Void content (\%)} = \left( 1 - \frac{\text{Oven dry rodded unit weight}}{\text{Bulk specific gravity (dry)} \times 62,4} \right) \times 100$$

7. Menentukan komposisi air tambahan.

Berdasarkan jurnal *Guide for Selecting Proportion for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*, jika rongga udara dalam agregat halus diperoleh lebih besar dari 35% maka perlu dilakukan penyesuaian terhadap komposisi campuran air, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Mixing water adjustment (lbs/yd}^3\text{)} = (V - 35) \times 100$$

Maka didapatkan :

$$\text{Total air} = w + \text{mixing water adjustment} - \text{viscocrete}10$$

8. Menentukan berat agregat kasar.

Berat agregat didapatkan dengan menggunakan tabel 3.3 dibawah ini, dengan menggunakan data ukuran maksimum agregat. Setelah itu berat agregat didapatkan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Berat agregat kasar} = \text{Fractional volume} \times \text{Oven Dry Rodded Condition}$$

Tabel 3.2 *Rekomendasi Volume Agregat Kasar per Unit Volume Beton*

Optimum coarse aggregate contents for nominal maximum sizes of aggregates to be used with sand with fineness modulus of 2.5 to 3.2				
Nominal maximum size, in.	¾	½	¾	1
Fractional volume* of oven-dry rodded coarse aggregate	0.65	0.68	0.72	0.75

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry rodded condition as described in ASTM C 29 for unit weight of aggregates.

(Sumber : *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*, ACI Journal Materials)

#### 9. Menentukan berat agregat halus.

Setelah semua material didapatkan kadarnya dalam beton, maka berat agregat halus didapatkan dari rumus berikut :

$$V_{\text{agregat halus}} = V_{\text{beton per } yd^3} - (V_{\text{cementitious}} + V_{\text{agregat kasar}} + V_{\text{air+viscocrete}})$$

#### 10. Menentukan berat total material

Setelah didapatkan kadar material penyusun beton maka untuk mendapatkan banyak material yang akan digunakan, dengan mengalikan kadar tersebut dengan volume beton yang akan dibuat.

### 3.5 PEMBUATAN BENDA UJI

Setelah perhitungan *mix design*, langkah selanjutnya adalah melakukan pengecoran atau proses pembuatan beton. Langkah-langkah pembuatan beton yang dilakukan adalah:

- a. Menimbang bahan sesuai dengan hasil perhitungan mix design yang direncanakan.

- b. Menyiapkan bekisting silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan bekisting balok ukuran 15 x 15 x 60 cm yang dilapisi oleh plastik.
- c. Mengoleskan bagian dalam bekisting dengan oli secukupnya.
- d. Mempersiapkan peralatan, yaitu mixer, ember, sendok semen, alat flow (cone dengan diameter yang kecil dibawah), gelas ukur.
- e. Memasukkan bahan-bahan yang bersifat cementitious terlebih dahulu ke dalam mixer, yaitu semen, sikafume, dan *fly ash*, kemudian diaduk hingga tercampur merata.
- f. Memasukkan pasir ke dalam mixer hingga tercampur merata.
- g. Menambahkan air sedikit demi sedikit sehingga terbentuk mortar, dengan diselingi memasukkan agregat kasar. Air disisakan sebanyak 250 ml untuk dicampur dengan admixture (Viscocrete10).
- h. Memasukkan air + viscocrete10 ke dalam mixer.
- i. Setelah selesai pengadukan, dilakukan *flowment test* dengan target mencapai diameter  $35 \pm 2$  cm.
- j. Setelah beton segar mencapai flow yang diinginkan, beton dimasukkan ke dalam bekisting. Pada bekisting untuk balok dilapisi oleh plastik.
- k. Meratakan permukaan adukan dalam bekisting dan beri tanggal pengecoran, serta menandakan jadwal pengetesan kuat tekan benda uji.
- l. Permukaan beton ditutup dengan *styrofoam* agar tidak terjadi penguapan yang besar.
- m. Mendinginkan adukan beton tersebut dalam bekisting selama 24 jam.
- n. Melepas bekisting dan melakukan perawatan beton dengan proses curing.



### 3.6 UJI FLOW BETON SEGAR

Setelah dilaksanakan pencampuran material-material beton, maka dilakukan *slump flow test* pada campuran tersebut. Dikarenakan campuran beton yang kami gunakan semi SCC, maka diameter flow yang digunakan yaitu  $(35 \pm 2)$  cm. Pengujian dilakukan dengan tahap sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan peralatan untuk mengecek flow yaitu slump cone.
- b. Meletakkan slump cone dengan posisi terbalik, diameter yang besar menghadap keatas.
- c. Memasukkan campuran beton kedalam cone tersebut sampai batas atas, setelah itu mengangkat slump cone dengan perlahan.
- d. Aliran campuran beton ditunggu sampai berhenti lalu diukur diameternya. Jika tidak sesuai dengan diameter yang ditetapkan  $(35 \pm 2)$  cm maka dilakukan pengulangan campuran beton.

### 3.7 PERAWATAN BENDA UJI

Ada dua perlakuan perawatan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Beton silinder ukuran 15 cm dan tinggi 30 cm. Setelah pelaksanaan pembuatan benda uji, maka dilakukan perawatan benda uji dengan ketentuan ASTM C 31 – 09. Pada penelitian ini langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :
  - a. Pembongkaran benda uji dilakukan  $\pm 24$  jam setelah pembuatan.
  - b. Perendaman di dalam bak rendaman Laboratorium Beton Departemen Sipil FTUI dilakukan segera setelah pembongkaran. Untuk pengujian kuat tekan, benda uji direndam selama 28 hari.
  - c. Benda uji diangkat dari bak perendaman sehari sebelum hari pengujian.
2. Balok beton ukuran 15x15x60 cm.

Perlakuan perawatan pada balok ini yaitu dengan meneteskan balok tersebut dengan air secara terus menerus selama 7 hari. Hal ini dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Menyambungkan pipa paralon yang telah dilubangi dibawahnya dengan tangki air.
- b. Meletakkan balok dibawah lubang pipa sehingga balok terkena tetesan air.
- c. Proses ini dilakukan selama 7 hari.
- d. Dilanjutkan dengan menyimpan benda uji dalam ruangan yang dijaga suhu dan kelembabannya (*conditioned room*), yaitu  $(28 \pm 3)^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban  $(72 \pm 5)\%$ . Hal ini berdasarkan penelitian suhu dan kelembaban di Universitas Indonesia oleh Catharina Niken.

### **3.8 METODE PENGUJIAN**

#### **3.8.1 Metode Pengujian Tekan Beton**

Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 39/C 39M – 04a. Sampel akan dibuat dengan silinder ukuran 15 cm x 30 cm. Tujuan percobaan ini untuk menentukan kuat tekan beton.

Prosedur pengujian :

1. Persiapan pengujian.
  - a. Benda uji yang akan ditentukan kekuatannya diambil dari bak perendam sehari sebelum uji tekan. Benda uji ditempatkan ditempat kering.
  - b. Berat dan ukuran benda uji ditentukan.
  - c. Permukaan atas benda uji dilapisi (*capping*) dengan mortar belerang dengan cara sebagai berikut :

Mortar dilelehkan dalam pot peleleh (*melting pot*) sampai suhu kira-kira  $130^{\circ}\text{C}$ . Belerang cair dituangkan ke dalam cetakan pelapis (*capping plate*) yang telah dilapisi oleh oli. Kemudian benda uji diletakkan tegak lurus pada cetakan pelapis sampai mortar belerang cair menjadi keras.

- d. Benda uji siap untuk diperiksa.
2. Prosedur uji tekan.
    - a. Benda uji diletakkan pada mesin tekan secara sentris.
    - b. Mesin dijalankan, tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm<sup>3</sup> per detik.
    - c. Pembebanan dilakukan sampai benda uji menjadi hancur dan beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji dicatat.

### 3.8.2 Metode Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 469 - 83. Tujuan percobaan ini untuk menentukan modulus elastisitas beton. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan dimensi 15 cm x 30 cm.

Prosedur pengujian :

1. Benda uji berbentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm terlebih dahulu ditimbang dan diukur panjangnya (L) dan diameternya (D).
2. Pasang alat compressometer pada benda uji, dan lengkapi dengan dial untuk mengukur perubahan panjang dalam arah lateral dan longitudinal.
3. Beri beban dan catat beban pada saat dial menunjukkan perpindahan  $\Delta 1 = 0.00005$ , kemudian catat hasil pembacaan dial gage selanjutnya baik arah longitudinal maupun lateral, lanjutkan pembebanan sampai mencapai 40% beban maksimum dan catat perpindahan yang terjadi  $\Delta 2$ .

$$\text{Modulus elastisitas: } \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \text{ Kg/cm}^2$$

Dimana :

$S_2$  = tegangan pada saat 40 % beban maksimum

$S_1$  = tegangan pada saat  $\Delta 1 = 0.00002$

$\varepsilon_2$  = regangan pada saat  $\Delta 2$

Banyaknya benda uji minimum 3 buah, diuji pada umur 28 hari. Pembebanan diberikan sampai 40 % dari beban maksimum karena retak

antara agregat masih kecil. Dari hasil pengujian dibuat kurva tegangan-regangan.

$$\text{Poisson Ration } (\nu) : \frac{\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}}{\varepsilon_2 - 0.00005}$$

Dimana :

$$\nu = \text{Poisson Ratio}$$

$\varepsilon_{t2}$  = regangan akibat tegangan S2

$\varepsilon_{t1}$  = regangan akibat tegangan S1

### 3.8.3 Metode Pengujian Susut Beton

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ASTM C157/C157M-08. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui perubahan panjang, peningkatan atau pengurangan dalam dimensi linear benda uji, diukur sepanjang sumbu longitudinal, tanpa adanya pembebanan. Pengujian dilakukan selama 56 hari. Benda uji balok beton berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm.

Peralatan:

- a. *Vibrating wire embeded strain gauge.*



Gambar 3.4 *Vibrating wire embeded strain gauge*

- b. Alat untuk membaca regangan dan suhu beton.



Gambar 3.5 *Read Out*

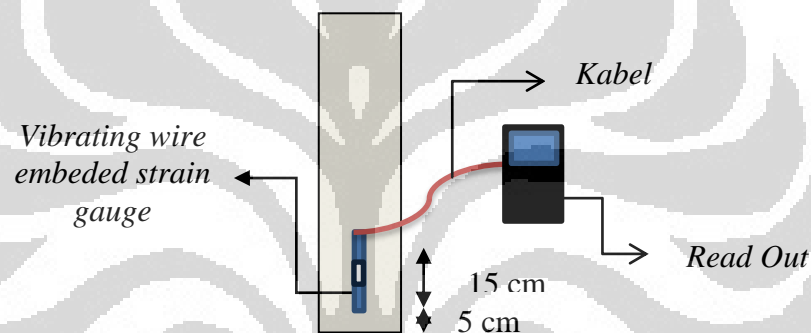
c. Alat pengukur kelembaban dan suhu



Gambar 3.6 Alat pengukur kelembaban dan suhu

d. Beam mold 15 cm x 15 cm x 60 cm

Berikut adalah detail pemasangan alat shringkage.



Gambar 3.7 Detail Pemasangan Alat Shringkage

Langkah Kerja:

- a. Alat uji diletakkan pada jarak 5 cm dari ujung balok uji.
- b. Benda uji balok yang sudah mengalami proses perawatan disiapkan berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm, diukur dimensinya (juga untuk mengetahui balok tersebut memenuhi persyaratan keseragaman sampel).
- c. Tempatkan balok uji pada ruang yang dijaga kelembaban dan suhunya.
- d. Memantau suhu dan kelembaban udara pada alat pengukur kelembaban dan suhu, yaitu  $(28 \pm 3)^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban  $(72 \pm 5)\%$ .
- e. Menyambungkan kabel dengan alat *read out* sesuai dengan warnanya.

- f. Membaca regangan dan suhu beton yang keluar pada alat *read out*. Pembacaan dilakukan dengan jadwal sebagai pada tabel berikut :

Tabel 3.3 *Jadwal Pembacaan Susut*

Hari ke-	Dibaca 1 x setiap-
1	15 menit
2	1 jam
3 sd 7	2 jam
8 s/d selesai	1 hari

### 3.8.4 Rencana Kebutuhan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok 15cmx15cmx60cm dengan  $f_c' = 60$  Mpa sebanyak 3 buah, dan untuk uji tekan dan modulus elastisitas silinder diameter 15cm tinggi 30 cm, dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.4 *Jumlah Kebutuhan Sampel Silinder.*

Uji	Hari Uji ke-	Jumlah Sampel (buah)
Modulus Elastisitas	28	3
Tekan	3	5
	7	5
	14	5
	28	5
<b>Total Sampel Silinder</b>		<b>23</b>

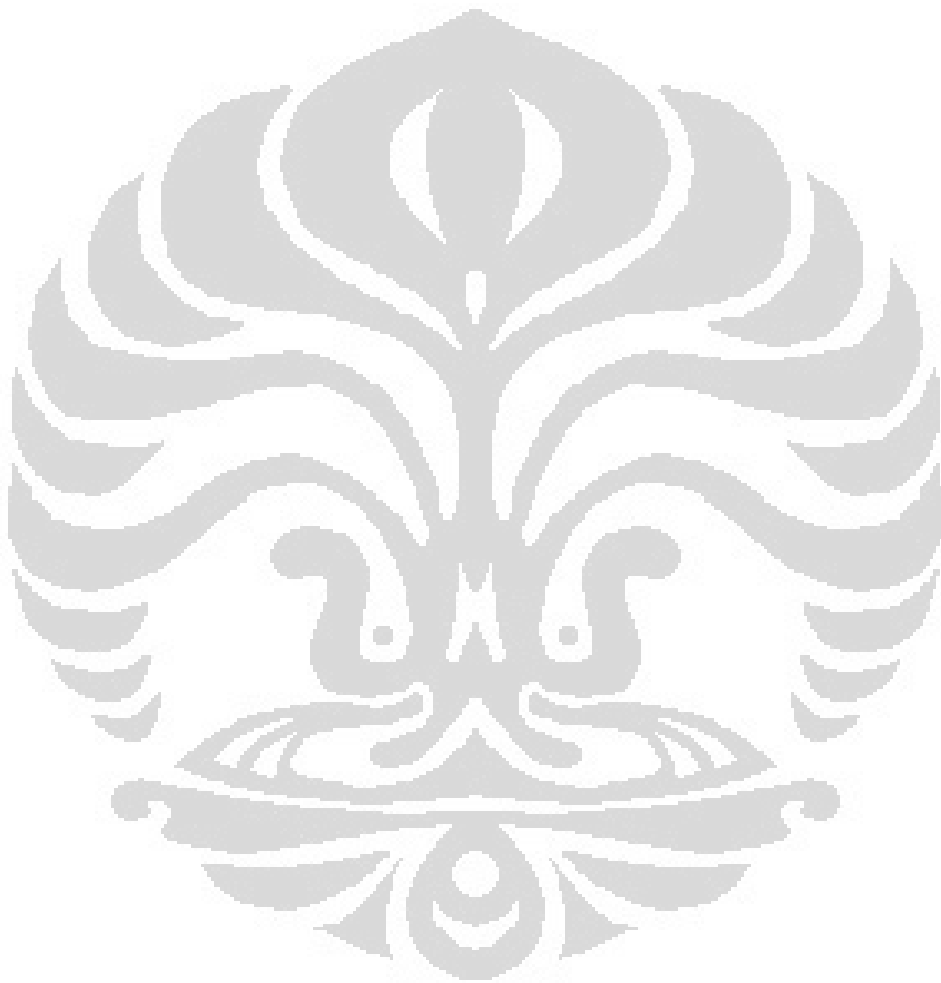
### 3.9 METODE PENGOLAHAN HASIL DAN ANALISIS DATA

Dari hasil pengujian dan penelitian, kemudian dilakukan pencatatan dan pengumpulan data yang dimasukkan ke dalam tabel-tabel dan grafik-grafik yang disesuaikan pengujian (dapat dilihat pada lampiran data).

- Analisis data sifat fisik bahan-bahan pencampur beton.
- Analisis data perancangan campuran beton.
- Analisis dan data uji susut, tekan dan modulus elastisitas.

Dari hasil analisis data, selanjutnya dapat dibuat kurva-kurva yang berhubungan untuk memudahkan dan membantu dalam penarikan

kesimpulan. Serta dibandingkan dengan hasil uji susut pada arah horizontal oleh Chatarina Niken dan ACI 209.



## BAB 4

### ANALISA DATA DAN HASIL PENELITIAN

#### 4.1 ANALISA PENGUJIAN MATERIAL

##### 4.1.1 Agregat Kasar

###### 4.1.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat kasar guna mendapatkan volume agregat kasar dalam beton. Berikut adalah nilai yang di dapat :

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Berat Jenis	Nilai
Berat Jenis Curah ( <i>Bulk Specific Gravity</i> )	2.44 gr/cm <sup>3</sup>
Berat Jenis SSD ( <i>Saturated Surface Dry</i> )	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
Berat Jenis Semu ( <i>Apparent Specific Gravity</i> )	2.71 gr/cm <sup>3</sup>
Absorpsi	3.95%

Berdasarkan ASTM C 127-04, nilai absorpsi yang baik untuk agregat kasar maksimal sebesar 4%. Dari hasil percobaan diperoleh nilai absorpsi sebesar 3,95 %. Hal ini menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan baik karena menyerap air lebih sedikit dari batas yang disyaratkan. Sedangkan nilai berat jenis yang digunakan dalam perhitungan *mix design* yaitu berat jenis SSD karena agregat yang digunakan dalam keadaan SSD.

###### 4.1.1.2 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Nilai berat isi agregat bergantung pada tiga hal, yaitu bentuk agregat, tekstur agregat, serta cara pematatannya. Bentuk dan tekstur akan mempengaruhi kekuatan dari beton. Pengujian ini berdasarkan ASTM C 29/29M - 97. Hasil pengujian berat isi agregat adalah sebagai berikut :



Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar

Berat Isi	Nilai (gr/cm <sup>3</sup> )	Rongga Udara (%)
Berat Isi Lepas	1.317	46
Berat Isi Dengan Penggoyangan	1.438	41.1
Berat Isi Dengan Penusukan	1.421	41.8

#### 4.1.2 Agregat Halus

##### 4.1.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus guna mendapatkan volume agregat halus dalam beton. Berikut adalah nilai yang di dapat :

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Berat Jenis	Nilai
Berat Jenis Curah ( <i>Bulk Specific Gravity</i> )	2.579 gr/cm <sup>3</sup>
Berat Jenis SSD ( <i>Saturated Surface Dry</i> )	2.597 gr/cm <sup>3</sup>
Berat Jenis Semu ( <i>Apparent Specific Gravity</i> )	2.627 gr/cm <sup>3</sup>
Absorpsi	0.71%

Berdasarkan ASTM C 128-93, nilai absorpsi yang baik untuk agregat halus maksimal sebesar 2%. Dari hasil percobaan diperoleh nilai absorpsi sebesar 0,71%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan baik karena menyerap air lebih sedikit dari batas yang disyaratkan. Sedangkan nilai berat jenis yang digunakan dalam perhitungan *mix design* yaitu berat jenis SSD karena agregat yang digunakan dalam keadaan SSD.

##### 4.1.2.2 Pengujian Berat Isi Agregat dan Rongga Udara

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat isi dan rongga udara pada agregat halus. Dimana berat isi memiliki pengertian perbandingan berat dengan isi atau volume. Berdasarkan ASTM C29/29M-97 dijelaskan bahwa ada tiga metode yang digunakan untuk mencari berat isi agregat halus. Metode-metode tersebut ialah berat isi lepas, berat isi dengan cara penumbukan, dan berat isi dengan cara

penggoyangan. Nilai berat isi untuk masing-masing metode beserta rongga udaranya terdapat dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

Berat Isi	Nilai (gr/cm <sup>3</sup> )	Rongga Udara (%)
Berat Isi Lepas	1.443	44.0
Berat Isi Dengan Penggoyangan	1.605	37.8
Berat Isi Dengan Penusukan	1.569	39.2

Dari tabel diatas terlihat bahwa metode yang memiliki nilai berat isi paling besar yaitu 1,605 dan rongga udara paling kecil yaitu sebesar 37,8% adalah berat isi dengan cara penggoyangan. Hal ini dikarenakan komponen antar agregat halus saling mengisi rongga-rongga yang kosong sehingga menjadi lebih padat dan memiliki volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan kedua metode lainnya.

## 4.2 HASIL DAN ANALISA CAMPURAN BETON

### 4.2.1 Perhitungan *Mix Design*

Data-data perhitungan mix design untuk membuat beton normal adalah sebagai berikut :

1.  $f_c' = 60$  MPa
2. *Maximum Size Agregat* (MSA) =  $\frac{3}{4}$  in (1,905 cm)
3. *Slump flow* =  $30 \pm 5$  cm
4. Berat jenis agregat kasar =  $2,5402 \text{ gr/cm}^3$
5. Berat jenis agregat halus =  $2,595 \text{ gr/cm}^3$
6. Berat jenis semen =  $3,15 \text{ gr/cm}^3$
7. *W/C ratio* = 0,31
8. Berat semen per  $1\text{m}^3 = 500$  kg

Dari data-data di atas dilakukan perhitungan dengan metode ACI 211.4R yang dimodifikasi. Hal ini dilakukan karena beton yang akan digunakan bukan sepenuhnya SCC dan dengan memperhatikan pengaruh susut berdasarkan ACI 209R-92. Sehingga dilakukan beberapa modifikasi yaitu memodifikasi jumlah penggunaan semen, jika menggunakan ACI 211.4R didapatkan jumlah semen sebesar  $599 \text{ kg/m}^3$ .

Sedangkan menurut ACI 209R-92, Tabel 2.2.2 *factor affecting concrete creep and shrinkage*, dikatakan bahwa penggunaan semen dengan mempertimbangkan faktor susut adalah sebesar 270 – 466 kg/m<sup>3</sup>. Sehingga diputuskan untuk mengambil jumlah semen sebesar 500 kg/m<sup>3</sup> agar mengurangi susut yang terjadi.

Selain itu dilakukan modifikasi lain pada jumlah agregat kasar maupun agregat halus yang digunakan, mengacu kepada SCC-Euro. Setelah dilakukan perhitungan *mix design* diperoleh kebutuhan material per 1 m<sup>3</sup>. Berikut adalah detail rincian kebutuhan material per 1 m<sup>3</sup> mengacu kepada perhitungan penelitian “Studi Susut Beton Berkinerja Tinggi Pada Arah Horizontal” oleh Catharina Niken Dwi:

Tabel 4.5 *Kebutuhan Material*

<b>MATERIAL</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
Agregat kasar	935
Agregat halus	800
Semen	500
Silika fume	40
Air	142.65
Viscocrete	7.6

#### 4.2.2 Persiapan Sebelum Pencampuran

Sebelum melakukan pengecoran, material-material yang akan digunakan dipersiapkan dengan baik. Berikut adalah langkah-langkah persiapan material :

1. Agregat halus dan kasar disaring sesuai kebutuhan.
2. Agregat halus dan kasar dibersihkan dengan cara mencuci agregat tersebut dengan air mengalir sampai debu yang menempel pada agregat menghilang. Hal ini dilakukan agar pasta semen dapat mengikat agregat dengan baik.
3. Agregat halus dan kasar dihamparkan dan dikeringkan sehingga mencapai kondisi SSD.



Gambar 4.1 *Proses Penyaringan dan Pencucian Agregat*

4. Semua material yang dibutuhkan ditimbang sesuai dengan kebutuhan.
5. Semua material yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam plastik dan diikat dengan kuat. Hal ini dilakukan untuk meminimalisasi hilangnya kandungan air pada agregat, sehingga kondisi SSD pada agregat masih terjaga.



Gambar 4.2 *Agregat dalam Kondisi SSD*

Setelah material selesai dipersiapkan, maka dilanjutkan dengan mempersiapkan peralatan serta kebutuhan pengecoran. Berikut adalah persiapan peralatan dan kebutuhan pengecoran :

1. Mempersiapkan bekisting yang akan digunakan, silinder Ø15 cm, h 30 cm, silinder Ø10 cm, h 20 cm, dan balok 15cm x 15cm x 60 cm.



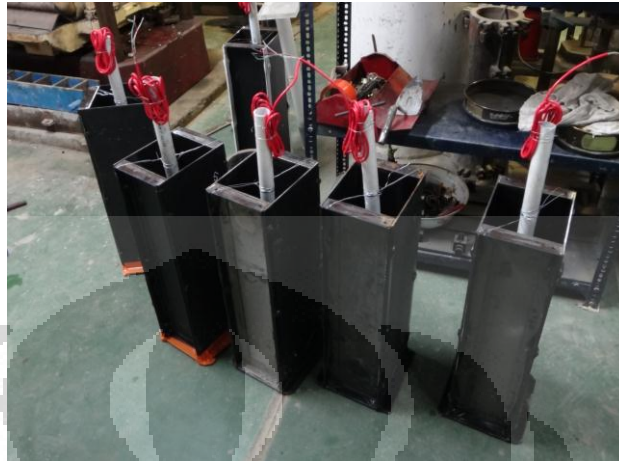
Gambar 4.3 Silinder  $\varnothing 15$  cm, h 30 cm (kiri) dan Silinder  $\varnothing 10$  cm, h 20 cm (kanan)

2. Mengoleskan oli keseluruhan bagian dalam bekisting, agar mencegah menempelnya adonan ke bekisting serta mempermudah saat membuka adonan dari bekisting.
3. Memasang *vibrating wire embeded strain gauge* kedalam bekisting balok yang ditegakkan, dengan menggunakan bantuan kawat bendrat dan pipa sebagai alat bantu agar *vibrating wire embeded strain gauge* dapat terpasang dengan baik dan lurus.



Gambar 4.4 Proses Pemasangan *Vibrating Wire Embeded Strain Gauge*

4. Mempersiapkan segala peralatan pengecoran seperti molen, alat tes *slump*, penggaris, perata adonan, pemadat adonan, sendok semen dan gerobak.



Gambar 4.5 Bekisting Balok dengan Vibrating Wire Embeded Strain Gauge

#### 4.2.3 Pencampuran dan Uji *Slump*

Proses pencampuran diawali dengan mencampur semen dan silicafume terlebih dahulu. Setelah tercampur merata dengan menggunakan sendok semen, dilanjutkan dengan mencampurkan agregat halus kemudian diaduk kembali menggunakan sendok semen. Setelah itu molen diputar dan dimasukkan setengah bagian air sedikit demi sedikit hingga terbentuk *ettringite*. Kemudian agregat kasar yang berukuran kecil dimasukkan kedalam molen sambil terus diputar sampai merata, lalu dimasukkan sisa air yang telah dicampur dengan viscocrete ke dalam adonan. Setelah tercampur merata, sisa agregat kasar yang berukuran besar dimasukkan ke dalam adonan dan diaduk sampai merata. Adukan yang dilakukan oleh molen tidak boleh terlalu lama, karena semakin lama adonan diaduk maka adonan akan semakin cair. Hal ini disebabkan oleh pengaruh viscocrete yang ada.



Gambar 4.6 *Proses Pencampuran Beton*

Dilanjutkan dengan pengetesan *slump flow* dengan syarat diameter  $35 \pm 2$  cm. Jika *slump* yang didapat kurang dari syarat, maka adonan kembali diaduk dengan menambahkan sedikit air sampai mencapai *slump* yang diinginkan. Tetapi, jika *slump* yang didapat melebihi syarat atau adonan terlalu encer, maka adonan tersebut tidak dapat dipakai. Penambahan air yang dilakukan disebabkan oleh, kehilangan kandungan air dalam agregat. Proses pengukuran *slump flow* dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 *Proses Pengukuran Slump Flow*

Setelah nilai *slump* tercapai, maka beton segar dimasukkan ke dalam bekisting yang telah dipersiapkan dengan melakukan pengisian secara bertahap setiap satu per tiga bagian bekisting. Disertai dengan pemadatan adonan agar tidak terjadi keropos pada beton atau terdapat rongga yang dapat mengurangi kekuatan beton. Kemudian menutup

permukaan beton dengan menggunakan *styrofoam* untuk mencegah proses penguapan.



Gambar 4.8 *Proses Pematatan Adonan Beton ke dalam Bekisting*

#### 4.2.4 Perawatan Benda Uji

Proses perawatan benda uji bertujuan untuk mencegah panas hidrasi beton dari semen yang dapat meningkatkan susut pada beton. Proses perawatan benda uji ini dilakukan di kolam beton Laboratorium Struktur dan Material FTUI. Sedangkan benda uji untuk tes susut dilakukan perawatan dengan meneteskan air secara terus menerus dalam 7 hari. Berikut adalah gambar dari proses perawatan benda uji.



Gambar 4.9 *Proses Perawatan Benda Uji untuk Silinder*



Gambar 4.10 *Proses Perawatan Benda Uji untuk Balok*



### 4.3 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN BETON YANG TELAH MENERAS

Pada beton yang telah mengeras dilakukan pengujian kuat tekan beton, uji susut dan uji modulus elastisitas .

#### 4.3.1 Analisa Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan menggunakan 2 jenis benda uji berupa silinder dengan ukuran Ø15 cm, h 30 cm sebanyak 3 silinder pada umur 28 hari dan silinder Ø10 cm, h 20 cm untuk pengujian 3,7,14 dan 28 hari sebanyak 5 silinder untuk masing-masing pengujian.

Perhitungan untuk kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kekuatan tekan beton} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

dimana:

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>)

Berikut adalah hasil uji kuat tekan.

Tabel 4.6 Hasil Kuat Tekan

Sampel hari ke-	fc' MPa	fc' (28 hari) MPa
3	33.72	62.44
7	50.17	71.68
14	49.95	56.77
28	62.00	62.00

Dari hasil data tersebut diperiksa dengan menggunakan ASTM E 178-02 (*Dealing With Outlying Observation*). Data diperiksa menggunakan kriteria *Dixon* dimana dapat dilihat pada Tabel 4.8. Dilakukan dua kali perhitungan, pertama menjadikan yang terkecil menjadi *suspect* (yang dicurigai) dengan rumus :  $r_{21} = (x_2 - x_1) / (x_{nn} - x_1)$ . Maka didapatkan nilai  $r_{21}$  sebesar 0.351, jika dilihat pada tabel kriteria *Dixon* data tersebut layak untuk digunakan karena dibawah level signifikan. Kedua menjadikan yang terbesar menjadi *suspect* (yang dicurigai) dengan rumus :  $r_{21} = (x_n - x_{n-1}) / (x_n - x_1)$ . Maka didapatkan

nilai  $r_{21}$  sebesar 0,62, jika dilihat pada tabel kriteria Dixon data tersebut layak untuk digunakan karena dibawah level signifikan.

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa semua sampel dapat diterima dan digunakan. Maka didapatkan rata-rata dari kuat tekan beton sebesar 63,55 MPa.

Prosedur dalam pengetesan sesuai dengan ASTM C 39/ C 39M – 03. Pertama benda uji harus sudah dikeluarkan dari kolam *curing* minimal 18 jam sebelum dites. Setelah benda uji kering udara, benda uji *dicapping* terlebih dahulu kemudian ditimbang. Tujuan dari *capping* sendiri agar permukaan benda uji rata saat dibebani. Kemudian benda uji diletakkan ditengah-tengah alat uji dan ditekan dengan beban yang konstan hingga mengalami failure. Berikut ialah gambar dari tes kuat tekan:



Gambar 4.11 Proses *capping*



Gambar 4.12 Alat Uji Kuat Tekan (kiri) dan Proses Uji Kuat Tekan (kanan)

### 4.3.2 Analisa Modulus Elastisitas Beton

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 469 - 83. Tujuan percobaan ini untuk menentukan modulus elastisitas beton. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan  $\varnothing 15$  cm, h 30 cm. Dilakukan dua cara pengujian untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, berikut penjelasannya.

#### a. Pengujian dengan PUNDITplus MODEL PC1600

Pengujian Pertama dilakukan dengan menggunakan alat PUNDITplus MODEL PC1600 di Laboratorium Struktur dan Material FTUI. Alat ini dapat digunakan untuk mencari modulus elastisitas beton. Alat ini terdiri dari 1 buah monitor output dan 2 buah sensor. Monitor output membaca waktu yang dibutuhkan untuk sensor menerima gelombang dari sensor lainnya.



Gambar 4.13 PUNDITplus MODEL PC1600

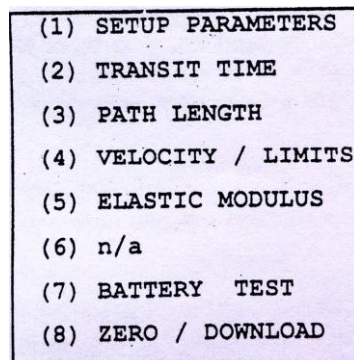
Proses pengujian dengan menggunakan PUNDITplus MODEL PC1600 adalah sebagai berikut :

1. Menimbang silinder benda uji dan mencari density masing-masing silinder.
2. Memberikan “gemuk” pada kedua sisi lingkaran silinder.



Gambar 4.14 Silinder dengan Gemuk (kanan) dan Gemuk (kiri)

3. Menghidupkan alat PUNDITplus MODEL PC1600 dengan memutar tombol menjadi “on”



Gambar 4.15 Main Menu PUNDITplus MODEL PC1600

4. Men-setting transit time menjadi 0 terlebih dahulu dengan cara menyatukan kedua sensor.



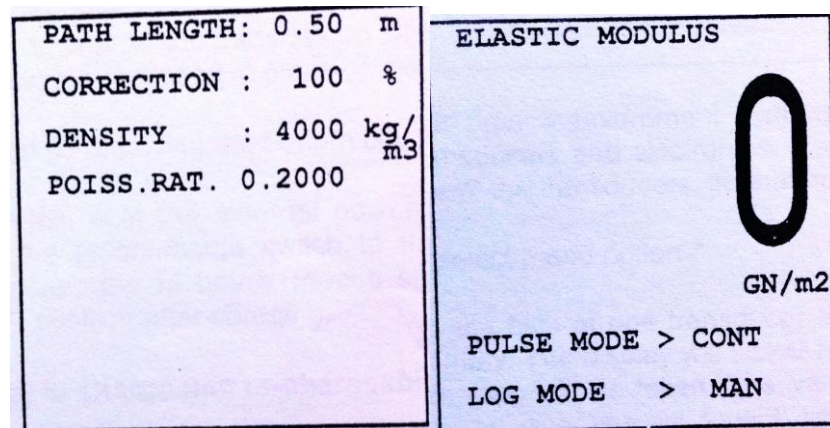
Gambar 4.16 Transit Time Screen (Kanan) dan Dua buah Sensor (kiri)

5. Menempatkan kedua sensor pada kedua sisi lingkaran silinder di atas “gemuk”.
6. Menekan kedua sensor dan mengatur transit time dan velocity.



Gambar 4.17 Kalkulasi Transit Time

## 7. Membaca modulus elastisitas silinder.



Gambar 4.18 *Elastic Modulus Parameter Screen (kanan) dan Elastic Modulus Screen (Kiri)*

Hasil dari proses diatas disajikan dalam tabel berikut ini :

Tabel 4.7 *Modulus Elastisitas dari PUNDITplus MODEL*

Sampel	Berat	Volume	Density	Transit Time	Velocity	Modulus Elastisitas
	(gr)	(cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(usecs)	(m/s)	(GN/m <sup>2</sup> )
1	12502	0.530357143	23572.79	68.4	4385	45.3
	12502	0.530357143	23572.79	70	4285	43.2
	12502	0.530357143	23572.79	69.4	4322	44
	12502	0.530357143	23572.79	70	4285	43.2
2	12815	0.530357143	24162.96	70.6	4249	43.6
	12815	0.530357143	24162.96	69.6	4310	44.8
	12815	0.530357143	24162.96	68.3	4392	46.5
	12815	0.530357143	24162.96	67.2	4464	48.1
3	12795	0.530357143	24125.25	66.8	4491	48.6
	12795	0.530357143	24125.25	66.3	4524	49.3
	12795	0.530357143	24125.25	67.4	4451	47.7
	12795	0.530357143	24125.25	68.1	4405	46.7

Dari data diatas didapatkan hasil yang tidak berbeda jauh satu sama lain. Data tersebut diperiksa dengan menggunakan ASTM E 178-02 (*Dealing With Outlying Observation*). Data diperiksa menggunakan kriteria *Dixon* dimana dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 *Kriteria Dixon*

n	Criterion	Significance Level (One-Sided Test)			
		10 percent	5 percent	1 percent	
3	$r_{10} = (x_2 - x_1)/(x_n - x_1)$ if smallest value is suspected; = $(x_n - x_{n-1})/(x_n - x_1)$ if largest value is suspected	0.886	0.941	0.988	
4		0.679	0.765	0.889	
5		0.557	0.642	0.780	
6		0.482	0.560	0.698	
7		0.434	0.507	0.637	
8		$r_{11} = (x_2 - x_1)/(x_{n-1} - x_1)$ if smallest value is suspected; = $(x_n - x_{n-1})/(x_n - x_2)$ if largest value is suspected.	0.479	0.554	0.683
9			0.441	0.512	0.635
10	0.409		0.477	0.597	
11	$r_{21} = (x_3 - x_1)/(x_{n-1} - x_1)$ if smallest value is suspected; = $(x_n - x_{n-2})/(x_n - x_2)$ if largest value is suspected.	0.517	0.576	0.679	
12		0.490	0.546	0.642	
13		0.467	0.521	0.615	
14		$r_{22} = (x_3 - x_1)/(x_{n-2} - x_1)$ if smallest value is suspected; = $(x_n - x_{n-2})/(x_n - x_3)$ if largest value is suspected.	0.492	0.546	0.641
15	0.472		0.525	0.616	
16	0.454		0.507	0.595	
17	0.438		0.490	0.577	
18	0.424		0.475	0.561	
19	0.412		0.462	0.547	
20	0.401		0.450	0.535	
21	0.391		0.440	0.524	
22	0.382		0.430	0.514	
23	0.374		0.421	0.505	
24	0.367		0.413	0.497	
25	0.360		0.406	0.489	
26	0.354		0.399	0.486	
27	0.348		0.393	0.475	
28	0.342		0.387	0.469	
29	0.337		0.381	0.463	
30	0.332		0.376	0.457	

(Sumber : ASTM E 178-02)

Dengan menggunakan tabel diatas, untuk jumlah data sebanyak 12 buah dengan diurutkan terlebih dahulu dari yang terkecil sampai yang terbesar.

Tabel 4.9 *Data Modulus Elastisitas Urut*

Data	Modulus Elastisitas
x1	43.2
x2	43.2
x3	43.6
x4	44
x5	44.8
x6	45.3
x7	46.5
x8	46.7
x9	47.7
x10	48.1
x11	48.6
x12	49.3

Dilakukan dua kali perhitungan, pertama menjadikan yang terkecil menjadi *suspect* (yang dicurigai) dengan rumus :  $r_{21} = (x_3 - x_1) / (x_{n-1} - x_1)$ . Maka didapatkan nilai  $r_{21}$  sebesar 0.074, jika dilihat pada tabel kriteria Dixon data tersebut layak untuk digunakan. Kedua menjadikan yang terbesar menjadi *suspect* (yang dicurigai) dengan rumus :  $r_{21} = (x_n - x_{n-2}) /$

$(x_n - x_2)$ . Maka didapatkan nilai  $r_{21}$  sebesar 0,196, jika dilihat pada tabel kriteria Dixon data tersebut layak untuk digunakan.

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa semua data dapat diterima dan digunakan. Maka didapatkan rata-rata dari modulus elastisitas yang didapat adalah  $45,92 \text{ GN/m}^2$  sama dengan  $45,92 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$ .

#### **b. Pengujian dengan Strain Gauge**

Pengujian kedua dilakukan di Laboratorium Material Puslitkim (Pusat Penelitian Pemukiman) pada tanggal 9 Mei 2012 dan pengecoran silinder pada tanggal 12 Maret 2012 dengan menggunakan Mesin Tokyokoki, logger Tokyo Sokki Kenkyujo.

Proses pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menimbang dan men-capping silinder uji.



Gambar 4.19 *Penimbangan Silinder Uji*

2. Memasang alat strain gauge di tengah silinder pada arah vertikal silinder dan arah horizontal silinder dengan menggunakan lem yang kuat agar strain tidak lepas saat pembacaan regangan.



Gambar 4.20 *Strain Gauge*



Gambar 4.21 *Proses Pemasangan Strain Gauge*

3. Memasang kabel yang menghubungkan strain gauge dengan alat output dengan menggunakan solder.



Gambar 4.22 *Proses Pen-solderan Kabel ke Stain Gauge*

4. Meletakkan beton pada alat uji tekan dan memberikan pembebanan secara perlahan pada beton.





Gambar 4.23 Proses Uji Tekan Silinder Uji

5. Membaca regangan yang terjadi setiap pembebanan 2 Ton-force dengan menekan tombol read pada alat output.



Gambar 4.24 Proses Pembacaan Regangan Pada Alat Output

6. Hasil regangan vertikal dan horizontal beserta beban yang diberi tercetak pada alat output.

Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan data regangan arah vertikal dan regangan arah horizontal. Data tersebut diolah dengan mengacu pada ASTM C 469 - 83. Dimana rumus modulus elastisitas adalah sebagai berikut :

$$\text{Modulus elastisitas} = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \text{ Kg/cm}^2$$

Dimana :

$S_2$  = tegangan pada saat 40 % beban maksimum

$S_1$  = tegangan pada saat  $\varepsilon = 0.00002$

$\varepsilon_2$  = regangan pada saat  $S_2$

Setelah dilakukan pengolahan data maka didapatkan modulus elastisitas

Tabel 4.10 *Modulus Elastisitas dengan Strain Gauge*

Sampel	$\varepsilon_2$	S2	S1	E
1	0.000318	23.81414141	10.32888889	50318.10644
2	0.000269	13.64363636	4.555485893	41498.40397
3	0.001471	22.86383838	0.235420551	15924.29123
4	0.000491	24.07434343	7.953131313	36556.03656
5	0.000333	24.09131313	9.101414141	52967.84095

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa sampel 3 memiliki nilai yang berbeda dari yang lainnya. Hal ini dikarenakan, pada saat pengujian tekan untuk sampel 3 tidak dilakukan perlahan (ditahan) sehingga pada saat pembebanan awal, regangan vertikal yang terjadi sudah sangat besar yaitu 999  $\mu\text{mm}$  sedangkan pada sampel lainnya regangan vertikal awal yang terjadi antara 0-7  $\mu\text{mm}$ . Sehingga sampel 3 tidak dapat diikuti dalam perhitungan mendapatkan modulus elastisitas.

Sedangkan untuk sampel 1, sampel 2, sampel 4 dan sampel 5 dilakukan perhitungan outlier terlebih dahulu dengan menggunakan kriteria Dixon (dapat dilihat pada tabel 4.8). Dilakukan dua kali perhitungan, pertama menjadikan yang terkecil menjadi *suspect* (yang dicurigai) dengan rumus :  $r_{21} = (x_2 - x_1) / (x_n - x_1)$ . Maka didapatkan nilai  $r_{21}$  sebesar 0.301, jika dilihat pada tabel kriteria Dixon data tersebut layak untuk digunakan karena dibawah level signifikan. Kedua menjadikan yang terbesar menjadi *suspect* (yang dicurigai) dengan rumus :  $r_{21} = (x_n - x_{n-1}) / (x_n - x_1)$ . Maka didapatkan nilai  $r_{21}$  sebesar 0,161, jika dilihat pada tabel kriteria Dixon data tersebut layak untuk digunakan karena dibawah level signifikan.

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa sampel 1, sampel 2, sampel 4 dan sampel 5 dapat diterima dan digunakan. Maka didapatkan rata-rata dari modulus elastisitas yang didapat adalah 45335  $\text{N/mm}^2$  sama dengan  $45,335 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$ .

Dari kedua cara yang digunakan dapat dilihat bahwa hasil yang didapat hampir sama. Modulus elastisitas dengan PUNDITplus MODEL

PC1600 adalah  $45,92 \times 10^6$  KN/m<sup>2</sup> dan modulus elastisitas dengan *strain gauge* adalah  $45,335 \times 10^6$  KN/m<sup>2</sup>.

### 4.3.3 Analisa Susut Beton

Pengolahan data susut ini berpedoman terhadap ACI 209R-92. Pembacaan susut yang dilakukan terhadap benda uji sesuai dengan perencanaan yaitu seperti pada Tabel 3.3 (*jadwal pembacaan susut*). Dari pembacaan terhadap alat *read-out* didapatkan besarnya regangan yang terjadi pada beton dalam satuan  $\mu\text{m}$  dan suhu dalam satuan  $^{\circ}\text{C}$ .

Sampel beton yang seharusnya diteliti adalah sebanyak 3 buah balok ukuran  $15 \times 15 \times 60$  cm<sup>3</sup>, tetapi beton yang dapat diteliti hanya 2 buah saja (sampel 2 dan sampel 3). Hal ini dikarenakan, regangan yang terjadi pada balok yang tidak diuji ini (sampel 1) berada pada rentang 800  $\mu\text{m}$ , didapatkan hasil regangan itu dengan menggunakan alat NI-LAB. Sedangkan alat *read-out* yang digunakan untuk membaca regangan ini hanya dapat membaca regangan pada kisaran 1000  $\mu\text{m}$  – 4000  $\mu\text{m}$ . Sehingga regangan pada sampel 1 tidak dapat dibaca oleh *read-out*.

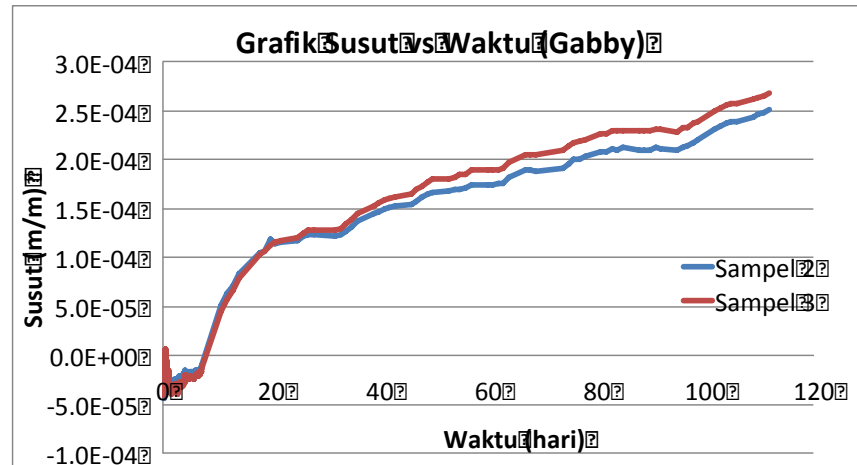
Setelah didapatkan data regangan pada setiap sampel, maka dilakukan pengolahan data sesuai dengan keterangan pada panduan penggunaan alat *Vibrating Wire Embedded Strain Gauge* (VWSG). Pengolahan susut yang dilakukan memperhitungkan perubahan regangan yang terjadi dan suhu beton, dengan rumus sebagai berikut :

$$\mu\epsilon_{\text{true}} = (R_i - R_{i-1})B + (T_i - T_{i+1})(C_1 - C_2)$$

Dimana :

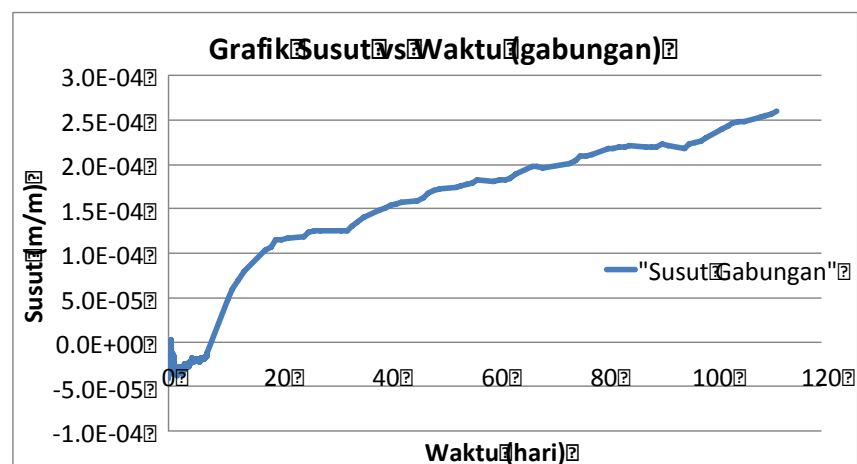
- $\mu\epsilon_{\text{true}}$  : Regangan susut yang terjadi
- B : Koefisien kalibrasi VWSG = 0,96
- $C_1$  : Koefisien ekspansi VWSG = 12,2
- $C_2$  : Koefisien ekspansi beton = 10,4
- $R_i$  : Regangan pada data ke-i
- $R_{i-1}$  : Regangan pada data ke-i-1
- $T_i$  : Suhu pada data ke-i
- $T_{i+1}$  : Suhu pada data ke i-1

Setelah dihitung regangan untuk setiap data yang didapatkan, maka data diakumulasikan untuk mendapatkan grafik regangan susut ( $\mu\text{m}$ ) terhadap waktu (jam). Berikut adalah grafik perbandingan susut terhadap waktu selama 94 hari.



Gambar 4.25 Grafik Susut vs Waktu (Gabby)

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa perilaku sampel 2 dan sampel 3 di 40 hari awal sama, tetapi setelahnya susut yang terjadi pada sampel 3 lebih besar dibandingkan sampel 2. Kedua sampel mendapatkan perlakuan yang sama, dimulai dari material pembentuknya, waktu pengecoran, *curing*, dan pemeliharannya. Dikarenakan kedua sampel tidak memiliki perbedaan yang besar maka, dilakukan hasil susut akhir dengan mengambil rata-rata dari kedua sampel tersebut. Grafik susut untuk penelitian ini selama 112 hari dapat dilihat pada grafik berikut.

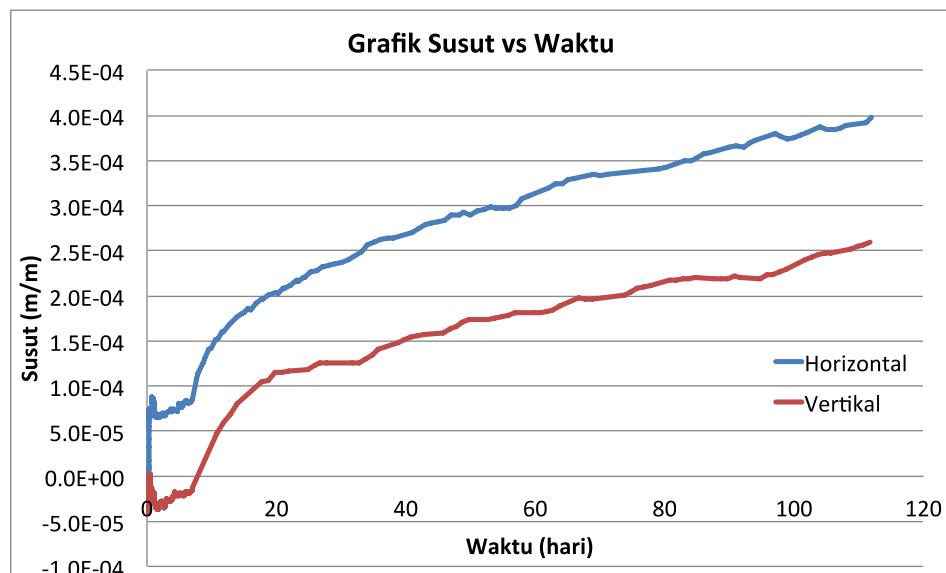


Gambar 4.26 Grafik Susut vs Waktu Final

#### 4.4 HASIL PENELITIAN DIBANDINGKAN PENELITIAN SUSUT PADA SAMPEL HORIZONTAL

Penelitian susut pada arah vertikal ini dilakukan dengan tujuan melihat apakah ada perbedaan perilaku dengan susut pada arah horizontal akibat pengaruh beban yang ada di atasnya. Jika dilihat dari faktor koreksi susut ( $\gamma_{SH}$ ) banyak faktor yang mempengaruhi susut beton. Oleh karena itu dilakukan analisa mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi susut dengan membandingkan susut sampel vertikal dengan susut sampel horizontal berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Catharina Niken.

Berikut adalah grafik susut terhadap waktu pada sampel horizontal dan sampel vertikal.

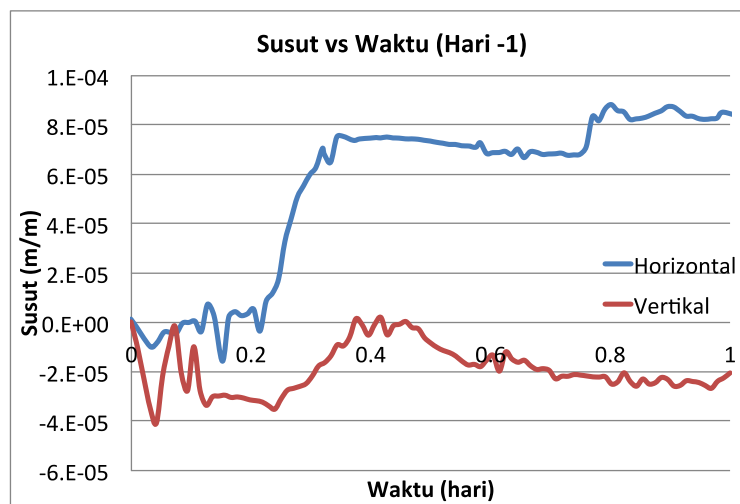


Gambar 4.27 Grafik Susut vs Waktu Arah Horizontal dan Vertikal

Jika dilihat dari grafik perbandingan susut di atas susut pada arah horizontal lebih besar dibandingkan susut pada arah vertikal. Dimana bahan penyusun dari campuran beton, ukuran balok, perlakuan pengecoran, *curing*, dan pemeliharaan beton adalah sama, hanya dibedakan pada posisi betonnya saja. Hal ini berbanding terbalik dengan hipotesa di awal. Oleh karena itu penulis mencoba mencari penyebab dari perbedaan susut yang terjadi pada arah vertikal dan horizontal.

Laju perubahan susut yang terjadi pada awal pengerasan beton sangat cepat, hal ini dikarenakan adanya proses hidrasi yang dapat

menyebabkan terjadinya susut yang besar. Oleh karena itu penulis mencoba melihat dan menganalisa susut yang terjadi pada 24 jam pertama pembentukan beton keras, dengan membandingkan sampel horizontal dan sampel vertikal. Berikut adalah grafik susut terhadap waktu sampel horizontal dan sampel vertikal.

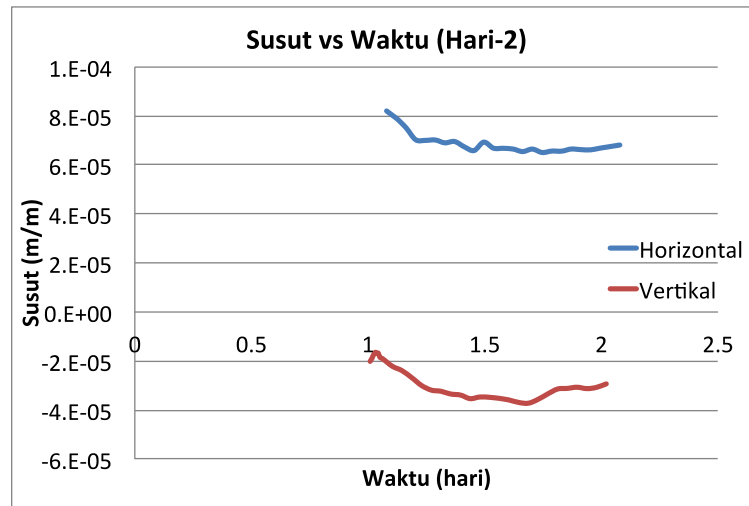


Gambar 4.28 Grafik Susut vs Waktu (Hari ke-1)

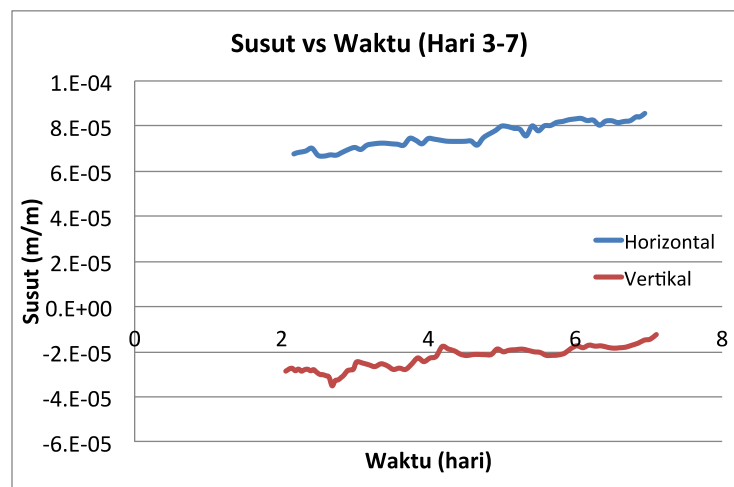
Jika dilihat susut yang terjadi pada hari ke-1 dalam grafik diatas, maka dapat dikatakan bahwa proses pengerasan beton ini memang sangat memengaruhi susut yang terjadi. Proses hidrasi yang terjadi pada kedua sampel jelas berbeda, dikarenakan susut yang terjadi berbeda. Dimana pada sampel horizontal susut yang terjadi cenderung untuk terus naik di awal dan mengalami kenaikan cukup tinggi pada 0,2 hari menuju 0,3 hari yaitu sekitar  $8 \times 10^{-5}$  m/m. Sedangkan sampel vertikal sempat mengalami penurunan susut di awal atau bisa dikatakan beton mengembang dan kenaikan yang terjadi pada 0,2 hari menuju 0,3 hari tidak sebesar sampel horizontal, yaitu sekitar  $4 \times 10^{-5}$  m/m.

Kenaikan yang terjadi pada sampel horizontal sebesar 2 kali lipat dari sampel horizontal pada 0,2 hari menuju 0,3 hari. Jika kembali dilihat pada grafik, susut yang terjadi pada sampel horizontal setelah kenaikan cenderung untuk terus naik, berbeda dengan sampel vertikal yang cenderung untuk turun. Hal ini memperlihatkan bahwa adanya perbedaan reaksi kimia yang terjadi pada proses pengerasan beton ini, sehingga menyebabkan susut yang berbeda pula. Setelah itu mencoba

untuk melihat pada hari berikutnya yaitu hari ke-2 sampai kepada hari ke-7. Berikut adalah grafik susut terhadap waktu hari ke-2 sampai hari ke-7.



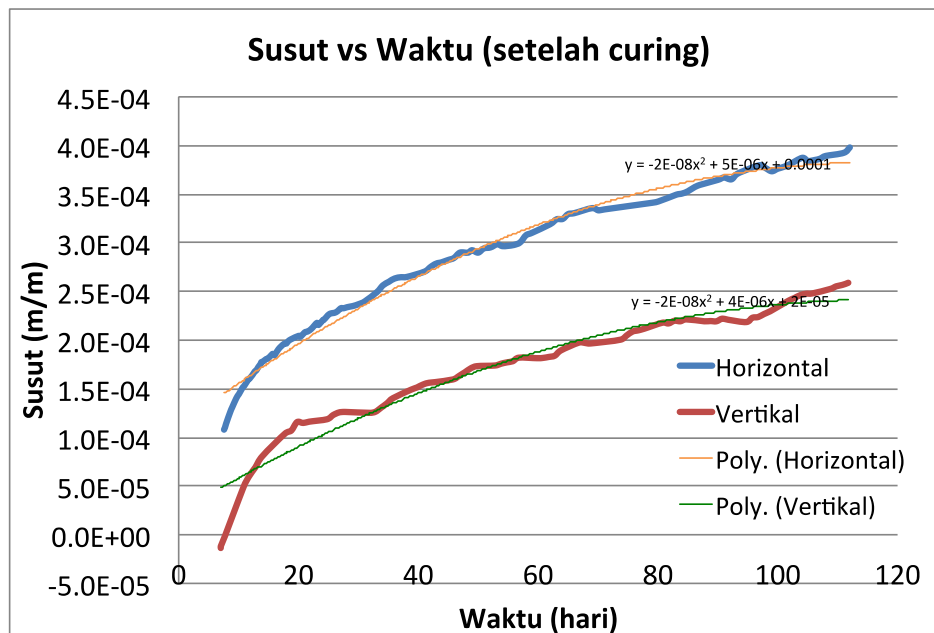
Gambar 4.29 Grafik Susut vs Waktu (Hari ke-2)



Gambar 4.30 Grafik Susut vs Waktu (Hari ke-3 s/d 7)

Susut yang terjadi pada hari ke 2 sampai dengan hari ke 7 seperti yang ditunjukkan pada grafik diatas memiliki perilaku yang sama dan kenaikan yang sama dimana pada hari ke-2 sampai hari ke-7 in beton telah mengeras dan tidak mengalami reaksi kimia pembentukan beton. Sehingga dapat dikatakan bahwa susut yang terjadi pada sampel horizontal mengalami perilaku susut yang sama setelah proses pengerasan beton.

Agar lebih detail, berikut penulis mencoba menampilkan grafik susut yang terjadi setelah proses *curing* berhenti yaitu setelah hari ke-7 sampai hari ke-112 dengan menampilkan persamaan kedua grafik tersebut menggunakan “trendline” pada software Microsoft Excel.



Gambar 4.31 Grafik Susut vs Waktu (setelah curing)

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa perilaku susut pada sampel horixontal dan sampel vertikal adalah sama. Jika dilihat dari kemiringan grafik tersebut dengan memperhatikan persamaan yang ada, maka didapat gradient atau kemiringan kedua grafik dari turunan pertama persamaan pangkat 2 tersebut. Setelah dilakukan perhitungan, kemiringan kedua kurva tersebut mendekati sama. Sehingga dapat dikatakan bahwa perilaku susut yang terjadi pada sampel horizontal adalah sama dengan sampel vertikal dikarenakan kenaikan susut atau laju perubahan susutnya adalah sama. Tetapi terjadi perbedaan besar susut pada sampel horizontal dan sampel vertikal. Dengan mencari persentase sampel vertikal terhadap sampel horizontal, didapat susut yang terjadi pada sampel vertikal adalah 50% susut yang terjadi pada sampel horizontal atau dapat dikatakan susut pada sampel horizontal lebih besar dua kali lipat dibandingkan dengan sampel vertikal.

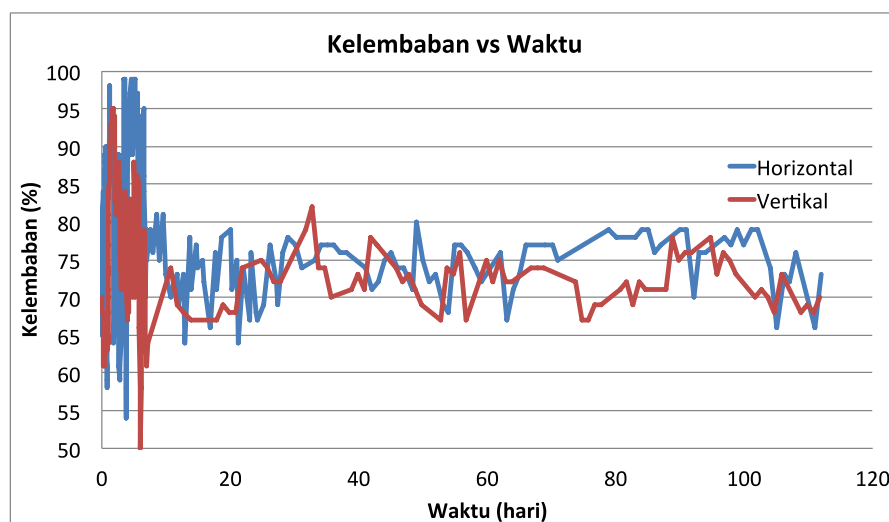


Walaupun penulis mencoba untuk menyamakan kondisi sampel vertikal dan sampel horizontal sehingga dapat dibandingkan, tetapi bisa saja terjadi beberapa perbedaan yang dapat mempengaruhi susut yang terjadi. Oleh karena itu dilakukan analisa terhadap faktor-faktor apa saja yang menyebabkan susut. Berikut adalah penjelasan dari penyebab tersebut.

1. Agregat, ratio air/semen, ukuran elemen beton, bahan tambahan, jenis semen.

Jika ditinjau dari hal yang disebutkan diatas kedua penelitian menggunakan hal yang sama, sehingga tidak dapat dianalisa melalui hal-hal diatas.

2. Kondisi kelembaban sekitar.



Gambar 4.32 Grafik Kelembaban vs Waktu

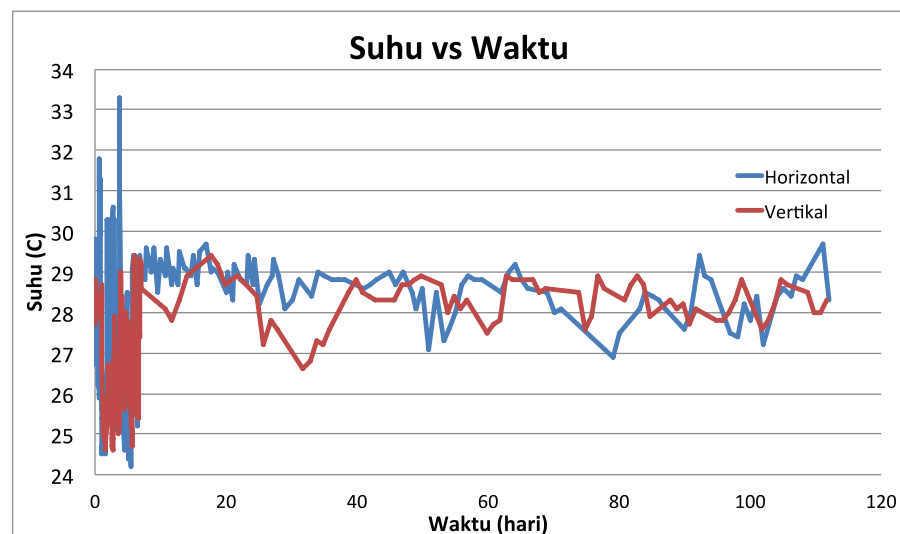
Setelah dilakukan perbandingan kelembaban sekitar antara arah vertikal dan horizontal, dapat dilihat pada grafik kelembaban sekitar pada arah horizontal cenderung lebih tinggi dibandingkan arah vertikal.

Menurut penelitian S.E. Pihlajavaara pada tahun 1974, menyatakan susut sangat kuat pada kelembaban 100-50 %, susut minor atau *negligible* pada kelembaban 50-20%, dan kuat pada 20-0 %. Pada penelitian A. Vafai Et Al tahun 2009, menyatakan pada kelembaban 40%, 50%, 60%, 70%, 80% kolom lantai ke 5 dari gedung berlantai 40 memendek sebesar 0; 6,51; 15,72; 25,93; 38,08; 52,47.

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kelembaban sekitar, maka semakin besar pula susut yang terjadi.

Sehingga jika dilihat dari grafik kelembaban terhadap waktu diatas, terlihat bahwa kelembaban sekitar arah horizontal lebih tinggi dibandingkan kelembaban sekitar arah vertikal. Hal ini menjadi penyebab susut arah vertikal menjadi lebih tinggi dibandingkan susut arah horizontal.

### 3. Suhu sekitar.

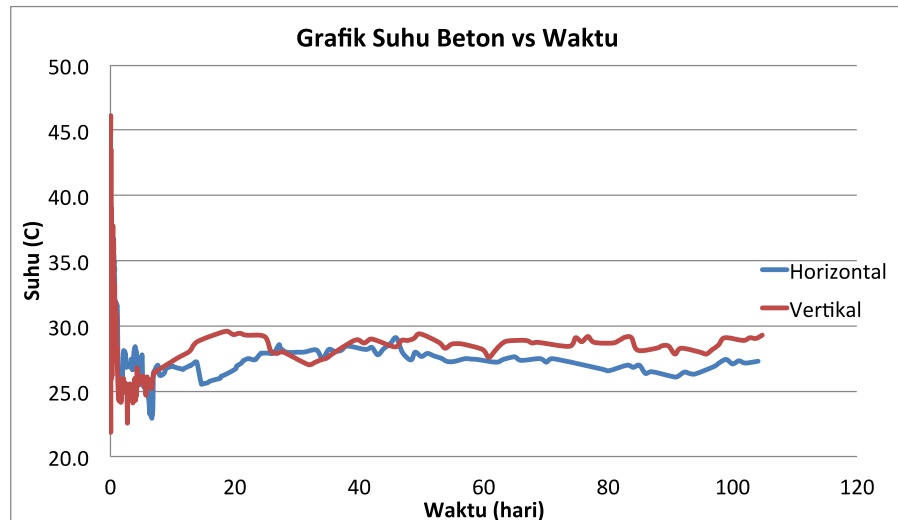


Gambar 4.33 Grafik Suhu vs Waktu

Jika dilihat pada grafik perbandingan suhu sekitar terhadap waktu pada kedua penelitian, suhu sekitar penelitian pada arah horizontal cenderung lebih tinggi dibandingkan pada arah vertikal. Semakin tinggi suhu maka semakin besar pula susut yang terjadi.

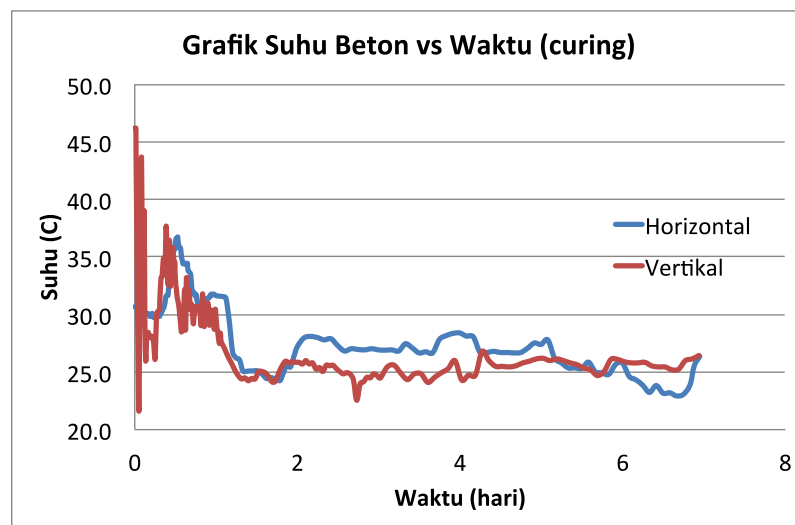
### 4. Suhu beton.

Selain suhu sekitar perlu diperhatikan pula suhu beton yang ada, berikut adalah grafik perbandingan suhu beton pada arah horizontal dan arah vertikal.



Gambar 4.34 Grafik Suhu Beton vs Waktu

Jika dilihat pada grafik diatas, suhu beton pada arah vertikal cenderung lebih tinggi dibandingkan suhu beton arah horizontal. Berikut jika kita meninjau dengan membagi menjadi saat *curing* dan setelah *curing*.

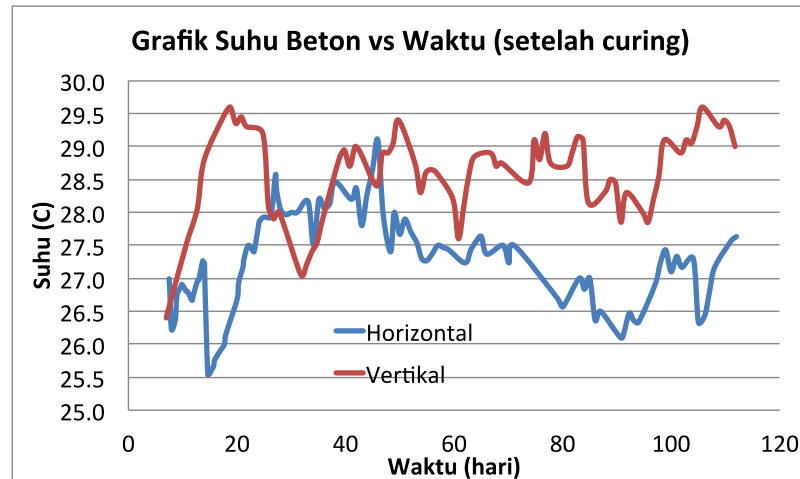


Gambar 4.35 Grafik Suhu Beton vs Waktu (*curing*)

Terlihat pada grafik diatas, bahwa suhu beton pada saat *curing* pada arah horizontal cenderung lebih tinggi pada arah vertikal, tetapi di awal terjadi kenaikan suhu beton yang drastis pada arah vertikal. Hal ini bisa saja dipengaruhi oleh pengaruh alat yang tidak dapat bekerja dengan baik pada awal-awal penelitian.

Jika dilihat pada grafik secara keseluruhan memperlihatkan bahwa proses *curing* pada arah vertikal cukup baik dengan menekan suhu

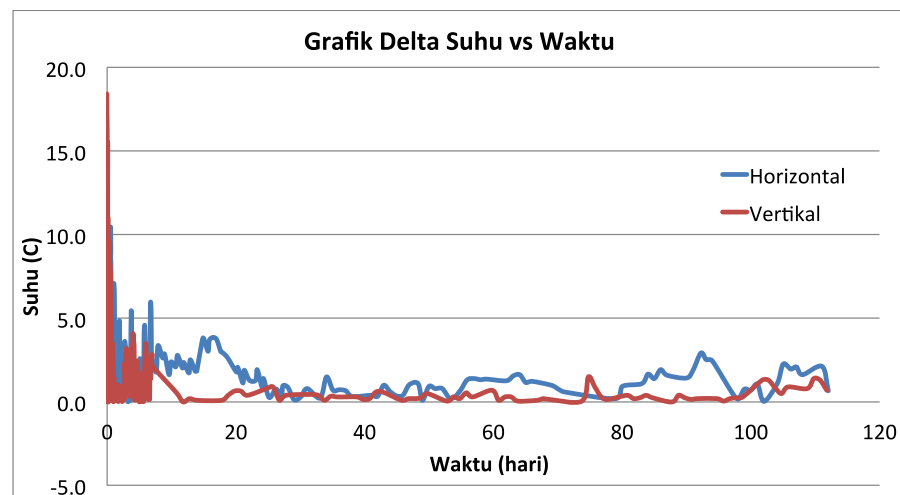
beton di awal-awal. Sehingga susut yang terjadi pada arah vertikal lebih kecil, karena susut yang terjadi pada awal-awal mengalami kenaikan yang cukup tinggi dibandingkan setelah proses *curing* selesai.



Gambar 4.36 Grafik Suhu Beton vs Waktu (setelah curing)

Tetapi jika dilihat grafik suhu beton setelah *curing*, suhu beton pada arah vertikal lebih tinggi dibandingkan dengan suhu beton pada arah horizontal.

##### 5. Perbedaan suhu sekitar dengan suhu beton.

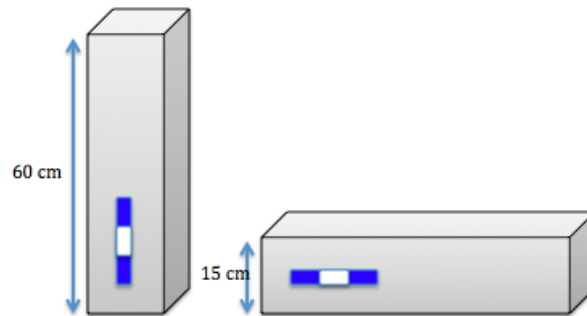


Gambar 4.37 Grafik Delta Suhu vs Waktu

Setelah membandingkan perbedaan suhu sekitar dan suhu beton seperti pada grafik diatas, dapat dilihat bahwa perbedaan suhu pada arah horizontal lebih besar dibandingkan dengan arah vertikal. Semakin besar perbedaan suhu yang terjadi maka beton semakin

besar mengeluarkan maupun mendapatkan panas, sehingga menyebabkan susut yang lebih besar pada arah horizontal dibandingkan pada arah vertikal.

6. Perbedaan letak *strain gauge*.



Gambar 4.38 Letak Strain Gauge Pada Beton

Jika dilihat berdasarkan gambar diatas, letak strain gauge pada arah vertikal lebih jauh dari permukaan dibandingkan dengan arah horizontal. Susut di permukaan beton lebih tinggi dibandingkan susut di dalam beton (berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Catharina Niken), oleh karena itu susut pada arah vertikal lebih rendah dibandingkan susut pada arah horizontal.

#### 4.5 HASIL PENELITIAN DIBANDINGKAN ACI 209R-92

Menurut ACI 209R, perhitungan regangan ultimit susut untuk kondisi non-standar perlu dilakukan koreksi dengan mengalikan besarnya regangan ultimit susut pada kondisi standar dengan faktor koreksi ( $\gamma_{SH}$ ) yang besarnya tergantung pada komponen struktur susut, sehingga regangan ultimit susut pada kondisi non-standar menjadi :

$$(\epsilon_{SH})_{u,n} = 780 \times 10^{-6} \times \gamma_{SH} \quad (\text{mm/mm})$$

di mana :

$(\epsilon_{SH})_{u,n}$  = rata-rata regangan ultimit susut pada kondisi non-standar

Dengan demikian, regangan susut pada kondisi non-standar juga dapat diperoleh dengan mengalikan regangan susut pada kondisi standar dengan faktor koreksi  $\gamma_{SH}$ .

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{SH})_u \gamma_{SH}$$

Faktor koreksi  $\gamma_{SH}$  memiliki komponen yang menunjukkan kondisi yang berbeda, yaitu :

$$\gamma_{SH} = K_H^S K_d^S K_s^S K_F^S K_B^S K_{AC}^S$$

di mana :

$\gamma_{SH} = 1$ , untuk kondisi standar

$K_H^S$  = faktor kelembaban relatif

$K_d^S$  = faktor tebal minimum penampang

$K_s^S$  = faktor kekentalan beton

$K_F^S$  = faktor kandungan agregat halus

$K_B^S$  = faktor kandungan semen

$K_{AC}^S$  = faktor kandungan udara

Oleh karena itu dilakukan perhitungan susut menurut ACI 209R dengan memperhitungkan faktor koreksi susut dengan penjelasan berikut.

#### 1. Faktor kelembaban relatif

Untuk faktor kelembaban dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.11 *Faktor Koreksi Kelembaban Relatif*

Relative Humidity, percent	Creep $\gamma_\lambda$	Shrinkage $\gamma_\lambda$
< 40	> 1.00	> 1.00
40	1.00	1.00
50	0.94	0.90
60	0.87	0.80
70	0.80	0.70
80	0.73	0.60
90	0.67	0.30
100	0.60	0.00

(Sumber : ACI 209R-92)

Jika dilihat pada tabel diatas dengan kelembaban ruangan rata-rata sebesar 72% maka didapat  $K_H^S$  dengan melakukan interpolasi sebesar 0,68.

#### 2. Faktor tebal minimum penampang

Tebal rata-rata penampang pada penelitian ini adalah 150 mm, sehingga dapat menggunakan tabel sebagai berikut.

Tabel 4.12 Faktor Koreksi Tebal Penampang

Average Thickness of Member*		Creep $\gamma_h$		Shrinkage $\gamma_h$	
in.	mm	$\leq 1$ yr.	ult. value	$\leq 1$ yr.	ult. value
2	51	1.30	1.30	1.35	1.35
3	76	1.17	1.17	1.25	1.25
4	104	1.11	1.11	1.17	1.17
5	127	1.04	1.04	1.08	1.08
Eqs.		(2-17)	(2-18)	(2-19)	(2-20)
6	152	1.00	1.00	1.00	1.00
8	203	0.96	0.96	0.93	0.94
10	254	0.91	0.93	0.85	0.88
12	305	0.86	0.90	0.77	0.82
15	381	0.80	0.85	0.66	0.74

\*This method is recommended for average thicknesses (part being considered) up to about 12" to 15", (305 to 38 mm).

(Sumber : ACI 209R-92)

Jika dilihat pada tabel diatas dengan tebal rata-rata sebesar 150 mm, maka didapat  $K_d^s$  sebesar 1.

### 3. Faktor kekentalan beton

Untuk faktor kekentalan beton didapat dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$K_s^s = 0,89 + 0,00161s$$

Dimana  $s$  adalah besar *slump*, maka dengan menggunakan *slump* sebesar 20 mm maka didapatkan  $K_s^s$  sebesar 0,9222. Nilai *slump* diambil dengan melakukan perkiraan besar *slump* jika campuran beton tidak menggunakan HRWR, dikarenakan ACI 209R adalah perhitungan pada campuran beton tanpa menggunakan obat pada beton

### 4. Faktor kandungan agregat halus

Persentase agregat halus pada penelitian ini adalah  $800/(800+935) \times 100\% = 46,11\%$ . Faktor agregat halus dengan persentase agregat dibawah 50% didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$K_F^s = 0,3 + 0,014 \psi$$

Dimana  $\psi$  adalah persentase agregat halus, sehingga didapatkan  $K_F^S$  sebesar 0,7611.

#### 5. Faktor kandungan semen

Kandungan semen di dalam campuran beton adalah sebesar 500  $\text{kg/m}^3$ , faktor kandungan semen didapat sebagai berikut.

$$K_B^S = 0,75 + 0,00061c$$

Dimana  $c$  adalah kandungan semen, sehingga didapatkan  $K_B^S$  sebesar 1,055.

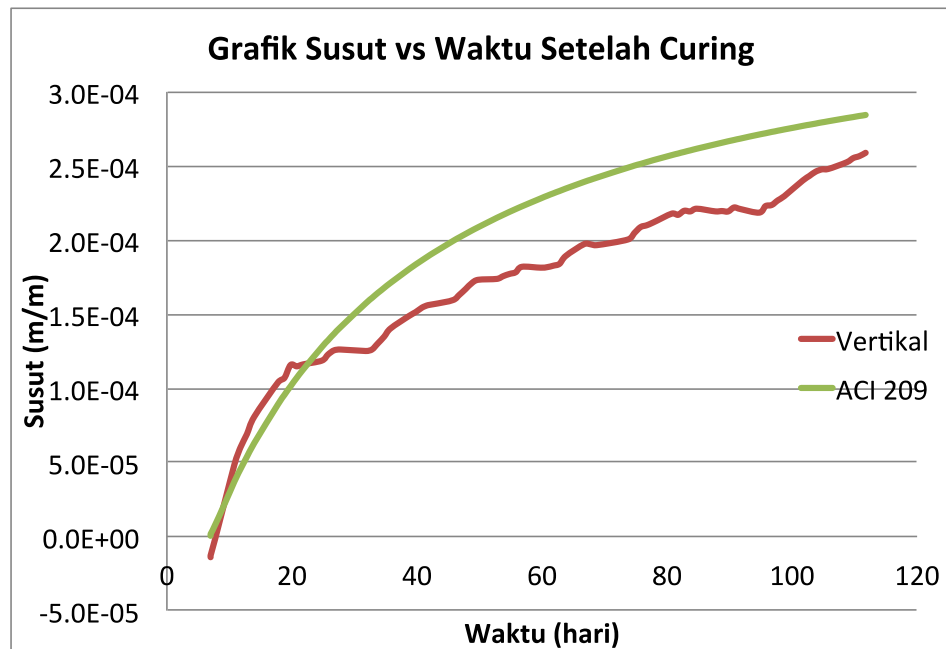
#### 6. Faktor kandungan udara

Faktor kandungan udara didapatkan dengan rumus sebagai berikut.

$$K_{AC}^S = 0,95 + 0,008\alpha$$

Dimana  $\alpha$  adalah persentase kandungan udara sebesar 2%, maka didapatkan  $K_{AC}^S$  sebesar 0,966.

Maka didapatkan faktor koreksi  $\gamma_{SH}$ , adalah sebesar 0,486. Dengan memasukkan faktor koreksi ke dalam rumus susut menurut ACI 209R dengan  $t$  adalah waktu pada saat & hari setelah *curing*. Sehingga didapatkan grafik perbandingan susut menurut ACI 209 dengan susut pada sampel vertikal sebagai berikut.

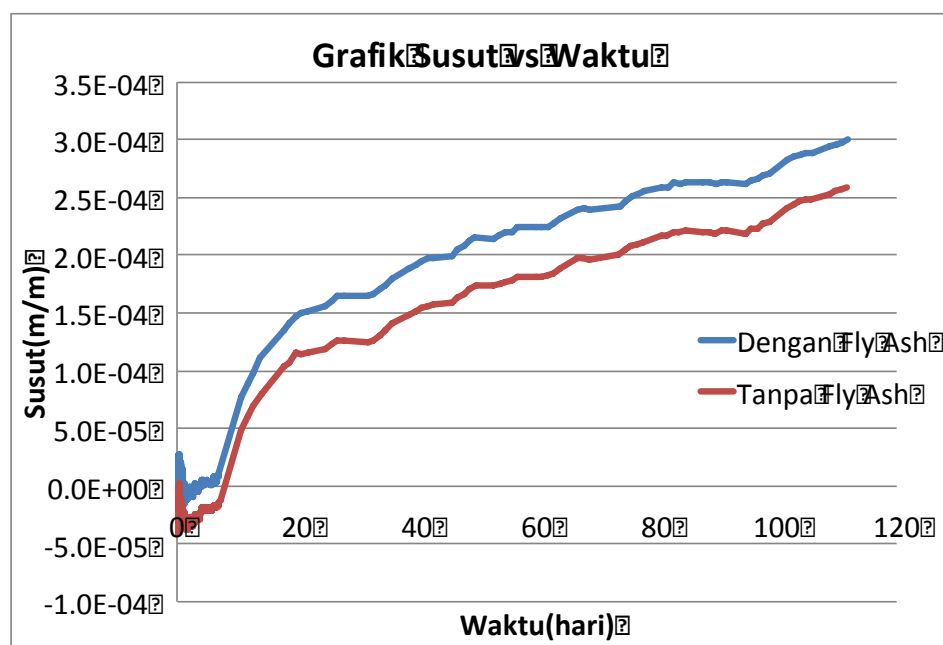


Gambar 4.39 Grafik Suhu vs Waktu Setelah Curing (ACI 209R)



Jika dilihat pada grafik diatas susut pada sampel vertikal mendekati susut berdasarkan ACI 209R. Tetapi susut pada sampel vertikal lebih kecil jika dibandingkan dengan susut berdasarkan ACI 209R. Hal ini disebabkan oleh material penyusun beton yang berbeda pada saat pengujian, dan beberapa faktor yang mempengaruhi hasil percobaan seperti iklim yang berbeda.

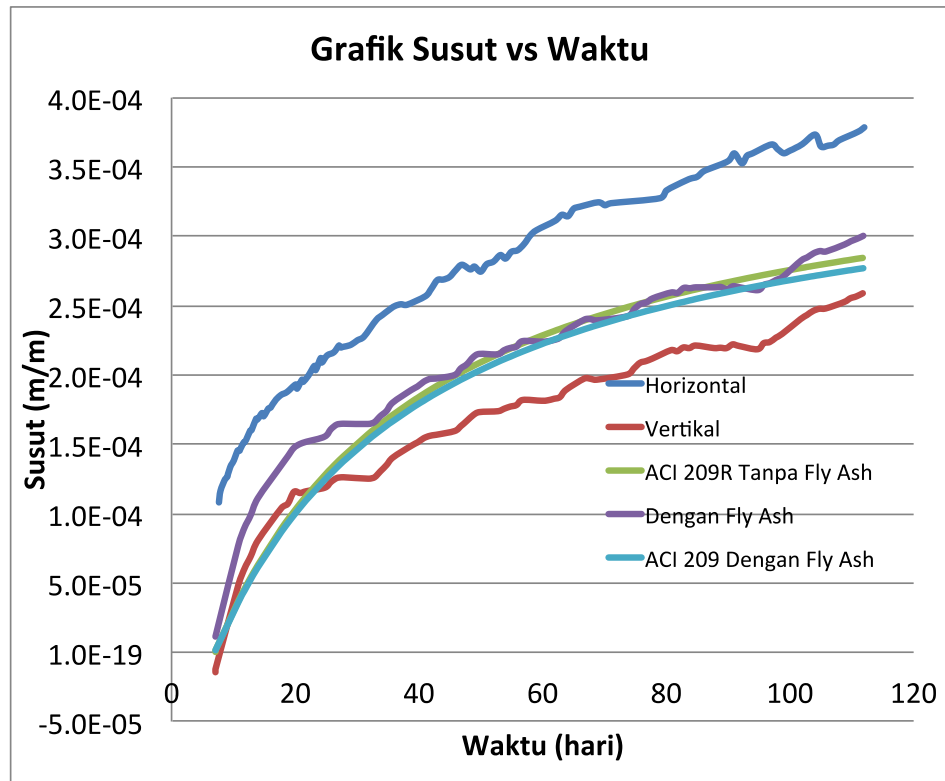
#### 4.6 HASIL PENELITIAN DIBANDINGKAN PENELITIAN SUSUT DENGAN MENGGUNAKAN *FLY ASH*



Gambar 4.40 Grafik Suhu vs Waktu (Flyash)

Jika dilihat pada grafik diatas, susut pada beton dengan menggunakan *flyash* lebih tinggi dibandingkan dengan susut beton tanpa menggunakan *flyash*.

Untuk melihat lebih jelas lagi berikut ditampilkan grafik perbandingan keseluruhan.



Gambar 4.41 Grafik Suhu vs Waktu Setelah Curing (Semua)

Jika dilihat pada grafik diatas dapat dilihat bahwa susut sampel vertikal tanpa menggunakan *fly ash* lebih kecil dibandingkan dengan seluruh penelitian. Sedangkan susut sampel horizontal tanpa menggunakan *fly ash* lebih besar dibandingkan dengan seluruh penelitian.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian studi susut beton berkinerja tinggi tanpa menggunakan *fly-ash* pada arah vertikal dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Susut beton yang terjadi pada arah vertikal lebih kecil dibandingkan dengan susut beton pada arah horizontal yaitu 50% dari susut pada sampel horizontal.
2. Proses awal pembentukan beton atau pengerasan beton sangat mempengaruhi laju perubahan susut yang terjadi pada sampel vertikal dan sampel horizontal.
3. Kemiringan atau *slope* susut sampel vertikal sama dengan sampel horizontal setelah proses pengerasan beton atau setelah 24 jam.
4. Berat sendiri beton pada arah vertikal tidak menambah susut yang terjadi pada beton.
5. Susut yang terjadi pada sampel vertikal lebih kecil dibandingkan susut menurut ACI 209R-92, hal ini disebabkan oleh material penyusun beton yang berbeda dan perbedaan iklim.
6. Pengujian modulus elastisitas beton baik menggunakan PUNDIT*plus* MODEL PC1600 dan *strain gauge* mendapatkan hasil yang tidak jauh berbeda. Modulus elastisitas dengan PUNDIT*plus* MODEL PC1600 adalah  $45,335 \times 106 \text{ KN/m}^2$  dan dengan *strain gauge* adalah  $45,92 \times 106 \text{ KN/m}^2$ .

#### 5.2 SARAN

1. Pengontrolan suhu dan kelembaban untuk pengujian susut harus dijaga dan diperhatikan agar pengujian lebih akurat dan tidak terjadi penyimpangan yang terjadi karena kondisi yang berbeda.

2. *Curing* pada pengujian susut perlu diperhatikan, karena susut yang terjadi pada 7 hari awal mengalami kenaikan sangat besar akibat panas hidrasi.
3. Sampel silinder untuk kuat tekan harus dipastikan bekisting berada di tempat yang datar pada saat memasukkan campuran beton agar permukaan beton datar dan tidak mempengaruhi kekuatan tekan beton.
4. Pada saat *capping* beton diusahakan tegak lurus permukaan (rata) agar saat pengetesan tidak mempengaruhi kekuatan beton.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 209. (1997). Prediction of Creep, Shrinkage, Temperature Effects in Concrete Structures. *ACI 209R-92*.
- ACI Committee 211. (1993). Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash. *ACI MATERIALS JOURNAL*.
- ACI Committee 224. (2001). Control of Cracking in Concrete Structures. *ACI 224R-01*.
- American Society for Testings and Materials. (2009). *Annual Book of ASTM Standars: Section Four Construction* . ASTM International Standars Worldwide.
- Bahan Kuliah, Dr, Ir, Elly Tjahjono. (2011). Teknologi Beton Lanjut.
- Bhanja, S., & Sengupta , B. (2003). Optimum Silica Fume Content and Its Mode of Action on Concrete. *ACI MATERIALS JOURNAL*.
- Buku Pedoman Praktikum. (1998). *Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton*. Depok: Laboratorium Struktur dan Material Deparmeten Teknik Sipil FTUI.
- Duma, H. (2008). *Studi Perilaku Kuat Lentur dan Susut Pada Beton Agregat Daur Ulang*. Depok: Skripsi Departemen Teknik Sipil FTUI.
- Nawy, E. (2008). *Concrete Construction Engineering Handbook*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Nawy, E. G. (2008). *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach, 6th ed.* Prentice Hall: Upper Saddle River.
- SNI 03-2834-2000. (n.d.). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Sudika, I. M. (2010). Faktor-Faktor yang Berpengaruh Terhadap Susut (Shrinkage) Pada Beton.
- Sugiharto, H. (2006). Penelitian Mengenai Peningkatan Kekuatan Awal Beton Pada Self Compacting Concrete. *Civil Engineering Dimension*.
- Sugiharto, H., & Kusuma, G. K. (Maret, 2011). Penggunaan Fly Ash dan Viscocrte pada Self Compacting Concrete. *DTS*, 30-35.

- Yuris, A. (2008). *Karakteristik Kuat Lentur dan Susut Beton dengan Portland Composite Cement*. Depok: Skripsi Departemen Teknik Sipil FTUI.
- A. Vafai, M. Ghabdian, H.E. Estekanchi and C.S. Desai (2005). *Calculation of creep and shrinkage in tall concrete buildings using nonlinear staged construction analysis*, Asian Journal of Civil Engineering, 10 (2009) 409-426.
- S.E. Pihlajavaara, *A review of some of the main results of a research on the ageing phenomena of concrete: Effect of moisture conditions on strength, shrinkage and creep of mature concrete*, Cement and concrete research, Elsevier, 4(1974), 761-771.



**LAMPIRAN A-1**

**PENGUJIAN BERAT JENIS DAN ABSORPSI AGREGAT KASAR**

**ASTM C 127-04**

Ukuran : 20 mm

Sumber : Pecahan batu gunung di Banten, Jawa Barat

Tanggal test : Februari 2012

A) Weight of Oven-Dry Specimen in Air (gram)	4810
B) Weight of SSD Specimen in Air (gram)	5000
C) Weight of Saturated Specimen in Water (gram)	3032
$\text{Bulk Specific Gravity} = \frac{A}{B-C}$	2.44
$\text{Ssd Specific Gravity} = \frac{B}{B-C}$	2.54
$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{A-C}$	2.71
$\text{Absorption (\%)} = \frac{B-A}{A} \times 100\%$	3.95

Mengetahui,

Kepala Laboratorium

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



**LAMPIRAN A-2**  
**PENGUJIAN BERAT ISI AGREGAT KASAR**

Ukuran : 20 mm  
 Sumber : Pecahan batu gunung di Banten, Jawa Barat  
 Tanggal test : Februari 2012

	Lepas	Penggoyangan	Penusukan
a) Weight of Measure (kg)	5089		
b) Weight Of Measure + Water (kg)	14361	14361	14361
c) Weight of Measure and Sample (kg)	17303	18422	18261
d) Weight of Sample (kg)	12.214	13.333	13.172
e) Volume Of measure (kg/liter)	9.272	9.272	9.272
f) Unit Weight Of Aggregate (kg/liter)	<b>1.317</b>	<b>1.438</b>	<b>1.421</b>
B) Average of Above (kg/liter)	1.392		
A) Bulk Specific Gravity of Aggregate	2.44		
W) Unit Weight of Water (kg/liter)	1	1	1
Void (%)	<b>46.01%</b>	<b>41.07%</b>	<b>41.78%</b>
Average	43%		
$d) = c) - a) \quad f) = \frac{d) - a) \times W}{e) - a)}$	$\text{Void (\%)} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \times 100\%$		

Mengetahui,  
 Kepala Labororium

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





**LAMPIRAN A-3**

**PENGUJIAN BERAT JENIS DAN ABSORPSI AGREGAT HALUS**

**ASTM C 128-93**

Ukuran :  
Sumber : Pasir Sungai Liat Bangka  
Tanggal tes : Februari 2012

A) Weight of Oven-Dry Specimen in Air (gram)	496	497
B) Weight of SSD Specimen in Air (gram)	671	673
C) Weight of Saturated Specimen in Water (gram)	980	979
$\frac{A}{B+500-C}$ Bulk Specific Gravity = -----	2.60	2.56
Average of Above	2.58	
$\frac{500}{B+500-C}$ Ssd Specific Gravity = -----	2.62	2.58
Average of Above	2.60	
$\frac{A}{B+A-C}$ Apparent Specific Gravity = -----	2.65	2.60
Average of Above	2.63	
$\frac{500-A}{A}$ Absorption (%) = ----- x 100%	0.81	0.60
Average of Above	0.71	

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium

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



**LAMPIRAN A-4**

**PENGUJIAN BERAT ISI AGREGAT HALUS**

**ASTM C 29/29M-97**

Ukuran :  
 Sumber : Pasir Sungai Liat Bangka  
 Tanggal tes : Februari 2012

	Lepas	Penggoyangan	Penusukan
a) Weight of Measure (kg)	1.055		
b) Weight Of Measure + Water (kg)	3.055	3.055	3.055
c) Weight of Measure and Sample (kg)	3.942	4.193	4.264
d) Weight of Sample (kg)	2.887	3.138	3.209
e) Volume Of measure (kg/liter)	2	2	2
f) Unit Weight Of Aggregate (kg/liter)	<b>1.444</b>	<b>1.569</b>	<b>1.605</b>
B) Average of Above (kg/liter)	1.539		
A) Bulk Specific Gravity of Aggregate	2.58		
W) Unit Weight of Water (kg/liter)	1	1	1
Void (%)	<b>44.03%</b>	<b>39.16%</b>	<b>37.79%</b>
Average	40%		
d)	(A x W) -- B		
d) = c) - a) f) = ----- e)	Void (%) = ----- x 100%		
e) = b) - a)	AxW		

Mengetahui,  
 Kepala Labororium

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



**LAMPIRAN B**  
**HASIL MIX DESIGN (CATHARINA NIKEN)**

**Tabel B-1** *Mix Design* Beton

No	Kriteria	Nilai	Satuan
1	<i>Slump flow</i>	30±5	cm
2	MSA	1.905	cm
3	fc'	60	MPa
4	Berat Jenis OPC	3.15	gr/cm <sup>3</sup>
5	Berat Jenis Agregat Halus	2.595	gr/cm <sup>3</sup>
6	Berat Jenis Agregat Kasar	2.5402	gr/cm <sup>3</sup>
7	W/C ratio	0.31	

**Tabel B-2** Kebutuhan Material

MATERIAL	kg/m <sup>3</sup>
Agregat kasar	935
Agregat halus	800
Semen	500
Silika fume	40
Air	142.65
Viscocrete	7.6

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium

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



**LAMPIRAN C**  
**ALAT DAN MATERIAL**





# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)





**LAMPIRAN D**

**HASIL KUAT TEKAN BETON**

Sampel	Tanggal		Umur (hari)	Silinder	Massa (kg)	Beban (kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Tegangan (MPa)	Konv. Ke Sil.Besar	Konv. Ke 28 Hari
	Dibuat	Diuji								
1	12-Mar-12	16-Mar-12	3	kecil	3888	23250	78.57	29.59	28.45	52.69
2	12-Mar-12	16-Mar-12	3	kecil	3880	27500	78.57	35.00	33.65	62.32
3	12-Mar-12	16-Mar-12	3	kecil	3859	32750	78.57	41.68	40.08	74.22
4	12-Mar-12	16-Mar-12	3	kecil	3738	31000	78.57	39.45	37.94	70.25
5	12-Mar-12	16-Mar-12	3	kecil	3946	23250	78.57	29.59	28.45	52.69
6	15-Mar-12	23-Mar-12	7	kecil	3903	43500	78.57	55.36	53.23	76.05
7	15-Mar-12	23-Mar-12	7	kecil	3919	40000	78.57	50.91	48.95	69.93
8	15-Mar-12	23-Mar-12	7	kecil	3881	42750	78.57	54.41	52.32	74.74
9	15-Mar-12	23-Mar-12	7	kecil	3917	35500	78.57	45.18	43.44	62.06
10	15-Mar-12	23-Mar-12	7	kecil	3864	41500	78.57	52.82	50.79	72.55
11	15-Mar-12	23-Mar-12	7	kecil	3868	42750	78.57	54.41	52.32	74.74
12	28-Mar-12	10-Apr-12	14	kecil	3888	41500	78.57	52.82	50.79	57.71
13	28-Mar-12	10-Apr-12	14	kecil	3922	43500	78.57	55.36	53.23	60.49
14	28-Mar-12	10-Apr-12	14	kecil	3976	38250	78.57	48.68	46.81	53.19
15	28-Mar-12	10-Apr-12	14	kecil	3914	42350	78.57	53.90	51.83	58.89
16	28-Mar-12	10-Apr-12	14	kecil	3992	38500	78.57	49.00	47.12	53.54
17	12-Mar-12	12-Apr-12	28	kecil	3795	55000	78.57	70.00	67.31	67.31
18	12-Mar-12	12-Apr-12	28	kecil	3908	48500	78.57	61.73	59.35	59.35
19	12-Mar-12	12-Apr-12	28	kecil	3841	45250	78.57	57.59	55.38	55.38
20	8-Mar-12	17-Apr-12	28	kecil	3907	50000	78.57	63.64	61.19	61.19
21	8-Mar-12	17-Apr-12	28	kecil	3914	55250	78.57	70.32	67.61	67.61
22	8-Mar-12	17-Apr-12	28	kecil	3898	50000	78.57	63.64	61.19	61.19
<b>TOTAL</b>									<b>1398.11</b>	
<b>Rata-Rata</b>									<b>63.55</b>	



**LAMPIRAN E**

**HASIL UJI MODULUS ELASTISITAS DENGAN PUNDIT<sup>plus</sup> MODEL PC1600**

<b>Sampel</b>	<b>Berat (gr)</b>	<b>Volume (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Density (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Transit Time (usecs)</b>	<b>Velocity (m/s)</b>	<b>Modulus Elastisitas (GN/m<sup>2</sup>)</b>
1	12502	0.530357143	23572.79	68.4	4385	45.3
	12502	0.530357143	23572.79	70	4285	43.2
	12502	0.530357143	23572.79	69.4	4322	44
	12502	0.530357143	23572.79	70	4285	43.2
2	12815	0.530357143	24162.96	70.6	4249	43.6
	12815	0.530357143	24162.96	69.6	4310	44.8
	12815	0.530357143	24162.96	68.3	4392	46.5
	12815	0.530357143	24162.96	67.2	4464	48.1
3	12795	0.530357143	24125.25	66.8	4491	48.6
	12795	0.530357143	24125.25	66.3	4524	49.3
	12795	0.530357143	24125.25	67.4	4451	47.7
	12795	0.530357143	24125.25	68.1	4405	46.7

**LAMPIRAN F-1**



**HASIL UJI MODULUS ELASTISITAS DENGAN STRAIN GAUGE (GABBY)**

Sample 1						Sample 2						Sample 3					
SG <sub>vertikal</sub> (μ)	SG <sub>horztl</sub> (μ)	Load (tf)	ε <sub>vert</sub>	σ (MPa)	ε <sub>horztl</sub>	SG <sub>vertikal</sub> (μ)	SG <sub>horztl</sub> (μ)	Load (tf)	ε <sub>vert</sub>	σ (MPa)	ε <sub>horztl</sub>	SG <sub>vertikal</sub> (μ)	SG <sub>horztl</sub> (μ)	Load (tf)	ε <sub>vert</sub>	σ (MPa)	ε <sub>horztl</sub>
4	-4	2.04	-4.E-06	1.15394	-4.E-06	4	-2	2.04	-4.E-06	1.15394	-2.E-06	-99	16	2.06	1.E-04	1.1653	2.E-05
25	-3	4.04	-3.E-05	2.28525	-3.E-06	3	-4	4.04	-3.E-06	2.28525	-4.E-06	-204	31	3.99	2.E-04	2.257	3.E-05
43	-5	6.3	-4.E-05	3.56364	-5.E-06	-7	-2	6.22	7.E-06	3.51838	-2.E-06	-325	50	6.32	3.E-04	3.5749	5.E-05
37	-7	8.36	-4.E-05	4.72889	-7.E-06	-36	-1	10.31	4.E-05	5.83192	-1.E-06	-427	67	8.41	4.E-04	4.7572	7.E-05
31	-6	10.2	-3.E-05	5.7697	-6.E-06	-53	1	11.88	5.E-05	6.72	1.E-06	-501	80	9.93	5.E-04	5.617	8.E-05
21	-6	12.29	-2.E-05	6.95192	-6.E-06	-57	2	12.18	6.E-05	6.8897	2.E-06	-616	97	12.38	6.E-04	7.0028	1.E-04
10	-7	14.22	-1.E-05	8.04364	-7.E-06	-85	4	14.08	9.E-05	7.96444	4.E-06	-709	112	14.49	7.E-04	8.1964	1.E-04
-6	-4	16.25	6.E-06	9.19192	-4.E-06	-116	6	16.11	1.E-04	9.11273	6.E-06	-794	126	16.47	8.E-04	9.3164	1.E-04
-21	-3	18.26	2.E-05	10.3289	-3.E-06	-146	8	18.01	1.E-04	10.1875	8.E-06	-876	140	18.53	9.E-04	10.482	1.E-04
-39	-2	20.32	4.E-05	11.4941	-2.E-06	-185	13	20.13	2.E-04	11.3867	1.E-05	-944	151	20.35	9.E-04	11.511	2.E-04
-58	0	22.06	6.E-05	12.4784	0.E+00	-225	19	22.14	2.E-04	12.5236	2.E-05	-1021	166	22.58	1.E-03	12.773	2.E-04
-82	4	24.09	8.E-05	13.6267	4.E-06	-269	24	24.12	3.E-04	13.6436	2.E-05	-1091	177	24.72	1.E-03	13.983	2.E-04
-103	6	26.07	1.E-04	14.7467	6.E-06	-313	29	26.18	3.E-04	14.8089	3.E-05	-1153	191	26.76	1.E-03	15.137	2.E-04
-128	9	28.05	1.E-04	15.8667	9.E-06	-360	35	28.1	4.E-04	15.8949	4.E-05	-1205	201	28.71	1.E-03	16.24	2.E-04
-150	13	30.06	2.E-04	17.0036	1.E-05	-411	43	30.11	4.E-04	17.0319	4.E-05	-1253	210	30.55	1.E-03	17.281	2.E-04
-177	16	32.09	2.E-04	18.1519	2.E-05	-461	51	32.01	5.E-04	18.1067	5.E-05	-1304	223	32.7	1.E-03	18.497	2.E-04
-204	20	34.1	2.E-04	19.2889	2.E-05	-528	61	34.29	5.E-04	19.3964	6.E-05	-1354	232	34.81	1.E-03	19.691	2.E-04
-230	23	36.11	2.E-04	20.4259	2.E-05	-587	69	36.13	6.E-04	20.4372	7.E-05	-1393	241	36.6	1.E-03	20.703	2.E-04
-259	27	38.06	3.E-04	21.5289	3.E-05	-680	81	38.06	7.E-04	21.5289	8.E-05	-1430	249	38.39	1.E-03	21.716	2.E-04
-289	33	40.1	3.E-04	22.6828	3.E-05	-883	103	40.23	9.E-04	22.7564	1.E-04	-1471	259	40.42	1.E-03	22.864	3.E-04
-318	37	42.1	3.E-04	23.8141	4.E-05	-984	114	42.21	1.E-03	23.8764	1.E-04	-1510	269	42.6	2.E-03	24.097	3.E-04
-348	41	44.08	3.E-04	24.9341	4.E-05	-1118	125	44.11	1.E-03	24.9511	1.E-04	-1543	278	44.41	2.E-03	25.121	3.E-04





# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

-380	46	46.09	4.E-04	26.0711	5.E-05	-1207	138	46.31	1.E-03	26.1956	1.E-04	-1579	285	46.42	2.E-03	26.258	3.E-04
-410	51	48.12	4.E-04	27.2194	5.E-05	-1279	149	48.15	1.E-03	27.2364	1.E-04	-1614	296	48.46	2.E-03	27.412	3.E-04
-443	57	50.08	4.E-04	28.3281	6.E-05	-1374	163	50.13	1.E-03	28.3564	2.E-04	-1647	305	50.41	2.E-03	28.515	3.E-04
-473	63	52.08	5.E-04	29.4594	6.E-05	-1448	173	52.03	1.E-03	29.4311	2.E-04	-1682	316	52.55	2.E-03	29.725	3.E-04
-506	66	54.06	5.E-04	30.5794	7.E-05	-1521	183	53.98	2.E-03	30.5341	2.E-04	-1716	324	54.72	2.E-03	30.953	3.E-04
-538	71	56.1	5.E-04	31.7333	7.E-05	-1603	191	56.1	2.E-03	31.7333	2.E-04	-1737	332	56.49	2.E-03	31.954	3.E-04
-572	77	58.08	6.E-04	32.8533	8.E-05	-1685	196	58.11	2.E-03	32.8703	2.E-04	-1764	341	58.49	2.E-03	33.085	3.E-04
-605	84	60.09	6.E-04	33.9903	8.E-05	-1772	198	60.03	2.E-03	33.9564	2.E-04	-1793	350	60.5	2.E-03	34.222	4.E-04
-638	90	62.04	6.E-04	35.0933	9.E-05	-1908	202	62.15	2.E-03	35.1556	2.E-04	-1827	359	62.7	2.E-03	35.467	4.E-04
-671	96	64.07	7.E-04	36.2416	1.E-04	-2027	192	64.05	2.E-03	36.2303	2.E-04	-1853	368	64.46	2.E-03	36.462	4.E-04
-704	100	66.08	7.E-04	37.3786	1.E-04	-2143	180	66.08	2.E-03	37.3786	2.E-04	-1884	377	66.52	2.E-03	37.627	4.E-04
-737	107	68.09	7.E-04	38.5156	1.E-04	-2286	160	68.12	2.E-03	38.5325	2.E-04	-1912	389	68.39	2.E-03	38.685	4.E-04
-772	113	70.04	8.E-04	39.6186	1.E-04	-2486	202	70.01	2.E-03	39.6016	2.E-04	-1938	397	70.32	2.E-03	39.777	4.E-04
-805	120	72.08	8.E-04	40.7725	1.E-04							-1968	408	72.41	2.E-03	40.959	4.E-04
-840	126	74.06	8.E-04	41.8925	1.E-04							-1995	418	74.47	2.E-03	42.124	4.E-04
-876	132	76.07	9.E-04	43.0295	1.E-04							-2020	428	76.48	2.E-03	43.261	4.E-04
-910	137	78.13	9.E-04	44.1947	1.E-04							-2045	439	78.54	2.E-03	44.427	4.E-04
-943	144	80	9.E-04	45.2525	1.E-04							-2068	449	80.46	2.E-03	45.513	4.E-04
-981	149	82.06	1.E-03	46.4178	1.E-04							-2092	461	82.36	2.E-03	46.587	5.E-04
-1018	156	84.12	1.E-03	47.583	2.E-04							-2118	473	84.54	2.E-03	47.821	5.E-04
-1053	163	86.05	1.E-03	48.6747	2.E-04							-2149	485	86.49	2.E-03	48.924	5.E-04
-1091	171	88.08	1.E-03	49.823	2.E-04							-2201	503	88.5	2.E-03	50.061	5.E-04
-1129	178	90.06	1.E-03	50.943	2.E-04							-2207	528	89.46	2.E-03	50.604	5.E-04
-1139	180	90.58	1.E-03	51.2372	2.E-04												



LAMPIRAN F-2

HASIL UJI MODULUS ELASTISITAS DENGAN STRAIN GAUGE  
(CATHARINA NIKEN)

Sample A						Sample B					
SG vertikal (μ)	SG horztl (μ)	Load (tf)	ε <sub>vert</sub>	σ (MPa)	ε <sub>horztl</sub>	SG vertikal (μ)	SG horztl (μ)	Load (tf)	ε <sub>vert</sub>	σ (MPa)	ε <sub>horztl</sub>
7	2	0.59	7.E-06	0.33374	2E-06	0	0	0.56	0.E+00	0.31677	0
18	0	1.09	2.E-05	0.61657	0	1	2	1.06	-1.E-06	0.5996	2E-06
25	3	1.56	3.E-05	0.88242	3E-06	0	6	1.56	0.E+00	0.88242	6E-06
44	7	2.03	4.E-05	1.14828	7E-06	1	9	2.03	-1.E-06	1.14828	9E-06
58	12	2.56	6.E-05	1.44808	1E-05	3	13	2.56	-3.E-06	1.44808	1.3E-05
69	16	3.06	7.E-05	1.73091	2E-05	7	17	3.06	-7.E-06	1.73091	1.7E-05
79	19	3.56	8.E-05	2.01374	2E-05	12	19	3.53	-1.E-05	1.99677	1.9E-05
92	26	4.26	9.E-05	2.4097	3E-05	16	23	4.06	-2.E-05	2.29657	2.3E-05
99	29	4.69	1.E-04	2.65293	3E-05	5	26	4.73	-5.E-06	2.67556	2.6E-05
106	32	5.03	1.E-04	2.84525	3E-05	9	30	5.33	-9.E-06	3.01495	0.00003
108	35	5.53	1.E-04	3.12808	4E-05	12	36	6.23	-1.E-05	3.52404	3.6E-05
109	39	6.06	1.E-04	3.42788	4E-05	13	39	6.76	-1.E-05	3.82384	3.9E-05
108	43	6.56	1.E-04	3.71071	4E-05	14	42	7.09	-1.E-05	4.01051	4.2E-05
106	46	7.06	1.E-04	3.99354	5E-05	14	45	7.56	-1.E-05	4.27636	4.5E-05
103	49	7.53	1.E-04	4.25939	5E-05	14	48	8.06	-1.E-05	4.55919	4.8E-05
99	53	8.09	1.E-04	4.57616	5E-05	13	52	8.59	-1.E-05	4.85899	5.2E-05
94	55	8.56	9.E-05	4.84202	6E-05	13	54	9.06	-1.E-05	5.12485	5.4E-05
89	58	9.06	9.E-05	5.12485	6E-05	13	57	9.56	-1.E-05	5.40768	5.7E-05
83	60	9.53	8.E-05	5.39071	6E-05	12	61	10.09	-1.E-05	5.70747	6.1E-05
76	63	10.06	8.E-05	5.69051	6E-05	11	65	10.56	-1.E-05	5.97333	6.5E-05
70	66	10.56	7.E-05	5.97333	7E-05	10	89	11.09	-1.E-05	6.27313	8.9E-05
63	68	11.06	6.E-05	6.25616	7E-05	8	72	11.59	-8.E-06	6.55596	7.2E-05
56	70	11.56	6.E-05	6.53899	7E-05	6	74	12.06	-6.E-06	6.82182	7.4E-05
51	72	12.06	5.E-05	6.82182	7E-05	4	78	12.56	-4.E-06	7.10465	7.8E-05
43	74	12.56	4.E-05	7.10465	7E-05	1	81	13.09	-1.E-06	7.40444	8.1E-05
37	76	13.06	4.E-05	7.38747	8E-05	0	84	13.56	0.E+00	7.6703	8.4E-05
31	78	13.56	3.E-05	7.6703	8E-05	-2	87	14.06	2.E-06	7.95313	8.7E-05
24	80	14.06	2.E-05	7.95313	8E-05	-5	90	14.53	5.E-06	8.21899	0.00009
18	83	14.56	2.E-05	8.23596	8E-05	-8	92	15.03	8.E-06	8.50182	9.2E-05
11	85	15.06	1.E-05	8.51879	9E-05	-11	96	15.59	1.E-05	8.81859	9.6E-05
3	87	15.56	3.E-06	8.80162	9E-05	-15	100	16.09	2.E-05	9.10141	0.0001
-4	89	16.13	-4.E-06	9.12404	9E-05	-18	103	16.59	2.E-05	9.38424	0.0001
-11	91	16.56	-1.E-05	9.36727	9E-05	-22	105	17.06	2.E-05	9.6501	0.00011
-19	91	17.06	-2.E-05	9.6501	9E-05	-25	109	17.56	3.E-05	9.93293	0.00011
-28	93	17.56	-3.E-05	9.93293	9E-05	-30	111	18.09	3.E-05	10.2327	0.00011
-38	94	18.09	-4.E-05	10.2327	9E-05	-33	114	18.56	3.E-05	10.4986	0.00011
-45	96	18.53	-5.E-05	10.4816	1E-04	-38	117	19.09	4.E-05	10.7984	0.00012
-54	98	19.06	-5.E-05	10.7814	1E-04	-43	119	19.59	4.E-05	11.0812	0.00012
-61	99	19.56	-6.E-05	11.0642	1E-04	-47	122	20.09	5.E-05	11.364	0.00012
-69	101	20.06	-7.E-05	11.3471	0.0001	-52	125	20.56	5.E-05	11.6299	0.00013
-77	103	20.53	-8.E-05	11.6129	0.0001	-56	127	21.09	6.E-05	11.9297	0.00013
-87	105	21.06	-9.E-05	11.9127	0.0001	-61	130	21.56	6.E-05	12.1956	0.00013
-93	107	21.53	-9.E-05	12.1786	0.0001	-66	133	22.06	7.E-05	12.4784	0.00013
-102	109	22.06	-1.E-04	12.4784	0.0001	-71	136	22.56	7.E-05	12.7612	0.00014
-110	109	22.56	-1.E-04	12.7612	0.0001	-75	139	23.03	8.E-05	13.0271	0.00014
-118	111	23.06	-1.E-04	13.044	0.0001	-81	142	23.56	8.E-05	13.3269	0.00014
-127	113	23.56	-1.E-04	13.3269	0.0001	-86	145	24.06	9.E-05	13.6097	0.00015
-136	115	24.09	-1.E-04	13.6267	0.0001	-91	148	24.56	9.E-05	13.8925	0.00015
-145	117	24.56	-1.E-04	13.8925	0.0001	-97	150	25.06	1.E-04	14.1754	0.00015
-154	118	25.06	-2.E-04	14.1754	0.0001	-102	154	25.56	1.E-04	14.4582	0.00015
-163	120	25.53	-2.E-04	14.4412	0.0001	-108	157	26.06	1.E-04	14.741	0.00016







**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL**

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

-1501	322	85.55	-2.E-03	48.3919	0.0003	-1100	613	86.59	1.E-03	48.9802	0.00061
-1520	325	86.05	-2.E-03	48.6747	0.0003	-1109	619	87.02	1.E-03	49.2234	0.00062
-1543	324	86.55	-2.E-03	48.9576	0.0003	-1123	627	87.55	1.E-03	49.5232	0.00063
-1566	327	87.05	-2.E-03	49.2404	0.0003	-1136	636	88.05	1.E-03	49.8061	0.00064
-1587	330	87.55	-2.E-03	49.5232	0.0003	-1148	644	88.52	1.E-03	50.0719	0.00064
-1610	336	88.05	-2.E-03	49.8061	0.0003	-1162	652	89.05	1.E-03	50.3717	0.00065
-1633	344	88.55	-2.E-03	50.0889	0.0003	-1174	659	89.55	1.E-03	50.6545	0.00066
-1659	361	89.05	-2.E-03	50.3717	0.0004	-1186	666	90.05	1.E-03	50.9374	0.00067
-1684	383	89.55	-2.E-03	50.6545	0.0004	-1199	672	90.52	1.E-03	51.2032	0.00067
-1711	414	90.05	-2.E-03	50.9374	0.0004	-1211	678	91.05	1.E-03	51.503	0.00068
-1733	456	90.52	-2.E-03	51.2032	0.0005	-1223	685	91.55	1.E-03	51.7859	0.00069
-1757	503	91.02	-2.E-03	51.4861	0.0005	-1236	691	92.05	1.E-03	52.0687	0.00069
-1782	550	91.55	-2.E-03	51.7859	0.0006	-1247	697	92.52	1.E-03	52.3345	0.0007
-1805	565	92.05	-2.E-03	52.0687	0.0006	-1261	703	93.05	1.E-03	52.6343	0.0007
-1829	619	92.49	-2.E-03	52.3176	0.0006	-1274	710	93.52	1.E-03	52.9002	0.00071
-1865	836	92.82	-2.E-03	52.5042	0.0008	-1287	716	94.05	1.E-03	53.2	0.00072
						-1299	723	94.55	1.E-03	53.4828	0.00072
						-1313	729	95.05	1.E-03	53.7657	0.00073
						-1328	737	95.55	1.E-03	54.0485	0.00074
						-1341	747	96.05	1.E-03	54.3313	0.00075
						-1358	763	96.59	1.E-03	54.6368	0.00076
						-1370	785	97.05	1.E-03	54.897	0.00079

Sampel	$\epsilon_2$	S2	S1	E
1	0.0003	23.8141	10.3289	50318.1
2	0.0003	13.6436	4.55549	41498.4
3	0.0015	22.8638	0.23542	15924.3
4	0.0005	24.0743	7.95313	36556
5	0.0003	24.0913	9.10141	52967.8



**LAMPIRAN G-1**

**HASIL UJI SUSUT BETON (DATA)**

NO	HARI	TANGGAL	PUKUL	t menit	Waktu jam	SUHU UDARA (°C)	RH	SAMPEL 32/33		SAMPEL 34/32		SAMPEL 31/34		Waktu Kumulatif jam	Hari ke
								REGANGAN	SUHU	REGANGAN	SUHU	REGANGAN	SUHU		
								(µm)	(°C)	(µm)	(°C)	(µm)	(°C)		
1	KAMIS	08/03/2012	15:00	0	0.00	27.7	70		27.6	2802.6	49.6	2902.1	42.7	0	0.000
2	KAMIS	08/03/2012	15:15	15	0.25	27.7	70		49.6	2802.9	49.6	2902.2	42.7	0.25	0.010
3	KAMIS	08/03/2012	15:30	15	0.25	27.7	70		26.8	2802.1	43.9	2900.4	37	0.50	0.021
4	KAMIS	08/03/2012	15:45	15	0.25	27.7	70		27.2	2799.2	36.35	2899.5	29.5	0.75	0.031
5	KAMIS	08/03/2012	16:00	15	0.25	27.7	70		25.8	2799.6	28.8	2899	21.9	1.00	0.042
6	KAMIS	08/03/2012	16:15	15	0.25	27.7	70		25.3	2800.1	25.3	2898.5	18.4	1.25	0.052
7	KAMIS	08/03/2012	16:30	15	0.25	28.0	70		24.5	2798.5	35.9	2899.1	29	1.50	0.063
8	KAMIS	08/03/2012	16:45	15	0.25	28.0	68		27.8	2798.8	42.3	2899.4	35.4	1.75	0.073
9	KAMIS	08/03/2012	17:00	15	0.25	28.0	68		27.7	2799.1	47	2899.3	40.1	2.00	0.083
10	KAMIS	08/03/2012	17:15	15	0.25	28.8	68		27.6	2799.2	36.3	2899.1	29.7	2.25	0.094
11	KAMIS	08/03/2012	17:30	15	0.25	28.0	68		28.3	2799.4	28.1	2899.1	30.1	2.50	0.104
12	KAMIS	08/03/2012	17:45	15	0.25	28.0	68		28.7	2799.5	34.5	2899.2	43.6	2.75	0.115
13	KAMIS	08/03/2012	18:00	15	0.25	28.0	68		26	2799.7	30	2899.2	28.5	3.00	0.125
14	KAMIS	08/03/2012	18:15	15	0.25	28.0	68		36	2799.8	23.7	2899.5	28.2	3.25	0.135
15	KAMIS	08/03/2012	18:30	15	0.25	28.0	68		28.9	2799.9	27.5	2899.6	28.5	3.50	0.146
16	KAMIS	08/03/2012	18:45	15	0.25	28.0	68		27.9	2800	28	2899.7	28.4	3.75	0.156
17	KAMIS	08/03/2012	19:00	15	0.25	28.0	67		27.5	2800.1	28.3	2899.8	28.6	4.00	0.167
18	KAMIS	08/03/2012	19:15	15	0.25	28.0	67		27.8	2800.2	28	2899.9	28	4.25	0.177
19	KAMIS	08/03/2012	19:30	15	0.25	28.0	66		25.7	2800.8	28.4	2900.4	27.9	4.50	0.188
20	KAMIS	08/03/2012	19:45	15	0.25	28.0	66		29.2	2801.1	28.4	2900.7	28	4.75	0.198
21	KAMIS	08/03/2012	20:00	15	0.25	28.0	64		24.7	2801.5	27.8	2901.2	28.1	5.00	0.208
22	KAMIS	08/03/2012	20:15	15	0.25	28.0	64		27.6	2801.5	27.5	2901.4	28.5	5.25	0.219
23	KAMIS	08/03/2012	20:30	15	0.25	28.0	64		28	2801.4	27	2901.3	28.5	5.50	0.229
24	KAMIS	08/03/2012	20:45	15	0.25	28.0	64		30.5	2801.4	26.1	2901.5	27.6	5.75	0.240
25	KAMIS	08/03/2012	21:00	15	0.25	28.0	63		29.5	2801.1	29.7	2901.7	22.6	6.00	0.250
26	KAMIS	08/03/2012	21:15	15	0.25	28.0	62		31.7	2800.4	28.2	2901.5	28.7	6.25	0.260
27	KAMIS	08/03/2012	21:30	15	0.25	28.0	62		33.5	2799.8	31.2	2901.2	29.1	6.50	0.271



## LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

28	KAMIS	08/03/2012	21:45	15	0.25	28.0	61		33.8	2798.8	31.8	2900.4	28.9	6.75	0.281
29	KAMIS	08/03/2012	22:00	15	0.25	28.0	61		32.1	2797.3	31.8	2900.4	28.8	7.00	0.292
30	KAMIS	08/03/2012	22:15	15	0.25	28.0	61		32.1	2797.2	31.9	2899.3	29.1	7.25	0.302
31	KAMIS	08/03/2012	22:30	15	0.25	28.0	61		35.8	2794.8	33.7	2898.1	30.1	7.50	0.313
32	KAMIS	08/03/2012	22:45	15	0.25	28.0	61		37.1	2793.1	34.5	2897.4	31.9	7.75	0.323
33	KAMIS	08/03/2012	23:00	15	0.25	28.0	61		36.3	2791	35.3	2896.6	31.4	8.00	0.333
34	KAMIS	08/03/2012	23:15	15	0.25	28.0	61		36.3	2786.6	35.6	2894.8	32.6	8.25	0.344
35	KAMIS	08/03/2012	23:30	15	0.25	28.0	62		36.3	2784.2	36.7	2892.7	33.1	8.50	0.354
36	KAMIS	08/03/2012	23:45	15	0.25	28.0	62		37	2783	36.7	2890.3	30.2	8.75	0.365
37	JUMAT	09/03/2012	0:00	15	0.25	28.0	62		36.9	2782.2	37.9	2887.7	31.1	9.00	0.375
38	JUMAT	09/03/2012	0:15	15	0.25	28.1	62		36.2	2781.5	38.4	2885.1	37	9.25	0.385
39	JUMAT	09/03/2012	0:30	15	0.25	28.1	63		34.4	2781	33.6	2883.8	37.3	9.50	0.396
40	JUMAT	09/03/2012	0:45	15	0.25	28.1	63		34.2	2780.9	34	2883.1	31.3	9.75	0.406
41	JUMAT	09/03/2012	1:00	15	0.25	28.1	63		34.2	2780.8	34	2883	35.7	10.00	0.417
42	JUMAT	09/03/2012	1:15	15	0.25	28.1	63		31.9	2781	38.1	2882.8	34.7	10.25	0.427
43	JUMAT	09/03/2012	1:30	15	0.25	28.1	64		31.2	2781.3	33.4	2882.7	31.5	10.50	0.438
44	JUMAT	09/03/2012	1:45	15	0.25	28.1	64		34.6	2781.6	34.5	2883	34.6	10.75	0.448
45	JUMAT	09/03/2012	2:00	15	0.25	28.0	64		34.8	2781.9	34	2883.2	36.1	11.00	0.458
46	JUMAT	09/03/2012	2:15	15	0.25	28.0	64		34.8	2782.3	36.4	2883.6	35.2	11.25	0.469
47	JUMAT	09/03/2012	2:30	15	0.25	28.0	65		34.5	2782.7	36.2	2884	33.1	11.50	0.479
48	JUMAT	09/03/2012	2:45	15	0.25	28.0	65		33.1	2783.4	36.7	2884.9	32.5	11.75	0.490
49	JUMAT	09/03/2012	3:00	15	0.25	28.0	65		33.1	2784.3	34	2885.7	32	12.00	0.500
50	JUMAT	09/03/2012	3:15	15	0.25	28.0	64		32.9	2784.8	33	2886	31.5	12.25	0.510
51	JUMAT	09/03/2012	3:30	15	0.25	28.0	64		32.9	2785.5	32	2886.6	31	12.50	0.521
52	JUMAT	09/03/2012	3:45	15	0.25	28.0	64		31.3	2785.5	31.5	2886.9	30.8	12.75	0.531
53	JUMAT	09/03/2012	4:00	15	0.25	28.0	63		31	2785.5	31	2887	30.5	13.00	0.542
54	JUMAT	09/03/2012	4:15	15	0.25	28.0	63		29.5	2786.2	30	2887.8	30	13.25	0.552
55	JUMAT	09/03/2012	4:30	15	0.25	28.0	63		29	2786.4	29	2888	29.5	13.50	0.563
56	JUMAT	09/03/2012	4:45	15	0.25	28.0	63		28.5	2786.6	28	2888.2	29	13.75	0.573
57	JUMAT	09/03/2012	5:00	15	0.25	28.0	63		28	2787.3	28.6	2889	28.9	14.00	0.583
58	JUMAT	09/03/2012	5:15	15	0.25	27.9	64		27.3	2788.3	28.7	2890.4	28.6	14.25	0.594
59	JUMAT	09/03/2012	5:30	15	0.25	27.9	64		30.1	2788.8	31.8	2890.9	29.8	14.50	0.604
60	JUMAT	09/03/2012	5:45	15	0.25	27.9	64		31.9	2789	32.5	2891.2	31.7	14.75	0.615
61	JUMAT	09/03/2012	6:00	15	0.25	27.9	64		30.8	2789.3	27.8	2891.5	29.5	15.00	0.625
62	JUMAT	09/03/2012	6:15	15	0.25	27.9	64		30.7	2789.3	32.6	2891.9	33.7	15.25	0.635



# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

63	JUMAT	09/03/2012	6:30	15	0.25	27.9	65		30.6	2790.2	32.6	2893	30.7	15.50	0.646
64	JUMAT	09/03/2012	6:45	15	0.25	27.9	65		30.3	2790.7	32.2	2893.4	30.7	15.75	0.656
65	JUMAT	09/03/2012	7:00	15	0.25	27.9	64		31.3	2791.1	31.8	2893.9	32.5	16.00	0.667
66	JUMAT	09/03/2012	7:15	15	0.25	27.9	64		30	2791.2	32	2894.1	30.3	16.25	0.677
67	JUMAT	09/03/2012	7:30	15	0.25	27.9	64		30.6	2791.7	30.4	2894.8	30.4	16.50	0.688
68	JUMAT	09/03/2012	7:45	15	0.25	27.9	64		31.1	2792.2	29.6	2895.2	32.2	16.75	0.698
69	JUMAT	09/03/2012	8:00	15	0.25	28.0	63		27.3	2792.7	29.6	2896	31.9	17.00	0.708
70	JUMAT	09/03/2012	8:15	15	0.25	28.0	64		25.4	2792.9	30.2	2896.1	28.2	17.25	0.719
71	JUMAT	09/03/2012	8:30	15	0.25	28.0	64		30.1	2793.2	30.3	2896.5	29.4	17.50	0.729
72	JUMAT	09/03/2012	8:45	15	0.25	28.1	65		30.2	2793.7	29.5	2897	30.6	17.75	0.740
73	JUMAT	09/03/2012	9:00	15	0.25	28.1	66		30	2793.9	30.6	2897.1	30.8	18.00	0.750
74	JUMAT	09/03/2012	9:15	15	0.25	28.1	66		31	2794.1	30.3	2897.2	31	18.25	0.760
75	JUMAT	09/03/2012	9:30	15	0.25	28.1	66		30.1	2794.2	30.2	2897.5	30.9	18.50	0.771
76	JUMAT	09/03/2012	9:45	15	0.25	28.1	66		30	2794.3	30.1	2897.6	30.8	18.75	0.781
77	JUMAT	09/03/2012	10:00	15	0.25	28.1	66		30.2	2794.4	30.2	2897.8	30.7	19.00	0.792
78	JUMAT	09/03/2012	10:15	15	0.25	28.1	66		30	2794.6	30.5	2898	30.7	19.25	0.802
79	JUMAT	09/03/2012	10:30	15	0.25	28.2	67		29.8	2794.8	30.2	2898.2	27.9	19.50	0.813
80	JUMAT	09/03/2012	10:45	15	0.25	28.2	67		29.6	2795	29.6	2898.4	29.8	19.75	0.823
81	JUMAT	09/03/2012	11:00	15	0.25	28.3	66		29.4	2795.1	32.1	2898.8	31.5	20.00	0.833
82	JUMAT	09/03/2012	11:15	15	0.25	28.3	66		29.1	2795.3	28.9	2898.7	31	20.25	0.844
83	JUMAT	09/03/2012	11:30	15	0.25	28.3	66		29.8	2795.3	27	2898.8	30.9	20.50	0.854
84	JUMAT	09/03/2012	11:45	15	0.25	28.4	66		30.1	2795.5	31	2898.9	30.2	20.75	0.865
85	JUMAT	09/03/2012	12:00	15	0.25	28.4	65		29	2795.3	31	2898	28.1	21.00	0.875
86	JUMAT	09/03/2012	12:15	15	0.25	28.4	65		28.3	2795.3	28	2899	31.1	21.25	0.885
87	JUMAT	09/03/2012	12:30	15	0.25	28.5	64		26.4	2795.4	30.8	2899.1	31.2	21.50	0.896
88	JUMAT	09/03/2012	12:45	15	0.25	28.5	63		30.1	2795.4	30.7	2899.1	30.5	21.75	0.906
89	JUMAT	09/03/2012	13:00	15	0.25	28.5	64		30	2795.5	30.8	2899.3	27.4	22.00	0.917
90	JUMAT	09/03/2012	13:15	15	0.25	28.5	64		29.3	2795.5	29.5	2899.3	29.2	22.25	0.927
91	JUMAT	09/03/2012	13:30	15	0.25	28.6	65		29.7	2795.4	30.5	2899.3	30.3	22.50	0.938
92	JUMAT	09/03/2012	13:45	15	0.25	28.6	65		27.9	2795.5	30.7	2899.5	29.7	22.75	0.948
93	JUMAT	09/03/2012	14:00	15	0.25	28.6	64		29.4	2795.6	29.1	2899.5	31	23.00	0.958
94	JUMAT	09/03/2012	14:15	15	0.25	28.6	64		29.1	2795.5	30.7	2899.5	28.1	23.25	0.969
95	JUMAT	09/03/2012	14:30	15	0.25	28.7	64		30.1	2795.7	29.9	2899.7	27.6	23.50	0.979
96	JUMAT	09/03/2012	14:45	15	0.25	28.6	68		29.8	2791.7	30.4	2898.2	30.5	23.75	0.990





# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

97	JUMAT	09/03/2012	15:00	15	0.25	28.3	70		29.5	2784.6	29.8	2897.6	29.7	24.00	1.000
98	JUMAT	09/03/2012	15:15	15	0.25	28.3	71		29	2784.3	29.6	2896.3	28	24.25	1.010
99	JUMAT	09/03/2012	15:30	15	0.25	28.1	74		28.8	2780	29.3	2893.4	27.6	24.50	1.021
100	JUMAT	09/03/2012	15:45	15	0.25	28.6	73		27.4	2777.5	29.1	2891.5	26.6	24.75	1.031
101	JUMAT	09/03/2012	16:00	15	0.25	27.1	77		26.1	2779.5	26.4	2893.7	28.6	25.00	1.042
102	JUMAT	09/03/2012	16:15	15	0.25	26.9	80		27.9	2779.6	28.3	2894.6	28.5	25.25	1.052
103	JUMAT	09/03/2012	16:30	15	0.25	26.6	81		27.6	2778.2	27.1	2894.6	28.2	25.50	1.063
104	JUMAT	09/03/2012	17:30	60	1.00	26.6	84		26.6	2779.9	26.9	2896.7	27.2	26.50	1.104
105	JUMAT	09/03/2012	18:30	60	1.00	25.3	86		24.4	2780.1	26.4	2898.2	26.3	27.50	1.146
106	JUMAT	09/03/2012	19:30	60	1.00	25.2	87		25.5	2781.5	26	2900.5	25.6	28.50	1.188
107	JUMAT	09/03/2012	20:30	60	1.00	25.1	88		25.1	2783.7	25.1	2903	25.3	29.50	1.229
108	JUMAT	09/03/2012	21:30	60	1.00	25.1	89		24.8	2785.4	24.2	2904.1	25.2	30.50	1.271
109	JUMAT	09/03/2012	22:30	60	1.00	25.0	90		24.7	2785.9	24.5	2905	24.3	31.50	1.313
110	JUMAT	09/03/2012	23:30	60	1.00	24.9	91		25	2786.7	25	2905.6	24	32.50	1.354
111	SABTU	10/03/2012	0:30	60	1.00	24.9	92		23.2	2786.6	24.8	2907.3	23.7	33.50	1.396
112	SABTU	10/03/2012	1:30	60	1.00	24.8	93		24.4	2788.7	24.7	2908.1	24.2	34.50	1.438
113	SABTU	10/03/2012	2:30	60	1.00	24.8	93		24.6	2789.3	24.4	2908.5	24.4	35.50	1.479
114	SABTU	10/03/2012	3:30	60	1.00	24.8	93		24.7	2789.4	25	2908.7	25.1	36.50	1.521
115	SABTU	10/03/2012	4:30	60	1.00	24.8	93		24.6	2789.7	25	2908.9	25.1	37.50	1.563
116	SABTU	10/03/2012	5:30	60	1.00	24.8	93		24.6	2789.8	24.9	2908.9	25	38.50	1.604
117	SABTU	10/03/2012	6:30	60	1.00	24.6	95		23.6	2790	24.5	2909.1	24.7	39.50	1.646
118	SABTU	10/03/2012	7:30	60	1.00	24.8	95		24.3	2790.5	24.2	2909.4	24.1	40.50	1.688
119	SABTU	10/03/2012	8:30	60	1.00	25.2	95		24.7	2790.5	24	2908.9	24.4	41.50	1.729
120	SABTU	10/03/2012	9:30	60	1.00	25.8	92		25.2	2789.3	25.1	2907.7	24.8	42.50	1.771
121	SABTU	10/03/2012	10:30	60	1.00	25.9	91		25.3	2788.1	25.5	2906.3	25.6	43.50	1.813
122	SABTU	10/03/2012	11:30	60	1.00	25.6	94		25.3	2787.6	25.9	2905.7	26	44.50	1.854
123	SABTU	10/03/2012	12:30	60	1.00	25.4	94		24.4	2787.3	25.7	2905.4	25.9	45.50	1.896
124	SABTU	10/03/2012	13:30	60	1.00	25.4	94		24.1	2787.7	25.9	2906	25.9	46.50	1.938
125	SABTU	10/03/2012	14:30	60	1.00	26.2	91		24.1	2787.3	25.6	2905.3	26.1	47.50	1.979
126	SABTU	10/03/2012	15:30	60	1.00	26.7	86		25.4	2785.6	25.4	2903.5	26.3	48.50	2.021
127	SABTU	10/03/2012	16:30	60	1.00	26.6	83		25.3	2784.5	25.5	2904.3	25.9	49.50	2.063
128	SABTU	10/03/2012	17:30	60	1.00	26.3	83		25.2	2783.7	25.7	2901.9	26.3	50.50	2.104
129	SABTU	10/03/2012	18:30	60	1.00	26.1	82		25.4	2783.4	25	2902	26.4	51.50	2.146
130	SABTU	10/03/2012	19:30	60	1.00	26.0	82		25	2783.4	25.5	2902.2	26.1	52.50	2.188
131	SABTU	10/03/2012	20:30	60	1.00	25.8	82		24.9	2782.7	25.7	2901.9	24.8	53.50	2.229



## LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

132	SABTU	10/03/2012	21:30	60	1.00	25.6	81		25	2782.7	25.2	2902.5	25.6	54.50	2.271
133	SABTU	10/03/2012	22:30	60	1.00	25.6	82		25.1	2783	25.5	2903	24.6	55.50	2.313
134	SABTU	10/03/2012	23:30	60	1.00	25.5	81		25.2	2782.5	25.6	2902.8	25.6	56.50	2.354
135	MINGGU	11/03/2012	0:30	60	1.00	25.5	81		25.1	2783.4	25.7	2903.5	25.4	57.50	2.396
136	MINGGU	11/03/2012	1:30	60	1.00	25.5	82		25.3	2782.2	25.6	2902.6	25.6	58.50	2.438
137	MINGGU	11/03/2012	2:30	60	1.00	25.2	82		25.1	2783	25.4	2903.3	25.2	59.50	2.479
138	MINGGU	11/03/2012	3:30	60	1.00	24.9	86		24.5	2783.5	25.2	2904	24.9	60.50	2.521
139	MINGGU	11/03/2012	4:30	60	1.00	24.7	87		24.3	2783.7	24.9	2904.4	24.8	61.50	2.563
140	MINGGU	11/03/2012	5:30	60	1.00	24.7	88		24.4	2784	24.8	2904.7	25.1	62.50	2.604
141	MINGGU	11/03/2012	6:30	60	1.00	24.7	88		24.2	2783.5	24.8	2904.5	24.9	63.50	2.646
142	MINGGU	11/03/2012	7:30	60	1.00	24.6	86		24.2	2784	24.2	2905.4	24.5	64.50	2.688
143	MINGGU	11/03/2012	8:30	60	1.00	24.9	85		23.7	2784.6	22.7	2905.5	22.4	65.50	2.729
144	MINGGU	11/03/2012	9:30	60	1.00	25.8	83		24.9	2784.6	23.8	2905.3	24.2	66.50	2.771
145	MINGGU	11/03/2012	10:30	60	1.00	26.4	81		24.3	2784.5	25	2904.7	23.3	67.50	2.813
146	MINGGU	11/03/2012	11:30	60	1.00	26.7	80		24.2	2783.4	25.1	2903	24	68.50	2.854
147	MINGGU	11/03/2012	12:30	60	1.00	27.2	76		24.5	2782.3	24.1	2901.8	24.9	69.50	2.896
148	MINGGU	11/03/2012	13:30	60	1.00	27.6	73		24.7	2781.7	25	2901.1	24.7	70.50	2.938
149	MINGGU	11/03/2012	14:30	60	1.00	27.9	71		25.5	2781.1	24.9	2900.2	24.5	71.50	2.979
150	MINGGU	11/03/2012	15:30	60	1.00	26.7	75		24	2779.4	25	2898.8	24	72.50	3.021
151	MINGGU	11/03/2012	17:30	120	2.00	26.8	71		24	2780.3	25.5	2899.5	25.4	74.50	3.104
152	MINGGU	11/03/2012	19:30	120	2.00	26.3	75		24.6	2780	25.6	2898.8	25.6	76.50	3.188
153	MINGGU	11/03/2012	21:30	120	2.00	26.1	77		24.2	2779.7	24.9	2898.7	24.9	78.50	3.271
154	MINGGU	11/03/2012	23:30	120	2.00	25.7	81		23.8	2779.3	23.2	2898.4	25.5	80.50	3.354
155	SENIN	12/03/2012	1:30	120	2.00	25.4	80		21.1	2780	24.8	2899.4	24.9	82.50	3.438
156	SENIN	12/03/2012	3:30	120	2.00	25.2	82		22.5	2780.3	24.7	2899.8	25	84.50	3.521
157	SENIN	12/03/2012	5:30	120	2.00	25.0	83		23.8	2780.5	24.6	2900.1	23.6	86.50	3.604
158	SENIN	12/03/2012	7:30	120	2.00	25.2	84		24.6	2781.9	24.1	2901.4	25	88.50	3.688
159	SENIN	12/03/2012	9:30	120	2.00	27.0	78		24	2780.7	24.5	2899	25.4	90.50	3.771
160	SENIN	12/03/2012	11:30	120	2.00	28.6	71		22.8	2779.2	25	2897.4	25.6	92.50	3.854
161	SENIN	12/03/2012	13:30	120	2.00	29.0	67		26.2	2777.9	26.6	2895.7	25.4	94.50	3.938
162	SENIN	12/03/2012	15:30	120	2.00	28.4	69		24.4	2777.3	24.6	2894.7	24	96.50	4.021
163	SENIN	12/03/2012	17:30	120	2.00	28.4	68		22.5	2776.5	22.9	2893.9	26.6	98.50	4.104
164	SENIN	12/03/2012	19:30	120	2.00	28.1	70		25.9	2775.6	22.7	2893.4	26.7	100.50	4.188
165	SENIN	12/03/2012	21:30	120	2.00	26.7	81		26.3	2775.3	26.7	2893	26.9	102.50	4.271
166	SENIN	12/03/2012	23:30	120	2.00	26.3	83		26.3	2775.1	26.2	2893.1	25.8	104.50	4.354



## LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

167	SELASA	13/03/2012	1:30	120	2.00	25.9	81		25.1	2776.3	25.4	2895	25.6	106.50	4.438
168	SELASA	13/03/2012	3:30	120	2.00	25.9	82		25.3	2776.9	25.6	2895.4	25.4	108.50	4.521
169	SELASA	13/03/2012	5:30	120	2.00	25.6	79		25.1	2776.5	25.1	2895.3	25.8	110.50	4.604
170	SELASA	13/03/2012	7:30	120	2.00	28.0	70		25.8	2776.9	25.3	2895.7	25.8	112.50	4.688
171	SELASA	13/03/2012	9:30	120	2.00	27.8	71		25.8	2777.4	25.7	2896	25.9	114.50	4.771
172	SELASA	13/03/2012	11:30	120	2.00	27.5	72		25.8	2777.8	25.9	2896.2	26	116.50	4.854
173	SELASA	13/03/2012	13:30	120	2.00	27.8	80		25.9	2775.4	26.1	2893.7	26.2	118.50	4.938
174	SELASA	13/03/2012	15:30	120	2.00	26.2	88		26	2776.4	26.2	2894.5	26.2	120.50	5.021
175	SELASA	13/03/2012	17:30	120	2.00	26.8	82		25.8	2776	26	2893.9	26	122.50	5.104
176	SELASA	13/03/2012	19:30	120	2.00	27.1	76		26	2775.7	26.1	2893.3	26.2	124.50	5.188
177	SELASA	13/03/2012	21:30	120	2.00	27.7	70		25.9	2774.9	25.9	2892.8	26.1	126.50	5.271
178	SELASA	13/03/2012	23:30	120	2.00	25.7	84		25.5	2775	25.7	2893.2	25.9	128.50	5.354
179	RABU	14/03/2012	1:30	120	2.00	25.6	86		25.5	2775.1	25.6	2893.4	25.7	130.50	5.438
180	RABU	14/03/2012	3:30	120	2.00	25.2	86		25.1	2774.9	25.3	2893.6	25.4	132.50	5.521
181	RABU	14/03/2012	5:30	120	2.00	25.1	86		25	2775.2	25.2	2894.1	25.2	134.50	5.604
182	RABU	14/03/2012	7:30	120	2.00	24.7	85		24.4	2775.8	24.6	2894.9	24.8	136.50	5.688
183	RABU	14/03/2012	9:30	120	2.00	25.9	82		24.8	2777.6	25	2896.6	25.1	138.50	5.771
184	RABU	14/03/2012	11:30	120	2.00	28.7	66		25.9	2778.3	26.1	2894.3	26.1	140.50	5.854
185	RABU	14/03/2012	13:30	120	2.00	29.2	58		25.8	2774.9	26	2892.8	26.2	142.50	5.938
186	RABU	14/03/2012	15:30	120	2.00	29.4	50		25.5	2773.7	25.7	2890.9	26.1	144.50	6.021
187	RABU	14/03/2012	17:30	120	2.00	28.3	58		25.4	2774.7	25.6	2891.7	26	146.50	6.104
188	RABU	14/03/2012	19:30	120	2.00	27	63		25.5	2774	25.7	2890.2	25.9	148.50	6.188
189	RABU	14/03/2012	21:30	120	2.00	25.5	70		25.4	2773.7	25.8	2890.3	25.9	150.50	6.271
190	RABU	14/03/2012	23:30	120	2.00	25.7	76		25.2	2773.1	25.5	2890.3	25.6	152.50	6.354
191	KAMIS	15/03/2012	1:30	120	2.00	26.1	75		25.1	2773.5	25.4	2891.2	25.5	154.50	6.438
192	KAMIS	15/03/2012	3:30	120	2.00	26.1	75		24.8	2773.5	25.4	2891.1	25.5	156.50	6.521
193	KAMIS	15/03/2012	5:30	120	2.00	25.4	79		25.1	2773.4	25.2	2891	25.2	158.50	6.604
194	KAMIS	15/03/2012	7:30	120	2.00	27.9	70		25	2774.5	25.2	2892.1	25.3	160.50	6.688
195	KAMIS	15/03/2012	9:30	120	2.00	27.4	73		25.8	2774	25.9	2891.4	26.1	162.50	6.771
196	KAMIS	15/03/2012	11:30	120	2.00	28.7	64		25.7	2774.2	26	2890.5	26.3	164.50	6.854
197	KAMIS	15/03/2012	13:30	120	2.00	29.3	62		26.2	2773.1	26.3	2888.6	26.6	166.50	6.938
198	KAMIS	15/03/2012	15:30	120	2.00	29.2	61		25.9	2772.3	26.3	2888.6	26.5	168.50	7.021
199	KAMIS	15/03/2012	17:30	120	2.00	28.6	64		26	2772.3	26.3	2888.5	26.6	170.50	7.104
200	SENIN	19/03/2012	9:41	5291	88.18	28.1	74		27.4	2707.8	27.6	2827.4	27.5	258.68	10.778
201	SELASA	20/03/2012	9:52	1451	24.18	27.8	69		27.7	2696.5	27.8	2814.8	27.8	282.87	11.786



# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

202	RABU	21/03/2012	10:02	1450	24.17	28.3	68		28	2689	28.1	2806.6	28.1	307.03	12.793
203	KAMIS	22/03/2012	14:15	1693	28.22	28.9	67		28.8	2678.5	28.8	2795.5	28.8	335.25	13.969
204	SENIN	26/03/2012	9:40	5485	91.42	29.4	67		29.4	2656.5	29.5	2769.4	29.5	426.67	17.778
205	SELASA	27/03/2012	9:48	1448	24.13	29.2	69		29.5	2653.2	29.6	2765.8	29.6	450.80	18.783
206	RABU	28/03/2012	9:30	1422	23.70	28.7	68		29.2	2641.5	29.4	2759.5	29.3	474.50	19.771
207	KAMIS	29/03/2012	9:50	1460	24.33	28.8	68		29.2	2645.7	29.5	2756.6	29.4	498.83	20.785
208	JUM'AT	30/03/2012	10:00	1450	24.17	28.9	74		29.1	2644.3	29.2	2754.8	29.4	523.00	21.792
209	SENIN	02/04/2012	9:15	4275	71.25	28.4	75		28.2	2640.2	29.1	2749.6	29.3	594.25	24.760
210	SELASA	03/04/2012	9:30	1455	24.25	27.2	74		27.9	2635.8	28.1	2744.5	28.1	618.50	25.771
211	RABU	04/04/2012	9:32	1442	24.03	27.8	72		27.8	2633.2	27.9	2741.6	27.9	642.53	26.772
212	KAMIS	05/04/2012	9:48	1456	24.27	27.6	72		27.7	2631.1	28	2739.1	28	666.80	27.783
213	SENIN	09/04/2012	9:45	5757	95.95	26.6	79		26.8	2633.1	27	2739.7	27.1	762.75	31.781
214	SELASA	10/04/2012	10:00	1455	24.25	26.8	82		27	2632.7	27.2	2738.9	27.2	787.00	32.792
215	RABU	11/04/2012	9:30	1410	23.50	27.3	74		27.3	2628.9	27.4	2734.3	27.4	810.50	33.771
216	KAMIS	12/04/2012	9:32	1442	24.03	27.2	74		27.3	2625	27.6	2730	27.5	834.53	34.772
217	JUM'AT	13/04/2012	9:54	1462	24.37	27.6	70		27.6	2621.3	27.9	2725.8	27.9	858.90	35.788
218	SENIN	16/04/2012	9:32	4298	71.63	28.5	71		28.5	2613.3	28.8	2716.6	28.8	930.53	38.772
219	SELASA	17/04/2012	9:33	1441	24.02	28.8	73		28.9	2610.6	29	2713.4	28.9	954.55	39.773
220	RABU	18/04/2012	9:36	1443	24.05	28.5	71		28.4	2608.1	28.7	2710.7	28.7	978.60	40.775
221	KAMIS	19/04/2012	9:25	1429	23.82	28.4	78		28.8	2606.3	29	2708.5	29	1002.42	41.767
222	JUM'AT	20/04/2012	9:50	1465	24.42	28.3	77		28.5	2604.6	28.9	2706.8	28.9	1026.83	42.785
223	SENIN	23/04/2012	9:20	4290	71.50	28.3	74		28.3	2603.4	28.4	2704.3	28.4	1098.33	45.764
224	SELASA	24/04/2012	9:30	1450	24.17	28.7	72		28.7	2599.9	28.9	2700.4	28.9	1122.50	46.771
225	RABU	25/04/2012	9:40	1450	24.17	28.7	73		28.8	2595.8	28.9	2697	28.9	1146.67	47.778
226	KAMIS	26/04/2012	9:46	1446	24.10	28.8	71		28.9	2592.9	29.1	2692.6	29	1170.77	48.782
227	JUM'AT	27/04/2012	9:25	1419	23.65	28.9	69		29.2	2589.6	29.4	2689	29.4	1194.42	49.767
228	SENIN	30/04/2012	9:30	4325	72.08	28.7	67		28.5	2587.5	28.7	2688.1	28.8	1266.50	52.771
229	SELASA	01/05/2012	9:34	1444	24.07	28	74		28	2587.2	28.3	2685.8	28.3	1290.57	53.774
230	RABU	02/05/2012	9:45	1451	24.18	28.4	73		28.4	2586	28.6	2684	28.6	1314.75	54.781
231	KAMIS	03/05/2012	9:50	1445	24.08	28.1	76		28.3	2584.5	28.6	2683	28.7	1338.83	55.785
232	JUM'AT	04/05/2012	9:30	1420	23.67	28.3	67		28.4	2580.4	28.6	2677.9	28.6	1362.50	56.771
233	SENIN	07/05/2012	9:55	4345	72.42	27.5	75		27.9	2580.1	28.2	2677.2	28.2	1434.92	59.788
234	SELASA	08/05/2012	10:12	1457	24.28	27.7	72		27.3	2580.8	27.6	2677.7	27.6	1459.20	60.800
235	RABU	09/05/2012	10:20	1448	24.13	27.8	75		27.9	2580.7	28.1	2677.5	28.1	1483.33	61.806
236	KAMIS	10/05/2012	10:00	1420	23.67	28.9	72		28.4	2580.1	28.6	2676.5	28.6	1507.00	62.792



## LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

237	JUM'AT	11/05/2012	10:14	1454	24.23	28.8	72		28.7	2574.8	28.8	2670.8	28.9	1531.23	63.801
238	SENIN	14/05/2012	9:34	4240	70.67	28.8	74		28.7	2566.3	28.9	2661.8	28.9	1601.90	66.746
239	SELASA	15/05/2012	9:45	1451	24.18	28.5	74		28.5	2566.7	28.7	2662	28.7	1626.08	67.753
240	RABU	16/05/2012	9:40	1435	23.92	28.6	74		28.5	2566.9	28.7	2661.9	28.8	1650.00	68.750
241	SENIN	21/05/2012	9:42	7202	120.03	28.5	72		28.3	2564.6	28.4	2658.7	28.5	1770.03	73.751
242	SELASA	22/05/2012	9:45	1443	24.05	27.6	67		28.4	2559.9	28.6	2653.4	29.6	1794.08	74.753
243	RABU	23/05/2012	9:48	1443	24.05	27.9	67		28.6	2555.5	28.8	2650.7	28.8	1818.13	75.756
244	KAMIS	24/05/2012	9:45	1437	23.95	28.9	69		29.1	2554.2	29.2	2647.7	29.2	1842.08	76.753
245	JUM'AT	25/05/2012	9:55	1445	24.08	28.6	69		28.6	2552.3	28.7	2645.7	28.8	1866.17	77.757
246	SENIN	28/05/2012	9:33	4298	71.63	28.3	71		28.6	2546.6	28.7	2639.6	28.7	1937.80	80.742
247	SELASA	29/05/2012	9:40	1447	24.12	28.7	72		28.8	2547.9	28.9	2640.9	28.9	1961.92	81.747
248	RABU	30/05/2012	9:36	1436	23.93	28.9	69		29	2545.1	29.1	2637.8	29.2	1985.85	82.744
249	KAMIS	31/05/2012	9:40	1444	24.07	28.7	72		28.9	2543.8	29.1	2636.4	29.1	2009.92	83.747
250	JUM'AT	01/06/2012	9:25	1425	23.75	27.9	71		27.9	2541.2	28.1	2635.7	28.2	2033.67	84.736
251	SENIN	04/06/2012	9:35	4330	72.17	28.3	71		28.1	2544.6	28.3	2636.9	28.3	2105.83	87.743
252	SELASA	05/06/2012	9:45	1450	24.17	28.1	78		28.2	2544.4	28.5	2636.4	28.5	2130.00	88.750
253	RABU	06/06/2012	9:40	1435	23.92	28.2	75		28.2	2543.8	28.4	2635.4	28.5	2153.92	89.747
254	KAMIS	07/06/2012	9:28	1428	23.80	27.7	76		27.5	2541.5	27.9	2633.7	27.8	2177.72	90.738
255	JUM'AT	08/06/2012	9:22	1434	23.90	28.1	76		28.1	2542.2	28.3	2634.2	28.3	2201.62	91.734
256	SENIN	11/06/2012	9:30	1448	24.13	27.8	78		28	2544.2	28	2636.7	28	2225.75	92.740
257	SELASA	12/06/2012	9:45	1455	24.25	27.8	73		27.7	2540.4	27.9	2632.6	27.8	2250.00	93.750
258	RABU	13/06/2012	0.401	1433	23.88	28	76		27.9	2539.8	28.2	2632.9	28.2	2321.8833	96.745
259	KAMIS	14/06/2012	0.392	1427	23.78	28.3	75		28.4	2537.9	28.5	2630.2	28.6	2345.6667	97.736
260	JUM'AT	15/06/2012	0.396	1445	24.08	28.8	73		28.8	2534.8	29.1	2626.9	29.1	2369.75	98.74
261	SENIN	18/06/2012	0.389	4310	71.83	27.6	70		28.8	2524	28.9	2616.2	28.9	2441.5833	101.73
262	SELASA	19/06/2012	0.404	1462	24.37	27.8	71		29	2520.9	29.1	2613	29.1	2465.95	102.75
263	RABU	20/06/2012	0.406	1442	24.03	28.2	70		28.8	2518.2	29.1	2610.5	29	2489.9833	103.75
264	KAMIS	21/06/2012	0.413	1451	24.18	28.8	68		29.1	2517.1	29.3	2609.5	29.3	2514.1667	104.76
265	JUM'AT	22/06/2012	0.424	1455	24.25	28.7	73		29.5	2516	29.6	2609	29.6	2538.4167	105.77
266	SENIN	25/06/2012	0.41	4300	71.67	28.5	68		29.2	2511	29.3	2604.8	29.3	2610.0833	108.75
267	SELASA	26/06/2012	0.417	1450	24.17	28	69		29.1	2507.7	29.3	2602	29.5	2634.25	109.76
268	RABU	27/06/2012	0.419	1444	24.07	28	68		29.2	2505.6	29.3	2600.1	29.3	2658.3167	110.76
269	KAMIS	28/06/2012	0.431	1456	24.27	28.3	70		29	2503.1	29	2597.9	29	2682.5833	111.77



**LAMPIRAN G-2**

**HASIL UJI SUSUT BETON (PENGOLAHAN)**

No	Sampel							Sampel							$\mu\epsilon_{true} =$ $\mu\epsilon_{strain} =$ $\mu\epsilon_{strain}$ cum
	Beda regangan (R <sub>1</sub> -R <sub>0</sub> )	$\mu\epsilon_{cor}$ (R <sub>1</sub> -R <sub>0</sub> )B	$\mu\epsilon_{cor}$ cum	Beda suhu (T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub> ) (°C)	$\mu\epsilon_{suhu}$ (T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub> ) (C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> )	$\mu\epsilon_{suhu}$ cum	$\mu\epsilon_{true} =$ $\mu\epsilon_{cor} +$ $\mu\epsilon_{suhu}$ cum	Beda regangan (R <sub>1</sub> -R <sub>0</sub> )	$\mu\epsilon_{cor}$ (R <sub>1</sub> -R <sub>0</sub> )B	$\mu\epsilon_{cor}$ cum	Beda suhu (T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub> ) (°C)	$\mu\epsilon_{suhu}$ (T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub> ) (C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> )	$\mu\epsilon_{suhu}$ cum	$\mu\epsilon_{true} =$ $\mu\epsilon_{cor} +$ $\mu\epsilon_{suhu}$ cum	
1	0	0	0	0	0	0	0.000.E+00	0	0	0	0	0	0	0.000.E+00	0.000.E+00
2	0.3	0.288	0.288	5.7	10.26	10.26	-1.055.E-05	0.1	0.096	0.096	5.7	10.26	10.26	-1.036.E-05	-1.045.E-05
3	-0.8	-0.768	-0.48	7.55	13.59	23.85	-2.337.E-05	-1.8	-1.728	-1.632	7.5	13.5	23.76	-2.213.E-05	-2.275.E-05
4	-2.9	-2.784	-3.264	7.55	13.59	37.44	-3.418.E-05	-0.9	-0.864	-2.496	7.6	13.68	37.44	-3.494.E-05	-3.456.E-05
5	0.4	0.384	-2.88	3.5	6.3	43.74	-4.086.E-05	-0.5	-0.48	-2.976	3.5	6.3	43.74	-4.076.E-05	-4.081.E-05
6	0.5	0.48	-2.4	-10.6	-19.08	24.66	-2.226.E-05	-0.5	-0.48	-3.456	-10.6	-19.08	24.66	-2.120.E-05	-2.173.E-05
7	-1.6	-1.536	-3.936	-6.4	-11.52	13.14	-9.204.E-06	0.6	0.576	-2.88	-6.4	-11.52	13.14	-1.026.E-05	-9.732.E-06
8	0.3	0.288	-3.648	-4.7	-8.46	4.68	-1.032.E-06	0.3	0.288	-2.592	-4.7	-8.46	4.68	-2.088.E-06	-1.560.E-06
9	0.3	0.288	-3.36	10.7	19.26	23.94	-2.058.E-05	-0.1	-0.096	-2.688	10.4	18.72	23.4	-2.071.E-05	-2.065.E-05
10	0.1	0.096	-3.264	8.2	14.76	38.7	-3.544.E-05	-0.2	-0.192	-2.88	-0.4	-0.72	22.68	-1.980.E-05	-2.762.E-05
11	0.2	0.192	-3.072	-6.4	-11.52	27.18	-2.411.E-05	0	0	-2.88	-13.5	-24.3	-1.62	4.500.E-06	-9.804.E-06
12	0.1	0.096	-2.976	4.5	8.1	35.28	-3.230.E-05	0.1	0.096	-2.784	15.1	27.18	25.56	-2.278.E-05	-2.754.E-05
13	0.2	0.192	-2.784	6.3	11.34	46.62	-4.384.E-05	0	0	-2.784	0.3	0.54	26.1	-2.332.E-05	-3.358.E-05
14	0.1	0.096	-2.688	-3.8	-6.84	39.78	-3.709.E-05	0.3	0.288	-2.496	-0.3	-0.54	25.56	-2.306.E-05	-3.008.E-05
15	0.1	0.096	-2.592	-0.5	-0.9	38.88	-3.629.E-05	0.1	0.096	-2.4	0.1	0.18	25.74	-2.334.E-05	-2.981.E-05
16	0.1	0.096	-2.496	-0.3	-0.54	38.34	-3.584.E-05	0.1	0.096	-2.304	-0.2	-0.36	25.38	-2.308.E-05	-2.946.E-05
17	0.1	0.096	-2.4	0.3	0.54	38.88	-3.648.E-05	0.1	0.096	-2.208	0.6	1.08	26.46	-2.425.E-05	-3.037.E-05
18	0.1	0.096	-2.304	-0.4	-0.72	38.16	-3.586.E-05	0.1	0.096	-2.112	0.1	0.18	26.64	-2.453.E-05	-3.019.E-05
19	0.6	0.576	-1.728	0	0	38.16	-3.643.E-05	0.5	0.48	-1.632	-0.1	-0.18	26.46	-2.483.E-05	-3.063.E-05
20	0.3	0.288	-1.44	0.6	1.08	39.24	-3.780.E-05	0.3	0.288	-1.344	-0.1	-0.18	26.28	-2.494.E-05	-3.137.E-05
21	0.4	0.384	-1.056	0.3	0.54	39.78	-3.872.E-05	0.5	0.48	-0.864	-0.4	-0.72	25.56	-2.470.E-05	-3.171.E-05
22	0	0	-1.056	0.5	0.9	40.68	-3.962.E-05	0.2	0.192	-0.672	0	0	25.56	-2.489.E-05	-3.226.E-05



# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

23	-0.1	-0.096	-1.152	0.9	1.62	42.3	-4.115.E-05	-0.1	-0.096	-0.768	0.9	1.62	27.18	-2.641.E-05	-3.378.E-05
24	0	0	-1.152	-3.6	-6.48	35.82	-3.467.E-05	0.2	0.192	-0.576	5	9	36.18	-3.560.E-05	-3.514.E-05
25	-0.3	-0.288	-1.44	1.5	2.7	38.52	-3.708.E-05	0.2	0.192	-0.384	-6.1	-10.98	25.2	-2.482.E-05	-3.095.E-05
26	-0.7	-0.672	-2.112	-3	-5.4	33.12	-3.101.E-05	-0.2	-0.192	-0.576	-0.4	-0.72	24.48	-2.390.E-05	-2.746.E-05
27	-0.6	-0.576	-2.688	-0.6	-1.08	32.04	-2.935.E-05	-0.3	-0.288	-0.864	0.2	0.36	24.84	-2.398.E-05	-2.666.E-05
28	-1	-0.96	-3.648	0	0	32.04	-2.839.E-05	-0.8	-0.768	-1.632	0.1	0.18	25.02	-2.339.E-05	-2.589.E-05
29	-1.5	-1.44	-5.088	-0.1	-0.18	31.86	-2.677.E-05	0	0	-1.632	-0.3	-0.54	24.48	-2.285.E-05	-2.481.E-05
30	-0.1	-0.096	-5.184	-1.8	-3.24	28.62	-2.344.E-05	-1.1	-1.056	-2.688	-1	-1.8	22.68	-1.999.E-05	-2.171.E-05
31	-2.4	-2.304	-7.488	-0.8	-1.44	27.18	-1.969.E-05	-1.2	-1.152	-3.84	-1.8	-3.24	19.44	-1.560.E-05	-1.765.E-05
32	-1.7	-1.632	-9.12	-0.8	-1.44	25.74	-1.662.E-05	-0.7	-0.672	-4.512	0.5	0.9	20.34	-1.583.E-05	-1.622.E-05
33	-2.1	-2.016	-11.136	-0.3	-0.54	25.2	-1.406.E-05	-0.8	-0.768	-5.28	-1.2	-2.16	18.18	-1.290.E-05	-1.348.E-05
34	-4.4	-4.224	-15.36	-1.1	-1.98	23.22	-7.860.E-06	-1.8	-1.728	-7.008	-0.5	-0.9	17.28	-1.027.E-05	-9.066.E-06
35	-2.4	-2.304	-17.664	0	0	23.22	-5.556.E-06	-2.1	-2.016	-9.024	2.9	5.22	22.5	-1.348.E-05	-9.516.E-06
36	-1.2	-1.152	-18.816	-1.2	-2.16	21.06	-2.244.E-06	-2.4	-2.304	-11.328	-0.9	-1.62	20.88	-9.552.E-06	-5.898.E-06
37	-0.8	-0.768	-19.584	-0.5	-0.9	20.16	-5.760.E-07	-2.6	-2.496	-13.824	-5.9	-10.62	10.26	3.564.E-06	1.494.E-06
38	-0.7	-0.672	-20.256	4.8	8.64	28.8	-8.544.E-06	-2.6	-2.496	-16.32	-0.3	-0.54	9.72	6.600.E-06	-9.720.E-07
39	-0.5	-0.48	-20.736	-0.4	-0.72	28.08	-7.344.E-06	-1.3	-1.248	-17.568	6	10.8	20.52	-2.952.E-06	-5.148.E-06
40	-0.1	-0.096	-20.832	0	0	28.08	-7.248.E-06	-0.7	-0.672	-18.24	-4.4	-7.92	12.6	5.640.E-06	-8.040.E-07
41	-0.1	-0.096	-20.928	-4.1	-7.38	20.7	2.280.E-07	-0.1	-0.096	-18.336	1	1.8	14.4	3.936.E-06	2.082.E-06
42	0.2	0.192	-20.736	4.7	8.46	29.16	-8.424.E-06	-0.2	-0.192	-18.528	3.2	5.76	20.16	-1.632.E-06	-5.028.E-06
43	0.3	0.288	-20.448	-1.1	-1.98	27.18	-6.732.E-06	-0.1	-0.096	-18.624	-3.1	-5.58	14.58	4.044.E-06	-1.344.E-06
44	0.3	0.288	-20.16	0.5	0.9	28.08	-7.920.E-06	0.3	0.288	-18.336	-1.5	-2.7	11.88	6.456.E-06	-7.320.E-07
45	0.3	0.288	-19.872	-2.4	-4.32	23.76	-3.888.E-06	0.2	0.192	-18.144	0.9	1.62	13.5	4.644.E-06	3.780.E-07
46	0.4	0.384	-19.488	0.2	0.36	24.12	-4.632.E-06	0.4	0.384	-17.76	2.1	3.78	17.28	4.800.E-07	-2.076.E-06
47	0.4	0.384	-19.104	-0.5	-0.9	23.22	-4.116.E-06	0.4	0.384	-17.376	0.6	1.08	18.36	-9.840.E-07	-2.550.E-06
48	0.7	0.672	-18.432	2.7	4.86	28.08	-9.648.E-06	0.9	0.864	-16.512	0.5	0.9	19.26	-2.748.E-06	-6.198.E-06
49	0.9	0.864	-17.568	1	1.8	29.88	-1.231.E-05	0.8	0.768	-15.744	0.5	0.9	20.16	-4.416.E-06	-8.364.E-06
50	0.5	0.48	-17.088	1	1.8	31.68	-1.459.E-05	0.3	0.288	-15.456	0.5	0.9	21.06	-5.604.E-06	-1.010.E-05
51	0.7	0.672	-16.416	0.5	0.9	32.58	-1.616.E-05	0.6	0.576	-14.88	0.2	0.36	21.42	-6.540.E-06	-1.135.E-05
52	0	0	-16.416	0.5	0.9	33.48	-1.706.E-05	0.3	0.288	-14.592	0.3	0.54	21.96	-7.368.E-06	-1.222.E-05
53	0	0	-16.416	1	1.8	35.28	-1.886.E-05	0.1	0.096	-14.496	0.5	0.9	22.86	-8.364.E-06	-1.361.E-05
54	0.7	0.672	-15.744	1	1.8	37.08	-2.134.E-05	0.8	0.768	-13.728	0.5	0.9	23.76	-1.003.E-05	-1.568.E-05
55	0.2	0.192	-15.552	1	1.8	38.88	-2.333.E-05	0.2	0.192	-13.536	0.5	0.9	24.66	-1.112.E-05	-1.723.E-05
56	0.2	0.192	-15.36	-0.6	-1.08	37.8	-2.244.E-05	0.2	0.192	-13.344	0.1	0.18	24.84	-1.150.E-05	-1.697.E-05
57	0.7	0.672	-14.688	-0.1	-0.18	37.62	-2.293.E-05	0.8	0.768	-12.576	0.3	0.54	25.38	-1.280.E-05	-1.787.E-05
58	1	0.96	-13.728	-3.1	-5.58	32.04	-1.831.E-05	1.4	1.344	-11.232	-1.2	-2.16	23.22	-1.199.E-05	-1.515.E-05
59	0.5	0.48	-13.248	-0.7	-1.26	30.78	-1.753.E-05	0.5	0.48	-10.752	-1.9	-3.42	19.8	-9.048.E-06	-1.329.E-05



# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

60	0.2	0.192	-13.056	4.7	8.46	39.24	-2.618.E-05	0.3	0.288	-10.464	2.2	3.96	23.76	-1.330.E-05	-1.974.E-05
61	0.3	0.288	-12.768	-4.8	-8.64	30.6	-1.783.E-05	0.3	0.288	-10.176	-4.2	-7.56	16.2	-6.024.E-06	-1.193.E-05
62	0	0	-12.768	0	0	30.6	-1.783.E-05	0.4	0.384	-9.792	3	5.4	21.6	-1.181.E-05	-1.482.E-05
63	0.9	0.864	-11.904	0.4	0.72	31.32	-1.942.E-05	1.1	1.056	-8.736	0	0	21.6	-1.286.E-05	-1.614.E-05
64	0.5	0.48	-11.424	0.4	0.72	32.04	-2.062.E-05	0.4	0.384	-8.352	-1.8	-3.24	18.36	-1.001.E-05	-1.531.E-05
65	0.4	0.384	-11.04	-0.2	-0.36	31.68	-2.064.E-05	0.5	0.48	-7.872	2.2	3.96	22.32	-1.445.E-05	-1.754.E-05
66	0.1	0.096	-10.944	1.6	2.88	34.56	-2.362.E-05	0.2	0.192	-7.68	-0.1	-0.18	22.14	-1.446.E-05	-1.904.E-05
67	0.5	0.48	-10.464	0.8	1.44	36	-2.554.E-05	0.7	0.672	-7.008	-1.8	-3.24	18.9	-1.189.E-05	-1.871.E-05
68	0.5	0.48	-9.984	0	0	36	-2.602.E-05	0.4	0.384	-6.624	0.3	0.54	19.44	-1.282.E-05	-1.942.E-05
69	0.5	0.48	-9.504	-0.6	-1.08	34.92	-2.542.E-05	0.8	0.768	-5.856	3.7	6.66	26.1	-2.024.E-05	-2.283.E-05
70	0.2	0.192	-9.312	-0.1	-0.18	34.74	-2.543.E-05	0.1	0.096	-5.76	-1.2	-2.16	23.94	-1.818.E-05	-2.180.E-05
71	0.3	0.288	-9.024	0.8	1.44	36.18	-2.716.E-05	0.4	0.384	-5.376	-1.2	-2.16	21.78	-1.640.E-05	-2.178.E-05
72	0.5	0.48	-8.544	-1.1	-1.98	34.2	-2.566.E-05	0.5	0.48	-4.896	-0.2	-0.36	21.42	-1.652.E-05	-2.109.E-05
73	0.2	0.192	-8.352	0.3	0.54	34.74	-2.639.E-05	0.1	0.096	-4.8	-0.2	-0.36	21.06	-1.626.E-05	-2.132.E-05
74	0.2	0.192	-8.16	0.1	0.18	34.92	-2.676.E-05	0.1	0.096	-4.704	0.1	0.18	21.24	-1.654.E-05	-2.165.E-05
75	0.1	0.096	-8.064	0.1	0.18	35.1	-2.704.E-05	0.3	0.288	-4.416	0.1	0.18	21.42	-1.700.E-05	-2.202.E-05
76	0.1	0.096	-7.968	-0.1	-0.18	34.92	-2.695.E-05	0.1	0.096	-4.32	0.1	0.18	21.6	-1.728.E-05	-2.212.E-05
77	0.1	0.096	-7.872	-0.3	-0.54	34.38	-2.651.E-05	0.2	0.192	-4.128	0	0	21.6	-1.747.E-05	-2.199.E-05
78	0.2	0.192	-7.68	0.3	0.54	34.92	-2.724.E-05	0.2	0.192	-3.936	2.8	5.04	26.64	-2.270.E-05	-2.497.E-05
79	0.2	0.192	-7.488	0.6	1.08	36	-2.851.E-05	0.2	0.192	-3.744	-1.9	-3.42	23.22	-1.948.E-05	-2.399.E-05
80	0.2	0.192	-7.296	-2.5	-4.5	31.5	-2.420.E-05	0.2	0.192	-3.552	-1.7	-3.06	20.16	-1.661.E-05	-2.041.E-05
81	0.1	0.096	-7.2	3.2	5.76	37.26	-3.006.E-05	0.4	0.384	-3.168	0.5	0.9	21.06	-1.789.E-05	-2.398.E-05
82	0.2	0.192	-7.008	1.9	3.42	40.68	-3.367.E-05	-0.1	-0.096	-3.264	0.1	0.18	21.24	-1.798.E-05	-2.582.E-05
83	0	0	-7.008	-4	-7.2	33.48	-2.647.E-05	0.1	0.096	-3.168	0.7	1.26	22.5	-1.933.E-05	-2.290.E-05
84	0.2	0.192	-6.816	0	0	33.48	-2.666.E-05	0.1	0.096	-3.072	2.1	3.78	26.28	-2.321.E-05	-2.494.E-05
85	-0.2	-0.192	-7.008	3	5.4	38.88	-3.187.E-05	-0.9	-0.864	-3.936	-3	-5.4	20.88	-1.694.E-05	-2.441.E-05
86	0	0	-7.008	-2.8	-5.04	33.84	-2.683.E-05	1	0.96	-2.976	-0.1	-0.18	20.7	-1.772.E-05	-2.228.E-05
87	0.1	0.096	-6.912	0.1	0.18	34.02	-2.711.E-05	0.1	0.096	-2.88	0.7	1.26	21.96	-1.908.E-05	-2.309.E-05
88	0	0	-6.912	-0.1	-0.18	33.84	-2.693.E-05	0	0	-2.88	3.1	5.58	27.54	-2.466.E-05	-2.579.E-05
89	0.1	0.096	-6.816	1.3	2.34	36.18	-2.936.E-05	0.2	0.192	-2.688	-1.8	-3.24	24.3	-2.161.E-05	-2.549.E-05
90	0	0	-6.816	-1	-1.8	34.38	-2.756.E-05	0	0	-2.688	-1.1	-1.98	22.32	-1.963.E-05	-2.360.E-05
91	-0.1	-0.096	-6.912	-0.2	-0.36	34.02	-2.711.E-05	0	0	-2.688	0.6	1.08	23.4	-2.071.E-05	-2.391.E-05
92	0.1	0.096	-6.816	1.6	2.88	36.9	-3.008.E-05	0.2	0.192	-2.496	-1.3	-2.34	21.06	-1.856.E-05	-2.432.E-05
93	0.1	0.096	-6.72	-1.6	-2.88	34.02	-2.730.E-05	0	0	-2.496	2.9	5.22	26.28	-2.378.E-05	-2.554.E-05
94	-0.1	-0.096	-6.816	0.8	1.44	35.46	-2.864.E-05	0	0	-2.496	0.5	0.9	27.18	-2.468.E-05	-2.666.E-05
95	0.2	0.192	-6.624	-0.5	-0.9	34.56	-2.794.E-05	0.2	0.192	-2.304	-2.9	-5.22	21.96	-1.966.E-05	-2.380.E-05
96	-4	-3.84	-10.464	0.6	1.08	35.64	-2.518.E-05	-1.5	-1.44	-3.744	0.8	1.44	23.4	-1.966.E-05	-2.242.E-05





# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

97	-7.1	-6.816	-17.28	0.2	0.36	36	-1.872.E-05	-0.6	-0.576	-4.32	1.7	3.06	26.46	-2.214.E-05	-2.043.E-05
98	-0.3	-0.288	-17.568	0.3	0.54	36.54	-1.897.E-05	-1.3	-1.248	-5.568	0.4	0.72	27.18	-2.161.E-05	-2.029.E-05
99	-4.3	-4.128	-21.696	0.2	0.36	36.9	-1.520.E-05	-2.9	-2.784	-8.352	1	1.8	28.98	-2.063.E-05	-1.792.E-05
100	-2.5	-2.4	-24.096	2.7	4.86	41.76	-1.766.E-05	-1.9	-1.824	-10.176	-2	-3.6	25.38	-1.520.E-05	-1.643.E-05
101	2	1.92	-22.176	-1.9	-3.42	38.34	-1.616.E-05	2.2	2.112	-8.064	0.1	0.18	25.56	-1.750.E-05	-1.683.E-05
102	0.1	0.096	-22.08	1.2	2.16	40.5	-1.842.E-05	0.9	0.864	-7.2	0.3	0.54	26.1	-1.890.E-05	-1.866.E-05
103	-1.4	-1.344	-23.424	0.2	0.36	40.86	-1.744.E-05	0	0	-7.2	1	1.8	27.9	-2.070.E-05	-1.907.E-05
104	1.7	1.632	-21.792	0.5	0.9	41.76	-1.997.E-05	2.1	2.016	-5.184	0.9	1.62	29.52	-2.434.E-05	-2.215.E-05
105	0.2	0.192	-21.6	0.4	0.72	42.48	-2.088.E-05	1.5	1.44	-3.744	0.7	1.26	30.78	-2.704.E-05	-2.396.E-05
106	1.4	1.344	-20.256	0.9	1.62	44.1	-2.384.E-05	2.3	2.208	-1.536	0.3	0.54	31.32	-2.978.E-05	-2.681.E-05
107	2.2	2.112	-18.144	0.9	1.62	45.72	-2.758.E-05	2.5	2.4	0.864	0.1	0.18	31.5	-3.236.E-05	-2.997.E-05
108	1.7	1.632	-16.512	-0.3	-0.54	45.18	-2.867.E-05	1.1	1.056	1.92	0.9	1.62	33.12	-3.504.E-05	-3.185.E-05
109	0.5	0.48	-16.032	-0.5	-0.9	44.28	-2.825.E-05	0.9	0.864	2.784	0.3	0.54	33.66	-3.644.E-05	-3.235.E-05
110	0.8	0.768	-15.264	0.2	0.36	44.64	-2.938.E-05	0.6	0.576	3.36	0.3	0.54	34.2	-3.756.E-05	-3.347.E-05
111	-0.1	-0.096	-15.36	0.1	0.18	44.82	-2.946.E-05	1.7	1.632	4.992	-0.5	-0.9	33.3	-3.829.E-05	-3.388.E-05
112	2.1	2.016	-13.344	0.3	0.54	45.36	-3.202.E-05	0.8	0.768	5.76	-0.2	-0.36	32.94	-3.870.E-05	-3.536.E-05
113	0.6	0.576	-12.768	-0.6	-1.08	44.28	-3.151.E-05	0.4	0.384	6.144	-0.7	-1.26	31.68	-3.782.E-05	-3.467.E-05
114	0.1	0.096	-12.672	0	0	44.28	-3.161.E-05	0.2	0.192	6.336	0	0	31.68	-3.802.E-05	-3.481.E-05
115	0.3	0.288	-12.384	0.1	0.18	44.46	-3.208.E-05	0.2	0.192	6.528	0.1	0.18	31.86	-3.839.E-05	-3.523.E-05
116	0.1	0.096	-12.288	0.4	0.72	45.18	-3.289.E-05	0	0	6.528	0.3	0.54	32.4	-3.893.E-05	-3.591.E-05
117	0.2	0.192	-12.096	0.3	0.54	45.72	-3.362.E-05	0.2	0.192	6.72	0.6	1.08	33.48	-4.020.E-05	-3.691.E-05
118	0.5	0.48	-11.616	0.2	0.36	46.08	-3.446.E-05	0.3	0.288	7.008	-0.3	-0.54	32.94	-3.995.E-05	-3.721.E-05
119	0	0	-11.616	-1.1	-1.98	44.1	-3.248.E-05	-0.5	-0.48	6.528	-0.4	-0.72	32.22	-3.875.E-05	-3.562.E-05
120	-1.2	-1.152	-12.768	-0.4	-0.72	43.38	-3.061.E-05	-1.2	-1.152	5.376	-0.8	-1.44	30.78	-3.616.E-05	-3.338.E-05
121	-1.2	-1.152	-13.92	-0.4	-0.72	42.66	-2.874.E-05	-1.4	-1.344	4.032	-0.4	-0.72	30.06	-3.409.E-05	-3.142.E-05
122	-0.5	-0.48	-14.4	0.2	0.36	43.02	-2.862.E-05	-0.6	-0.576	3.456	0.1	0.18	30.24	-3.370.E-05	-3.116.E-05
123	-0.3	-0.288	-14.688	-0.2	-0.36	42.66	-2.797.E-05	-0.3	-0.288	3.168	0	0	30.24	-3.341.E-05	-3.069.E-05
124	0.4	0.384	-14.304	0.3	0.54	43.2	-2.890.E-05	0.6	0.576	3.744	-0.2	-0.36	29.88	-3.362.E-05	-3.126.E-05
125	-0.4	-0.384	-14.688	0.2	0.36	43.56	-2.887.E-05	-0.7	-0.672	3.072	-0.2	-0.36	29.52	-3.259.E-05	-3.073.E-05
126	-1.7	-1.632	-16.32	-0.1	-0.18	43.38	-2.706.E-05	-1.8	-1.728	1.344	0.4	0.72	30.24	-3.158.E-05	-2.932.E-05
127	-1.1	-1.056	-17.376	-0.2	-0.36	43.02	-2.564.E-05	0.8	0.768	2.112	-0.4	-0.72	29.52	-3.163.E-05	-2.864.E-05
128	-0.8	-0.768	-18.144	0.7	1.26	44.28	-2.614.E-05	-2.4	-2.304	-0.192	-0.1	-0.18	29.34	-2.915.E-05	-2.764.E-05
129	-0.3	-0.288	-18.432	-0.5	-0.9	43.38	-2.495.E-05	0.1	0.096	-0.096	0.3	0.54	29.88	-2.978.E-05	-2.737.E-05
130	0	0	-18.432	-0.2	-0.36	43.02	-2.459.E-05	0.2	0.192	0.096	1.3	2.34	32.22	-3.232.E-05	-2.845.E-05
131	-0.7	-0.672	-19.104	0.5	0.9	43.92	-2.482.E-05	-0.3	-0.288	-0.192	-0.8	-1.44	30.78	-3.059.E-05	-2.770.E-05
132	0	0	-19.104	-0.3	-0.54	43.38	-2.428.E-05	0.6	0.576	0.384	1	1.8	32.58	-3.296.E-05	-2.862.E-05



# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

133	0.3	0.288	-18.816	-0.1	-0.18	43.2	-2.438.E-05	0.5	0.48	0.864	-1	-1.8	30.78	-3.164.E-05	-2.801.E-05
134	-0.5	-0.48	-19.296	-0.1	-0.18	43.02	-2.372.E-05	-0.2	-0.192	0.672	0.2	0.36	31.14	-3.181.E-05	-2.777.E-05
135	0.9	0.864	-18.432	0.1	0.18	43.2	-2.477.E-05	0.7	0.672	1.344	-0.2	-0.36	30.78	-3.212.E-05	-2.845.E-05
136	-1.2	-1.152	-19.584	0.2	0.36	43.56	-2.398.E-05	-0.9	-0.864	0.48	0.4	0.72	31.5	-3.198.E-05	-2.798.E-05
137	0.8	0.768	-18.816	0.2	0.36	43.92	-2.510.E-05	0.7	0.672	1.152	0.3	0.54	32.04	-3.319.E-05	-2.915.E-05
138	0.5	0.48	-18.336	0.3	0.54	44.46	-2.612.E-05	0.7	0.672	1.824	0.1	0.18	32.22	-3.404.E-05	-3.008.E-05
139	0.2	0.192	-18.144	0.1	0.18	44.64	-2.650.E-05	0.4	0.384	2.208	-0.3	-0.54	31.68	-3.389.E-05	-3.019.E-05
140	0.3	0.288	-17.856	0	0	44.64	-2.678.E-05	0.3	0.288	2.496	0.2	0.36	32.04	-3.454.E-05	-3.066.E-05
141	-0.5	-0.48	-18.336	0.6	1.08	45.72	-2.738.E-05	-0.2	-0.192	2.304	0.4	0.72	32.76	-3.506.E-05	-3.122.E-05
142	0.5	0.48	-17.856	1.5	2.7	48.42	-3.056.E-05	0.9	0.864	3.168	2.1	3.78	36.54	-3.971.E-05	-3.514.E-05
143	0.6	0.576	-17.28	-1.1	-1.98	46.44	-2.916.E-05	0.1	0.096	3.264	-1.8	-3.24	33.3	-3.656.E-05	-3.286.E-05
144	0	0	-17.28	-1.2	-2.16	44.28	-2.700.E-05	-0.2	-0.192	3.072	0.9	1.62	34.92	-3.799.E-05	-3.250.E-05
145	-0.1	-0.096	-17.376	-0.1	-0.18	44.1	-2.672.E-05	-0.6	-0.576	2.496	-0.7	-1.26	33.66	-3.616.E-05	-3.144.E-05
146	-1.1	-1.056	-18.432	1	1.8	45.9	-2.747.E-05	-1.7	-1.632	0.864	-0.9	-1.62	32.04	-3.290.E-05	-3.019.E-05
147	-1.1	-1.056	-19.488	-0.9	-1.62	44.28	-2.479.E-05	-1.2	-1.152	-0.288	0.2	0.36	32.4	-3.211.E-05	-2.845.E-05
148	-0.6	-0.576	-20.064	0.1	0.18	44.46	-2.440.E-05	-0.7	-0.672	-0.96	0.2	0.36	32.76	-3.180.E-05	-2.810.E-05
149	-0.6	-0.576	-20.64	-0.1	-0.18	44.28	-2.364.E-05	-0.9	-0.864	-1.824	0.5	0.9	33.66	-3.184.E-05	-2.774.E-05
150	-1.7	-1.632	-22.272	-0.5	-0.9	43.38	-2.111.E-05	-1.4	-1.344	-3.168	-1.4	-2.52	31.14	-2.797.E-05	-2.454.E-05
151	0.9	0.864	-21.408	-0.1	-0.18	43.2	-2.179.E-05	0.7	0.672	-2.496	-0.2	-0.36	30.78	-2.828.E-05	-2.504.E-05
152	-0.3	-0.288	-21.696	0.7	1.26	44.46	-2.276.E-05	-0.7	-0.672	-3.168	0.7	1.26	32.04	-2.887.E-05	-2.582.E-05
153	-0.3	-0.288	-21.984	1.7	3.06	47.52	-2.554.E-05	-0.1	-0.096	-3.264	-0.6	-1.08	30.96	-2.770.E-05	-2.662.E-05
154	-0.4	-0.384	-22.368	-1.6	-2.88	44.64	-2.227.E-05	-0.3	-0.288	-3.552	0.6	1.08	32.04	-2.849.E-05	-2.538.E-05
155	0.7	0.672	-21.696	0.1	0.18	44.82	-2.312.E-05	1	0.96	-2.592	-0.1	-0.18	31.86	-2.927.E-05	-2.620.E-05
156	0.3	0.288	-21.408	0.1	0.18	45	-2.359.E-05	0.4	0.384	-2.208	1.4	2.52	34.38	-3.217.E-05	-2.788.E-05
157	0.2	0.192	-21.216	0.5	0.9	45.9	-2.468.E-05	0.3	0.288	-1.92	-1.4	-2.52	31.86	-2.994.E-05	-2.731.E-05
158	1.4	1.344	-19.872	-0.4	-0.72	45.18	-2.531.E-05	1.3	1.248	-0.672	-0.4	-0.72	31.14	-3.047.E-05	-2.789.E-05
159	-1.2	-1.152	-21.024	-0.5	-0.9	44.28	-2.326.E-05	-2.4	-2.304	-2.976	-0.2	-0.36	30.78	-2.780.E-05	-2.553.E-05
160	-1.5	-1.44	-22.464	-1.6	-2.88	41.4	-1.894.E-05	-1.6	-1.536	-4.512	0.2	0.36	31.14	-2.663.E-05	-2.278.E-05
161	-1.3	-1.248	-23.712	2	3.6	45	-2.129.E-05	-1.7	-1.632	-6.144	1.4	2.52	33.66	-2.752.E-05	-2.440.E-05
162	-0.6	-0.576	-24.288	1.7	3.06	48.06	-2.377.E-05	-1	-0.96	-7.104	-2.6	-4.68	28.98	-2.188.E-05	-2.282.E-05
163	-0.8	-0.768	-25.056	0.2	0.36	48.42	-2.336.E-05	-0.8	-0.768	-7.872	-0.1	-0.18	28.8	-2.093.E-05	-2.215.E-05
164	-0.9	-0.864	-25.92	-4	-7.2	41.22	-1.530.E-05	-0.5	-0.48	-8.352	-0.2	-0.36	28.44	-2.009.E-05	-1.769.E-05
165	-0.3	-0.288	-26.208	0.5	0.9	42.12	-1.591.E-05	-0.4	-0.384	-8.736	1.1	1.98	30.42	-2.168.E-05	-1.880.E-05
166	-0.2	-0.192	-26.4	0.8	1.44	43.56	-1.716.E-05	0.1	0.096	-8.64	0.2	0.36	30.78	-2.214.E-05	-1.965.E-05
167	1.2	1.152	-25.248	-0.2	-0.36	43.2	-1.795.E-05	1.9	1.824	-6.816	0.2	0.36	31.14	-2.432.E-05	-2.114.E-05
168	0.6	0.576	-24.672	0.5	0.9	44.1	-1.943.E-05	0.4	0.384	-6.432	-0.4	-0.72	30.42	-2.399.E-05	-2.171.E-05
169	-0.4	-0.384	-25.056	-0.2	-0.36	43.74	-1.868.E-05	-0.1	-0.096	-6.528	0	0	30.42	-2.389.E-05	-2.129.E-05



# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

170	0.4	0.384	-24.672	-0.4	-0.72	43.02	-1.835.E-05	0.4	0.384	-6.144	-0.1	-0.18	30.24	-2.410.E-05	-2.122.E-05
171	0.5	0.48	-24.192	-0.2	-0.36	42.66	-1.847.E-05	0.3	0.288	-5.856	-0.1	-0.18	30.06	-2.420.E-05	-2.134.E-05
172	0.4	0.384	-23.808	-0.2	-0.36	42.3	-1.849.E-05	0.2	0.192	-5.664	-0.2	-0.36	29.7	-2.404.E-05	-2.126.E-05
173	-2.4	-2.304	-26.112	-0.1	-0.18	42.12	-1.601.E-05	-2.5	-2.4	-8.064	0	0	29.7	-2.164.E-05	-1.882.E-05
174	1	0.96	-25.152	0.2	0.36	42.48	-1.733.E-05	0.8	0.768	-7.296	0.2	0.36	30.06	-2.276.E-05	-2.005.E-05
175	-0.4	-0.384	-25.536	-0.1	-0.18	42.3	-1.676.E-05	-0.6	-0.576	-7.872	-0.2	-0.36	29.7	-2.183.E-05	-1.930.E-05
176	-0.3	-0.288	-25.824	0.2	0.36	42.66	-1.684.E-05	-0.6	-0.576	-8.448	0.1	0.18	29.88	-2.143.E-05	-1.913.E-05
177	-0.8	-0.768	-26.592	0.2	0.36	43.02	-1.643.E-05	-0.5	-0.48	-8.928	0.2	0.36	30.24	-2.131.E-05	-1.887.E-05
178	0.1	0.096	-26.496	0.1	0.18	43.2	-1.670.E-05	0.4	0.384	-8.544	0.2	0.36	30.6	-2.206.E-05	-1.938.E-05
179	0.1	0.096	-26.4	0.3	0.54	43.74	-1.734.E-05	0.2	0.192	-8.352	0.3	0.54	31.14	-2.279.E-05	-2.006.E-05
180	-0.2	-0.192	-26.592	0.1	0.18	43.92	-1.733.E-05	0.2	0.192	-8.16	0.2	0.36	31.5	-2.334.E-05	-2.033.E-05
181	0.3	0.288	-26.304	0.6	1.08	45	-1.870.E-05	0.5	0.48	-7.68	0.4	0.72	32.22	-2.454.E-05	-2.162.E-05
182	0.6	0.576	-25.728	-0.4	-0.72	44.28	-1.855.E-05	0.8	0.768	-6.912	-0.3	-0.54	31.68	-2.477.E-05	-2.166.E-05
183	1.8	1.728	-24	-1.1	-1.98	42.3	-1.830.E-05	1.7	1.632	-5.28	-1	-1.8	29.88	-2.460.E-05	-2.145.E-05
184	0.7	0.672	-23.328	0.1	0.18	42.48	-1.915.E-05	-2.3	-2.208	-7.488	-0.1	-0.18	29.7	-2.221.E-05	-2.068.E-05
185	-3.4	-3.264	-26.592	0.3	0.54	43.02	-1.643.E-05	-1.5	-1.44	-8.928	0.1	0.18	29.88	-2.095.E-05	-1.869.E-05
186	-1.2	-1.152	-27.744	0.1	0.18	43.2	-1.546.E-05	-1.9	-1.824	-10.752	0.1	0.18	30.06	-1.931.E-05	-1.738.E-05
187	1	0.96	-26.784	-0.1	-0.18	43.02	-1.624.E-05	0.8	0.768	-9.984	0.1	0.18	30.24	-2.026.E-05	-1.825.E-05
188	-0.7	-0.672	-27.456	-0.1	-0.18	42.84	-1.538.E-05	-1.5	-1.44	-11.424	0	0	30.24	-1.882.E-05	-1.710.E-05
189	-0.3	-0.288	-27.744	0.3	0.54	43.38	-1.564.E-05	0.1	0.096	-11.328	0.3	0.54	30.78	-1.945.E-05	-1.754.E-05
190	-0.6	-0.576	-28.32	0.1	0.18	43.56	-1.524.E-05	0	0	-11.328	0.1	0.18	30.96	-1.963.E-05	-1.744.E-05
191	0.4	0.384	-27.936	0	0	43.56	-1.562.E-05	0.9	0.864	-10.464	0	0	30.96	-2.050.E-05	-1.806.E-05
192	0	0	-27.936	0.2	0.36	43.92	-1.598.E-05	-0.1	-0.096	-10.56	0.3	0.54	31.5	-2.094.E-05	-1.846.E-05
193	-0.1	-0.096	-28.032	0	0	43.92	-1.589.E-05	-0.1	-0.096	-10.656	-0.1	-0.18	31.32	-2.066.E-05	-1.828.E-05
194	1.1	1.056	-26.976	-0.7	-1.26	42.66	-1.568.E-05	1.1	1.056	-9.6	-0.8	-1.44	29.88	-2.028.E-05	-1.798.E-05
195	-0.5	-0.48	-27.456	-0.1	-0.18	42.48	-1.502.E-05	-0.7	-0.672	-10.272	-0.2	-0.36	29.52	-1.925.E-05	-1.714.E-05
196	0.2	0.192	-27.264	-0.3	-0.54	41.94	-1.468.E-05	-0.9	-0.864	-11.136	-0.3	-0.54	28.98	-1.784.E-05	-1.626.E-05
197	-1.1	-1.056	-28.32	0	0	41.94	-1.362.E-05	-1.9	-1.824	-12.96	0.1	0.18	29.16	-1.620.E-05	-1.491.E-05
198	-0.8	-0.768	-29.088	0	0	41.94	-1.285.E-05	0	0	-12.96	-0.1	-0.18	28.98	-1.602.E-05	-1.444.E-05
199	0	0	-29.088	-1.3	-2.34	39.6	-1.051.E-05	-0.1	-0.096	-13.056	-0.9	-1.62	27.36	-1.430.E-05	-1.241.E-05
200	-64.5	-61.92	-91.008	-0.2	-0.36	39.24	5.177.E-05	-61.1	-58.656	-71.712	-0.3	-0.54	26.82	4.489.E-05	4.833.E-05
201	-11.3	-10.848	-101.856	-0.3	-0.54	38.7	6.316.E-05	-12.6	-12.096	-83.808	-0.3	-0.54	26.28	5.753.E-05	6.034.E-05
202	-7.5	-7.2	-109.056	-0.7	-1.26	37.44	7.162.E-05	-8.2	-7.872	-91.68	-0.7	-1.26	25.02	6.666.E-05	6.914.E-05
203	-10.5	-10.08	-119.136	-0.7	-1.26	36.18	8.296.E-05	-11.1	-10.656	-102.336	-0.7	-1.26	23.76	7.858.E-05	8.077.E-05
204	-22	-21.12	-140.256	-0.1	-0.18	36	1.043.E-04	-26.1	-25.056	-127.392	-0.1	-0.18	23.58	1.038.E-04	1.040.E-04
205	-3.3	-3.168	-143.424	0.2	0.36	36.36	1.071.E-04	-3.6	-3.456	-130.848	0.3	0.54	24.12	1.067.E-04	1.069.E-04
206	-11.7	-11.232	-154.656	-0.1	-0.18	36.18	1.185.E-04	-6.3	-6.048	-136.896	-0.1	-0.18	23.94	1.130.E-04	1.157.E-04



**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL**

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

207	4.2	4.032	-150.624	0.3	0.54	36.72	1.139.E-04	-2.9	-2.784	-139.68	0	0	23.94	1.157.E-04	1.148.E-04
208	-1.4	-1.344	-151.968	0.1	0.18	36.9	1.151.E-04	-1.8	-1.728	-141.408	0.1	0.18	24.12	1.173.E-04	1.162.E-04
209	-4.1	-3.936	-155.904	1	1.8	38.7	1.172.E-04	-5.2	-4.992	-146.4	1.2	2.16	26.28	1.201.E-04	1.187.E-04
210	-4.4	-4.224	-160.128	0.2	0.36	39.06	1.211.E-04	-5.1	-4.896	-151.296	0.2	0.36	26.64	1.247.E-04	1.229.E-04
211	-2.6	-2.496	-162.624	-0.1	-0.18	38.88	1.237.E-04	-2.9	-2.784	-154.08	-0.1	-0.18	26.46	1.276.E-04	1.257.E-04
212	-2.1	-2.016	-164.64	1	1.8	40.68	1.240.E-04	-2.5	-2.4	-156.48	0.9	1.62	28.08	1.284.E-04	1.262.E-04
213	2	1.92	-162.72	-0.2	-0.36	40.32	1.224.E-04	0.6	0.576	-155.904	-0.1	-0.18	27.9	1.280.E-04	1.252.E-04
214	-0.4	-0.384	-163.104	-0.2	-0.36	39.96	1.231.E-04	-0.8	-0.768	-156.672	-0.2	-0.36	27.54	1.291.E-04	1.261.E-04
215	-3.8	-3.648	-166.752	-0.2	-0.36	39.6	1.272.E-04	-4.6	-4.416	-161.088	-0.1	-0.18	27.36	1.337.E-04	1.304.E-04
216	-3.9	-3.744	-170.496	-0.3	-0.54	39.06	1.314.E-04	-4.3	-4.128	-165.216	-0.4	-0.72	26.64	1.386.E-04	1.350.E-04
217	-3.7	-3.552	-174.048	-0.9	-1.62	37.44	1.366.E-04	-4.2	-4.032	-169.248	-0.9	-1.62	25.02	1.442.E-04	1.404.E-04
218	-8	-7.68	-181.728	-0.2	-0.36	37.08	1.446.E-04	-9.2	-8.832	-178.08	-0.1	-0.18	24.84	1.532.E-04	1.489.E-04
219	-2.7	-2.592	-184.32	0.3	0.54	37.62	1.467.E-04	-3.2	-3.072	-181.152	0.2	0.36	25.2	1.560.E-04	1.513.E-04
220	-2.5	-2.4	-186.72	-0.3	-0.54	37.08	1.496.E-04	-2.7	-2.592	-183.744	-0.3	-0.54	24.66	1.591.E-04	1.544.E-04
221	-1.8	-1.728	-188.448	0.1	0.18	37.26	1.512.E-04	-2.2	-2.112	-185.856	0.1	0.18	24.84	1.610.E-04	1.561.E-04
222	-1.7	-1.632	-190.08	0.5	0.9	38.16	1.519.E-04	-1.7	-1.632	-187.488	0.5	0.9	25.74	1.617.E-04	1.568.E-04
223	-1.2	-1.152	-191.232	-0.5	-0.9	37.26	1.540.E-04	-2.5	-2.4	-189.888	-0.5	-0.9	24.84	1.650.E-04	1.595.E-04
224	-3.5	-3.36	-194.592	0	0	37.26	1.573.E-04	-3.9	-3.744	-193.632	0	0	24.84	1.688.E-04	1.631.E-04
225	-4.1	-3.936	-198.528	-0.2	-0.36	36.9	1.616.E-04	-3.4	-3.264	-196.896	-0.1	-0.18	24.66	1.722.E-04	1.669.E-04
226	-2.9	-2.784	-201.312	-0.3	-0.54	36.36	1.650.E-04	-4.4	-4.224	-201.12	-0.4	-0.72	23.94	1.772.E-04	1.711.E-04
227	-3.3	-3.168	-204.48	0.7	1.26	37.62	1.669.E-04	-3.6	-3.456	-204.576	0.6	1.08	25.02	1.796.E-04	1.732.E-04
228	-2.1	-2.016	-206.496	0.4	0.72	38.34	1.682.E-04	-0.9	-0.864	-205.44	0.5	0.9	25.92	1.795.E-04	1.738.E-04
229	-0.3	-0.288	-206.784	-0.3	-0.54	37.8	1.690.E-04	-2.3	-2.208	-207.648	-0.3	-0.54	25.38	1.823.E-04	1.756.E-04
230	-1.2	-1.152	-207.936	0	0	37.8	1.701.E-04	-1.8	-1.728	-209.376	-0.1	-0.18	25.2	1.842.E-04	1.772.E-04
231	-1.5	-1.44	-209.376	0	0	37.8	1.716.E-04	-1	-0.96	-210.336	0.1	0.18	25.38	1.850.E-04	1.783.E-04
232	-4.1	-3.936	-213.312	0.4	0.72	38.52	1.748.E-04	-5.1	-4.896	-215.232	0.4	0.72	26.1	1.891.E-04	1.820.E-04
233	-0.3	-0.288	-213.6	0.6	1.08	39.6	1.740.E-04	-0.7	-0.672	-215.904	0.6	1.08	27.18	1.887.E-04	1.814.E-04
234	0.7	0.672	-212.928	-0.5	-0.9	38.7	1.742.E-04	0.5	0.48	-215.424	-0.5	-0.9	26.28	1.891.E-04	1.817.E-04
235	-0.1	-0.096	-213.024	-0.5	-0.9	37.8	1.752.E-04	-0.2	-0.192	-215.616	-0.5	-0.9	25.38	1.902.E-04	1.827.E-04
236	-0.6	-0.576	-213.6	-0.2	-0.36	37.44	1.762.E-04	-1	-0.96	-216.576	-0.3	-0.54	24.84	1.917.E-04	1.839.E-04
237	-5.3	-5.088	-218.688	-0.1	-0.18	37.26	1.814.E-04	-5.7	-5.472	-222.048	0	0	24.84	1.972.E-04	1.893.E-04
238	-8.5	-8.16	-226.848	0.2	0.36	37.62	1.892.E-04	-9	-8.64	-230.688	0.2	0.36	25.2	2.055.E-04	1.974.E-04
239	0.4	0.384	-226.464	0	0	37.62	1.888.E-04	0.2	0.192	-230.496	-0.1	-0.18	25.02	2.055.E-04	1.972.E-04
240	0.2	0.192	-226.272	0.3	0.54	38.16	1.881.E-04	-0.1	-0.096	-230.592	0.3	0.54	25.56	2.050.E-04	1.966.E-04
241	-2.3	-2.208	-228.48	-0.2	-0.36	37.8	1.907.E-04	-3.2	-3.072	-233.664	-1.1	-1.98	23.58	2.101.E-04	2.004.E-04
242	-4.7	-4.512	-232.992	-0.2	-0.36	37.44	1.956.E-04	-5.3	-5.088	-238.752	0.8	1.44	25.02	2.137.E-04	2.046.E-04
243	-4.4	-4.224	-237.216	-0.4	-0.72	36.72	2.005.E-04	-2.7	-2.592	-241.344	-0.4	-0.72	24.3	2.170.E-04	2.088.E-04



# LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

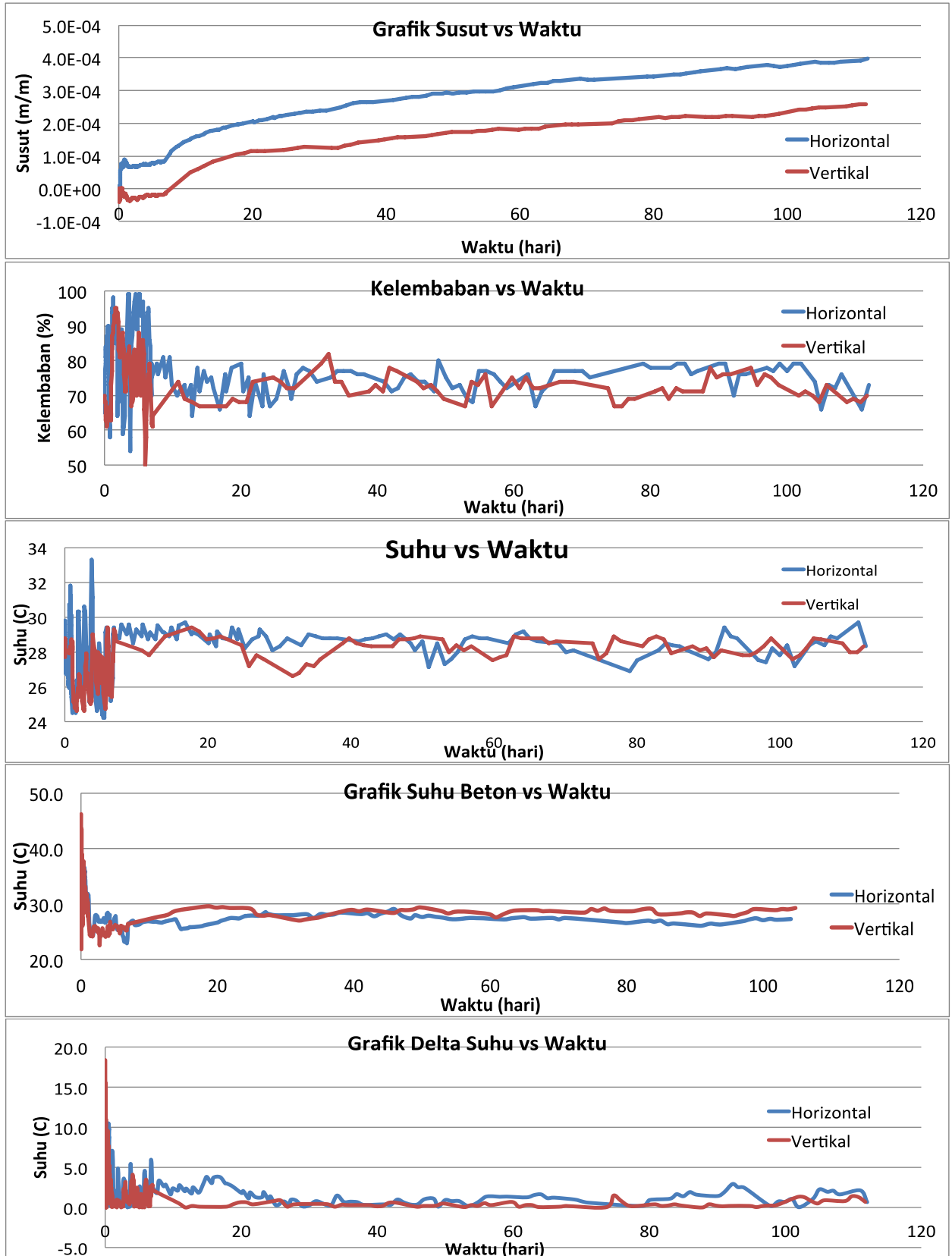
Kampus UI Depok 16424, Telp.7874878 – 7270029 (Ext.18) – 7270028 (Fax)

244	-1.3	-1.248	-238.464	0.5	0.9	37.62	2.008.E-04	-3	-2.88	-244.224	0.4	0.72	25.02	2.192.E-04	2.100.E-04
245	-1.9	-1.824	-240.288	0	0	37.62	2.027.E-04	-2	-1.92	-246.144	0.1	0.18	25.2	2.209.E-04	2.118.E-04
246	-5.7	-5.472	-245.76	-0.2	-0.36	37.26	2.085.E-04	-6.1	-5.856	-252	-0.2	-0.36	24.84	2.272.E-04	2.178.E-04
247	1.3	1.248	-244.512	-0.2	-0.36	36.9	2.076.E-04	1.3	1.248	-250.752	-0.3	-0.54	24.3	2.265.E-04	2.170.E-04
248	-2.8	-2.688	-247.2	0	0	36.9	2.103.E-04	-3.1	-2.976	-253.728	0.1	0.18	24.48	2.292.E-04	2.198.E-04
249	-1.3	-1.248	-248.448	1	1.8	38.7	2.097.E-04	-1.4	-1.344	-255.072	0.9	1.62	26.1	2.290.E-04	2.194.E-04
250	-2.6	-2.496	-250.944	-0.2	-0.36	38.34	2.126.E-04	-0.7	-0.672	-255.744	-0.1	-0.18	25.92	2.298.E-04	2.212.E-04
251	3.4	3.264	-247.68	-0.2	-0.36	37.98	2.097.E-04	1.2	1.152	-254.592	-0.2	-0.36	25.56	2.290.E-04	2.194.E-04
252	-0.2	-0.192	-247.872	0.1	0.18	38.16	2.097.E-04	-0.5	-0.48	-255.072	0	0	25.56	2.295.E-04	2.196.E-04
253	-0.6	-0.576	-248.448	0.5	0.9	39.06	2.094.E-04	-1	-0.96	-256.032	0.7	1.26	26.82	2.292.E-04	2.193.E-04
254	-2.3	-2.208	-250.656	-0.4	-0.72	38.34	2.123.E-04	-1.7	-1.632	-257.664	-0.5	-0.9	25.92	2.317.E-04	2.220.E-04
255	0.7	0.672	-249.984	0.3	0.54	38.88	2.111.E-04	0.5	0.48	-257.184	0.3	0.54	26.46	2.307.E-04	2.209.E-04
256	2	1.92	-248.064	0.1	0.18	39.06	2.090.E-04	2.5	2.4	-254.784	0.2	0.36	26.82	2.280.E-04	2.185.E-04
257	-3.8	-3.648	-251.712	-0.3	-0.54	38.52	2.132.E-04	-4.1	-3.936	-258.72	-0.4	-0.72	26.1	2.326.E-04	2.229.E-04
258	-0.6	-0.576	-252.288	-0.3	-0.54	37.98	2.143.E-04	0.3	0.288	-258.432	-0.4	-0.72	25.38	2.331.E-04	2.237.E-04
259	-1.9	-1.824	-254.112	-0.6	-1.08	36.9	2.172.E-04	-2.7	-2.592	-261.024	-0.5	-0.9	24.48	2.365.E-04	2.269.E-04
260	-3.1	-2.976	-257.088	0.2	0.36	37.26	2.198.E-04	-3.3	-3.168	-264.192	0.2	0.36	24.84	2.394.E-04	2.296.E-04
261	-10.8	-10.368	-267.456	-0.2	-0.36	36.9	2.306.E-04	-10.7	-10.272	-274.464	-0.2	-0.36	24.48	2.500.E-04	2.403.E-04
262	-3.1	-2.976	-270.432	0	0	36.9	2.335.E-04	-3.2	-3.072	-277.536	0.1	0.18	24.66	2.529.E-04	2.432.E-04
263	-2.7	-2.592	-273.024	-0.2	-0.36	36.54	2.365.E-04	-2.5	-2.4	-279.936	-0.3	-0.54	24.12	2.558.E-04	2.462.E-04
264	-1.1	-1.056	-274.08	-0.3	-0.54	36	2.381.E-04	-1	-0.96	-280.896	-0.3	-0.54	23.58	2.573.E-04	2.477.E-04
265	-1.1	-1.056	-275.136	0.3	0.54	36.54	2.386.E-04	-0.5	-0.48	-281.376	0.3	0.54	24.12	2.573.E-04	2.479.E-04
266	-5	-4.8	-279.936	0	0	36.54	2.434.E-04	-4.2	-4.032	-285.408	-0.2	-0.36	23.76	2.616.E-04	2.525.E-04
267	-3.3	-3.168	-283.104	0	0	36.54	2.466.E-04	-2.8	-2.688	-288.096	0.2	0.36	24.12	2.640.E-04	2.553.E-04
268	-2.1	-2.016	-285.12	0.3	0.54	37.08	2.480.E-04	-1.9	-1.824	-289.92	0.3	0.54	24.66	2.653.E-04	2.567.E-04
269	-2.5	-2.4	-287.52	0	0	37.08	2.504.E-04	-2.2	-2.112	-292.032	0	0	24.66	2.674.E-04	2.589.E-04



LAMPIRAN H-1

GRAFIK SUSUT SAMPEL HORIZONTAL DAN VERTIKAL





**LAMPIRAN H-2**

**GRAFIK SUSUT SEMUA PENELITIAN**

