



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

**FITRYAN ANGGRASARI
0806329193**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**FITRYAN ANGGRASARI
0806329193**

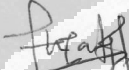
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Fitryan Anggrasari

NPM : 0806329193

Tanda Tangan : 


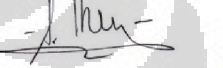
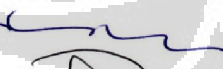
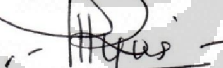
Tanggal : 3 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Fitryan Anggrasari
Npm : 0806329193
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Susut Beton Berkinerja Tinggi dengan
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 I : Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA. ()
Pembimbing II : Chatarina Niken ()
Penguji I : Ir. Madsuri, MT ()
Penguji II : Ir. Essy Arijoeni, M.Sc, Ph.D ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Juli 2012

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya panjatkan kepada 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 seminar ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan seminar ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Allah SWT, atas segala curahan rahmatnya sehingga skripsi ini dapat selesai pada waktunya.
- (2) Ibu Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan seminar ini.
- (3) Ibu Chatarina Niken Dwi, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (4) Bapak Ir. Madsuri, MT dan Ibu Ir. Essy Arijoeni, M.Sc, Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi ini.
- (5) PT Indocement yang telah memberikan material berupa semen.
- (6) Orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa, kasih sayang serta perhatian baik moril maupun materiil dalam penyusunan seminar ini.
- (7) Sahabat saya, teman seperjuangan skripsi, Gabby Rizkiyana Khalawi atas kerjasama, bantuan, semangat selama mengerjakan skripsi ini.
- (8) Radityo Putra yang selalu memberikan doa dan semangat untuk saya selama tiga tahun ini.

- (9) Sahabat-sahabat saya, Inal, Dian, Indah, Udit, Dhila, Shefi, Rizal, Yusak, Wisnu, Damar, Eva, atas semangat, pengalaman, kebersamaan dan persahabatan selama perkuliahan.
- (10) Seluruh sahabat Sipilingkungan 08, untuk semangat, keceriaan, kebersamaan, dan kekeluargaan selama empat tahun ini.
- (11) Laboran, Pak Apri, Pak Agus, Pak Hanafi, Pak Idris, Mas Soni, dkk yang atas bantuannya sangat membantu kelancaran penyusunan skripsi ini.
- (12) Mbak Dian, dan pegawai Sekretariat Teknik Sipil Universitas Indonesia yang telah membantu dalam urusan administrasi.
- (13) Semua pihak yang telah banyak membantu menyelesaikan skripsi saya ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga seminar ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu di Indonesia.

Depok, Januari 2012



Penulis

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

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

Nama : Fitryan Anggrasari
NPM : 0806329193
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

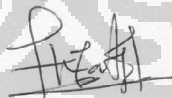
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 3 Juli 2012
Yang menyatakan



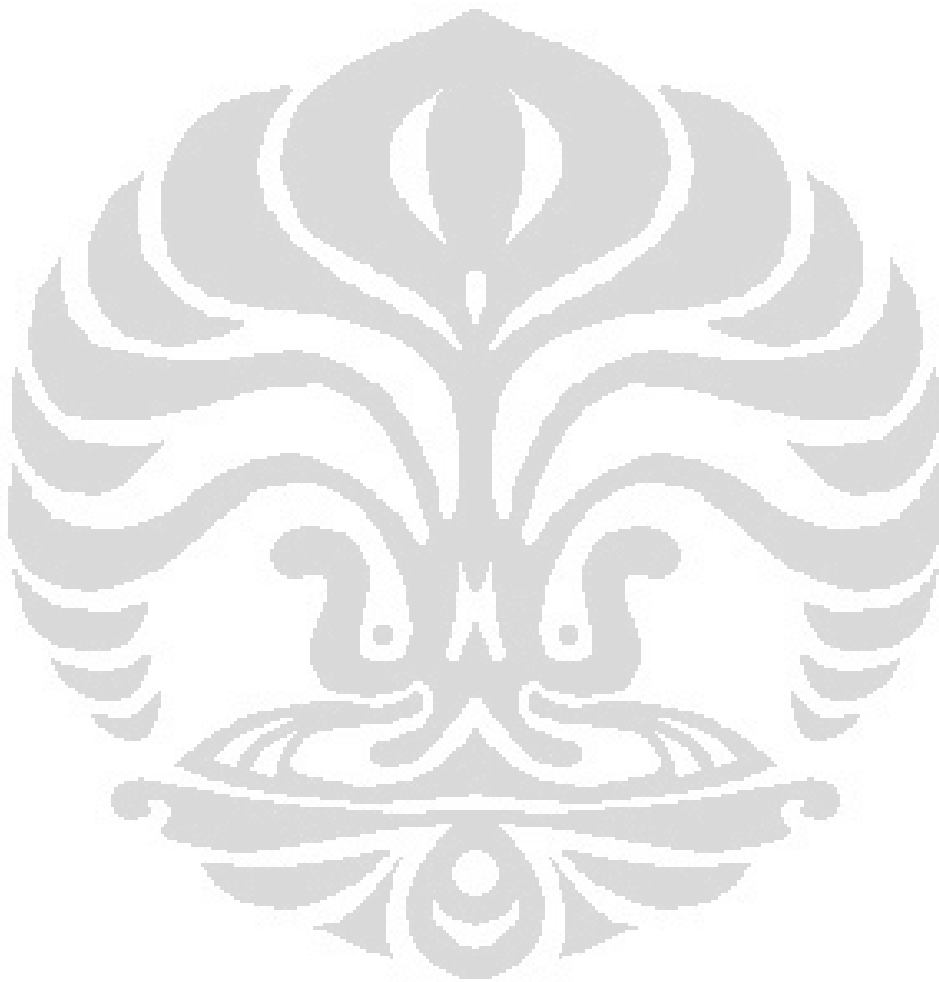
(Fitryan Anggrasari)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Hipotesis.....	3
1.6 Metodologi Penelitian.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Beton Mutu Tinggi.....	5
2.2 Beton Berkinerja Tinggi.....	5
2.2.1 Pengujian Beton Berkinerja Tinggi.....	7
2.3 Bahan Pembentuk Beton.....	11
2.3.1 Semen Portland.....	11
2.3.2 Agregat.....	18
2.3.3 Air.....	22
2.3.4 Bahan Tambah (Admixtures).....	23
2.4 Susut (Shrinkage).....	25
2.4.1 Perilaku Umum Susut.....	25
2.4.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Susut.....	26
2.4.3 Perhitungan Regangan Susut.....	29
2.5 <i>Fly Ash</i>	33
2.5.1 Definisi <i>Fly Ash</i>	33
2.5.2 Komposisi Fisika dan Kimia Penyusun <i>Fly Ash</i>	34
2.5.3 Pengaruh <i>Fly Ash</i> terhadap Beton.....	36
2.6 Penelitian Mengenai Susut.....	38

BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	40
3.1	Rencana Penelitian.....	40
3.2	Penjelasan Penelitian	42
	3.2.1 Studi Literatur	42
	3.2.2 Uji Material.....	42
3.3	Bahan Penelitian.....	43
3.4	Prosedur Penelitian	43
	3.4.1 Pengujian Agregat Kasar	43
	3.4.2 Pengujian Agregat Halus	47
3.5	Rancang Campur (<i>Mix Design</i>) Beton Dengan Metode <i>ACI Modified</i>	51
	3.5.1 Melakukan Pengujian Material Penyusun Beton	51
	3.5.2 Menetapkan Komposisi Semen.....	51
	3.5.3 Menentukan Nilai $w/(c+p)$	51
	3.5.4 Menentukan Komposisi <i>Fly Ash, Silicafume, dan Viscocrete</i> ..	52
	3.5.5 Menentukan Komposisi Air	54
	3.5.6 Menentukan Rongga Udara di Dalam Agregat Halus.....	54
	3.5.7 Menentukan Komposisi Air Tambahan.....	54
	3.5.8 Menentukan Berat Agregat Kasar.....	54
	3.5.9 Menentukan Berat Agregat Halus	55
	3.5.10 Menentukan Berat Total Material yang Akan Digunakan dalam Penelitian	55
3.6	Pembuatan Benda Uji	55
3.7	Pengujian Beton Segar.....	56
3.8	Perawatan Benda Uji	57
3.9	Metode Pengujian.....	58
	3.9.1 Metode Pengujian Tekan Beton.....	58
	3.9.2 Metode Pengujian Modulus Elastisitas.....	58
	3.9.3 Metode Pengujian Susut Beton	59
	3.9.4 Rencana Kebutuhan Benda Uji	62
3.10	Metode Pengolahan Hasil dan Analisis Data	62
BAB 4	ANALISIS DATA DAN HASIL PENELITIAN	64
4.1	Analisis Pengujian Material Penyusun Beton.....	64
	4.1.1 Agregat Kasar.....	64
	4.1.2 Agregat Halus.....	65
4.2	Analisis Pembuatan Sampel.....	67
	4.2.1 Perhitungan <i>Mix Design</i>	67
	4.2.2 Persiapan Pengecoran	68
	4.2.3 Pencampuran, Pengujian <i>Slump</i> , dan Pengecoran Beton Segar	69
	4.2.4 Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>).....	71
4.3	Analisis Pengujian Susut.....	71
	4.3.1 Perbandingan Susut Beton Arah Vertikal dengan Menggunakan <i>Fly Ash</i> dan tanpa Menggunakan <i>Fly Ash</i>	74
	4.3.2 Perbandingan Susut Beton dengan Menggunakan <i>Fly Ash</i> pada Sampel Vertikal dan Horizontal.....	76
	4.3.3 Perbandingan Susut Beton dengan Menggunakan <i>Fly Ash</i> pada Sampel Vertikal dan ACI 209R-92	88

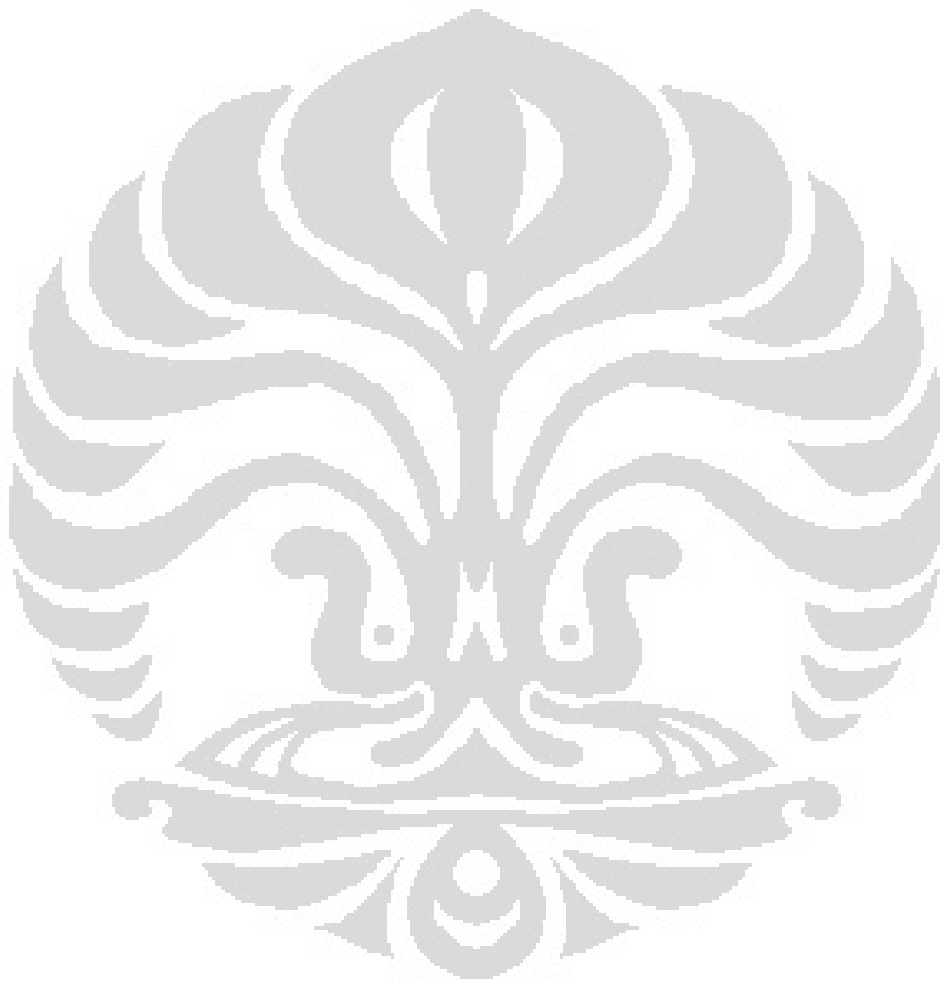
4.4	Analisis Pengujian Modulus Elastisitas	93
4.4.1	Pengujian dengan PUNDIT <i>plus</i> MODEL PC1600	93
4.4.2	Pengujian dengan Pembebanan dan Pengukuran Regangan.....	96
4.5	Analisis Kuat Tekan Beton	98
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	101
5.1	Kesimpulan.....	101
5.2	Saran	101
	DAFTAR PUSTAKA.....	103



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Slump-Flow Test</i>	8
Gambar 2.2	<i>L-Shaped Box</i>	10
Gambar 2.3	<i>V-Funnel Test</i>	11
Gambar 2.4	Skema Produksi Semen Portland.....	12
Gambar 2.5	Kurva Hubungan Regangan Susut terhadap Waktu.....	26
Gambar 2.6	Grafik Hubungan Faktor Air Semen terhadap Susut Beton.....	27
Gambar 2.7	Grafik Hubungan Kadar Agregat terhadap Susut Beton.....	27
Gambar 2.8	Grafik Hubungan Modulus Elastisitas Agregat terhadap Susut Beton.....	28
Gambar 2.9	Faktor Koreksi untuk Susut pada Kondisi Non-Standar.....	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	41
Gambar 3.2	<i>Standard Gradation</i>	42
Gambar 3.3	Grafik Hubungan Kadar <i>Silicafume</i> terhadap Kuat Tekan dan $w/(c+p)$	53
Gambar 3.4	<i>Vibrating Wire Embedded Strain Gage (VWESG)</i> , Alat Pembaca Regangan dan Suhu Beton, dan Alat Pengukur Kelembaban dan Suhu Ruangan.....	60
Gambar 3.5	Detail Pemasangan Alat Pengukur <i>Shrinkage</i>	61
Gambar 4.1	Kurva Susut Beton dengan <i>Fly Ash</i>	72
Gambar 4.2	Kurva Rata-rata Susut dengan <i>Fly Ash</i>	72
Gambar 4.3	Kurva Rata-rata Susut dengan <i>Fly Ash</i> saat <i>Curing</i>	73
Gambar 4.4	Kurva Rata-rata Susut dengan <i>Fly Ash</i> setelah <i>Curing</i>	73
Gambar 4.5	Perbandingan Susut Beton pada Sampel Vertikal.....	74
Gambar 4.6	Perbandingan Susut Beton pada Sampel Vertikal saat <i>Curing</i>	74
Gambar 4.7	Perbandingan Susut Beton pada Sampel Vertikal setelah <i>Curing</i>	75
Gambar 4.8	Perbandingan Gradien Susut Beton pada Sampel Vertikal setelah <i>Curing</i>	76
Gambar 4.9	Perbandingan Susut Beton dengan <i>Fly Ash</i>	77
Gambar 4.10	Perbandingan Susut Beton dengan <i>Fly Ash</i> (0-1 Hari).....	78
Gambar 4.11	Perbandingan Susut Beton dengan <i>Fly Ash</i> (1-3 Hari).....	79
Gambar 4.12	Perbandingan Susut Beton dengan <i>Fly Ash</i> (3-7 Hari).....	79
Gambar 4.13	Perbandingan Susut Beton dengan <i>Fly Ash</i> setelah <i>Curing</i>	80
Gambar 4.14	Perbandingan Suhu Lingkungan pada Sampel Beton Horizontal dan Vertikal dengan <i>Fly Ash</i>	81
Gambar 4.15	Perbandingan Kelembaban Relatif Lingkungan pada Sampel Beton Horizontal dan Vertikal dengan <i>Fly Ash</i>	82
Gambar 4.16	Perbandingan Suhu Beton dengan <i>Fly Ash</i> pada Sampel Horizontal dan Vertikal.....	83
Gambar 4.17	Perbandingan Suhu Beton dengan <i>Fly Ash</i> pada Sampel Horizontal dan Vertikal saat <i>Curing</i>	84
Gambar 4.18	Perbandingan Suhu Beton dengan <i>Fly Ash</i> pada Sampel Horizontal dan Vertikal Setelah <i>Curing</i>	84
Gambar 4.19	Perbedaan Suhu Beton dan Lingkungan.....	85

Gambar 4.20	Perbedaan Suhu Beton dan Lingkungan (Saat <i>Curing</i>).....	85
Gambar 4.21	Perbedaan Suhu Beton dan Lingkungan (Setelah <i>Curing</i>)	85
Gambar 4.22	Posisi <i>Strain Gage</i> pada Sampel Vertikal.....	86
Gambar 4.23	Posisi <i>Strain Gage</i> pada Sampel Horizontal.....	87
Gambar 4.24	Perbandingan Gradien Susut Beton dengan <i>Fly Ash</i> setelah <i>Curing</i>	87
Gambar 4.25	Perbandingan Regangan Susut dengan ACI 209R-92.....	92
Gambar 4.26	Perbandingan Regangan Susut.....	93



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Kimia Semen.....	13
Tabel 2.2	Unsur Utama Semen Portland	13
Tabel 2.3	Batas Toleransi Kotoran atau Senyawa Dalam Pencampuran Air	23
Tabel 2.4	Parameter Pengukuran Susut pada Kondisi Standar.....	30
Tabel 2.5	Komposisi Fisik dan Kimia <i>Fly Ash</i>	35
Tabel 3.1	Hubungan Kuat Tekan Rencana dengan Ratio $w/(c+p)$ dan Ukuran Agregat Maksimum	52
Tabel 3.2	Kadar <i>Fly Ash</i> sesuai Tipe.....	53
Tabel 3.3	Hubungan Ukuran Agregat Maksimum terhadap Volume per Unit Volume Agregat Kasar.....	54
Tabel 3.4	Jumlah Kebutuhan Sampel.....	62
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	64
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar.....	65
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	66
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Halus.....	67
Tabel 4.5	Kebutuhan Material per m^3 Beton	68
Tabel 4.6	Faktor Koreksi untuk Kelembaban Relatif.....	89
Tabel 4.7	Faktor Koreksi untuk Tebal Minimum Penampang	90
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dengan PUNDIT $plus$ MODEL PC1600.....	95
Tabel 4.9	Kriteria Dixon.....	95
Tabel 4.10	Pengecekan Kelayakan Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dengan PUNDIT $plus$ MODEL PC1600.....	96
Tabel 4.11	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dengan Pembebanan dan Pengukuran Regangan.....	97
Tabel 4.12	Pengecekan Kelayakan Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dengan Pembebanan dan Pengukuran Regangan	98
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	99
Tabel 4.14	Konversi Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur	99
Tabel 4.15	Kuat Tekan Beton setelah Dikonversi	100
Tabel 4.16	Pengecekan Kelayakan Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton... ..	100

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Hasil Uji Material
LAMPIRAN B	Hasil Uji Susut Beton
LAMPIRAN C	Pengolahan Data Uji Susut Beton
LAMPIRAN D	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas (Test PUNDIT^{plus} MODEL PC1600
LAMPIRAN E	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas (Test Pembebanan dan Pengukuran Regangan)
LAMPIRAN F	Hasil Pengujian Kuat Tekan
LAMPIRAN G	Hasil <i>Mix Design</i>
LAMPIRAN H	Alat dan Material
LAMPIRAN I	Dokumentasi Pengujian

ABSTRAK

Nama : Fitriyan Anggrasari
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Susut Beton Berkinerja Tinggi dengan Menggunakan
Fly Ash pada Arah Vertikal

Penelitian yang dilakukan akhir-akhir ini mengenai susut sebatas susut pada beton arah horizontal. Padahal pada kenyataannya, banyak elemen struktur beton yang berada pada posisi selain horizontal, seperti kolom. Oleh karena itu, dilakukan suatu penelitian terhadap campuran beton berkinerja tinggi yang menggunakan *fly ash*, yang selanjutnya akan diamati perilaku susutnya pada arah vertikal untuk mengetahui apakah ada pengaruh berat sendiri beton dan penggunaan *fly ash* terhadap susut yang terjadi, serta membandingkan dengan perhitungan regangan susut berdasarkan ACI 209R-92.

Untuk pengujian susut, benda uji akan dibuat dalam balok ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm dan diuji dengan menggunakan *Vibrating Wire Embedded Strain Gage* (VWESG) sesaat setelah beton dicor hingga beton berumur 110 hari. Pengujian tekan dan modulus elastisitas juga dilakukan untuk mengetahui karakteristik kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang diteliti. Benda uji tekan akan dibuat dalam silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm yang dites pada hari ke 3, 7, 14, dan 28. Sedangkan benda uji modulus elastisitas akan dibuat dalam silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 15 cm yang dites pada hari ke-28. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat sendiri beton dan penggunaan *fly ash* tidak berpengaruh terhadap susut yang terjadi. Regangan susut yang terjadi hampir sama dengan regangan susut berdasarkan ACI209-92.

Kata Kunci : susut, beton berkinerja tinggi, *fly ash*, vertikal, kuat tekan, modulus elastisitas

ABSTRACT

Name : Fitryan Anggrasari
Study Program : Civil Engineering
Title : Study of Shrinkage of High Performance Concrete Using Fly Ash in Vertical Direction

Research in shrinkage of concrete carried out recently is merely about shrinkage in horizontal direction. Whereas in reality, many structural elements site in vertical direction, such as column. Therefore, this research carry out shrinkage of high performance concrete using fly ash in vertical direction which is used to find out if there is influence of its own weight and the use of fly ash in concrete shrinkage. In addition, this research is also compared with prediction of shrinkage based on ACI 209R-92.

The shrinkage specimens will be made of beam type specimens size of 15 cm x 15 cm x 60 cm and evaluated by Vibrating Wire Embedded *Strain Gage* (VWESG) right after the fresh concrete is placed to the mold until the specimens age is approximately 110 days. The compressive strength dan elastic modulus test will also be evaluated to find out the characteristics of compressive strength and elastic modulus of concrete specimens. The compressive strength specimens will be made of cylinder type specimen size of 10 cm diameter and 20 cm height and tested on 3, 7, 14, and 28 days of concrete specimens age. Whereas the elastic modulus specimens will be made of cylinder type specimen size of 15 cm diameter and 23 cm height and tested on 28 days of concrete specimens age. The result of this research shows that concrete's own weight and the use of fly ash do not influence the shrinkage of concrete. The shrinkage that occurred is almost the same with the one according to ACI 209R-92.

Keywords : shrinkage, high performance concrete, fly ash, vertical, compressive strength, elastic modulus

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hingga saat ini beton masih merupakan material pilihan yang paling diminati di dalam dunia konstruksi bangunan dibandingkan dengan material baja atau kayu. Beton banyak digunakan di dalam konstruksi bangunan karena memiliki berbagai kelebihan yaitu bahan pembentuknya mudah didapatkan, mudah dicetak dan dibentuk sesuai dengan keinginan perencana, serta memiliki kekuatan tekan yang tinggi. Selain itu, dibandingkan dengan material baja atau kayu, biaya perawatan beton relatif lebih murah, serta lebih tahan terhadap suhu tinggi dan korosi. Namun di sisi lain beton juga memiliki beberapa kekurangan, baik dari proses produksi maupun sifat-sifat fisiknya diantaranya beton memiliki kekuatan tarik yang rendah bersifat getas, serta memiliki sifat susut dan rangkak.

Dibandingkan dengan baja dan kayu, beton merupakan material yang bersifat tidak homogen, karena terdiri dari berbagai macam bahan, yaitu semen, air, agregat, dan bahan tambahan lainnya. Kualitas dan kekuatan beton sangat ditentukan oleh material pembentuknya dan kualitas pengerjaannya di lapangan. Oleh karena itu, perlu adanya pengetahuan yang baik mengenai perancangan campuran beton untuk memperoleh beton yang tahan lama dan kuat menahan beban yang direncanakan.

Pesatnya perkembangan teknologi beton dewasa ini menyebabkan peningkatan mutu dan kinerja beton yang ada di pasaran. Saat ini beton dikembangkan menjadi beton dengan mutu dan kinerja yang tinggi. Bahkan akhir-akhir ini telah dikembangkan beton dengan mutu sangat tinggi. Beton mutu tinggi banyak digunakan pada bangunan yang didesain dengan kekuatan dan keawetan yang tinggi seperti bangunan bertingkat tinggi, jembatan berbentang panjang, bangunan lepas pantai, silo yang tinggi dan berdiameter besar, serta produk *precast* dan *prestress*.

Salah satu karakteristik yang dimiliki beton, baik beton normal maupun beton mutu tinggi adalah penyusutan. Susut merupakan deformasi pada beton

yang sangat dipengaruhi oleh waktu, temperatur dan bahan penyusunnya. Susut pada beton ditandai dengan penurunan volume beton sejak beton segar dicor ke dalam cetakan hingga beton mengeras. Proses penyusutan yang tidak dikendalikan dengan baik akan mengakibatkan retak pada beton yang akhirnya akan mengurangi kekuatan beton. Penyusutan pada beton ini merupakan proses yang tidak dapat dihindari, karena penurunan kadar air di dalam beton terjadi akibat adanya proses hidrasi ketika semen bercampur dengan air pada campuran beton. Namun demikian, besarnya nilai susut berbeda-beda antara beton satu dengan yang lainnya, tergantung dari komposisi dan kualitas bahan pembentuknya, serta kualitas pengerjaannya di lapangan.

Nilai susut pada beton mutu tinggi diharapkan lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Hal ini dikarenakan pada campuran beton mutu tinggi digunakan bahan tambahan (*admixtures*) yang berguna untuk meningkatkan kemudahan pengerjaan (*workability*) beton segar tanpa menambah kadar air. Salah satu *admixtures* yang digunakan pada beton mutu tinggi adalah *fly ash* atau abu terbang, yang juga digunakan pada penelitian ini.

Penelitian yang dilakukan akhir-akhir ini mengenai susut sebatas susut pada beton arah horizontal. Padahal pada kenyataannya, banyak elemen struktur beton yang berada pada posisi selain horizontal, seperti kolom. Oleh karena itu, penulis melakukan suatu penelitian terhadap campuran beton yang menggunakan *fly ash*, yang selanjutnya akan diamati perilaku susutnya pada arah vertikal untuk mengetahui apakah ada pengaruh berat sendiri beton dan penggunaan *fly ash* terhadap susut yang terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana perilaku susut beton pada arah horizontal dibandingkan dengan susut pada arah horizontal.
2. Apakah berat sendiri beton mempengaruhi besarnya susut yang terjadi.
3. Bagaimana pengaruh *fly ash* terhadap perilaku susut yang terjadi.

1.3 Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui susut yang terjadi pada beton dengan posisi vertikal yang menggunakan *fly ash*, serta sejauh mana pengaruh *fly ash* terhadap susut pada arah vertikal yang terjadi pada beton.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik 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.

Pedoman, teori, peralatan dan prosedur pengujian yang dipakai dalam penelitian ini mengacu pada standar dari *American Society for Testing and Material* dengan memperhatikan Standar Nasional Indonesia terbitan PusLitbang Departemen Pekerjaan Umum.

1.5 Hipotesis

Susut beton pada arah vertikal lebih besar daripada susut beton pada arah horizontal. Hal ini dikarenakan berat sendiri beton akan mempengaruhi susut yang terjadi. Penggunaan *fly ash* pada beton menyebabkan susut yang terjadi lebih kecil, karena penggunaan *fly ash* mengurangi jumlah semen dan panas hidrasi yang terjadi akibat penggunaan semen yang berlebihan.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengujian di laboratorium, dengan urutan sebagai berikut :

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. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan penelitian susut pada arah horizontal oleh Chatarina Niken dan ACI 209-92.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan skripsi ini terdiri dari lima bab yang menguraikan beberapa hal yang terkait dengan kegiatan penelitian. Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, penulis menjelaskan tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Dalam bab ini, penulis menguraikan secara deskriptif teori-teori yang menjadi dasar dan arahan di dalam kegiatan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, penulis menjelaskan tentang tahapan pelaksanaan kegiatan yang dilakukan di dalam penelitian.

BAB IV ANALISIS DATA DAN HASIL PENELITIAN

Dalam bab ini, penulis membahas hasil dari pengujian sampel dan analisis data hasil pengujian susut beton berkinerja tinggi dengan menggunakan *fly ash* pada arah vertikal

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diambil kesimpulan mengenai hasil pengolahan data dan analisis serta saran untuk evaluasi penelitian agar dapat dikembangkan dan diteliti lebih lanjut.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Beton Mutu Tinggi

Pesatnya perkembangan teknologi beton menyebabkan terminologi beton mutu tinggi mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Pada tahun 1950-an, beton dengan kuat tekan 30 MPa sudah dikategorikan sebagai beton mutu tinggi. Pada tahun 1960 hingga awal 1970, kuat tekan beton mutu tinggi mengalami pergeseran menjadi 40 MPa. Saat ini, beton mutu tinggi pada umumnya merupakan beton yang memiliki kuat tekan lebih dari 50 MPa. Dengan demikian, beton yang memiliki kuat tekan kurang dari 50 MPa dapat dikategorikan sebagai beton mutu normal.

Bahan penyusun beton mutu tinggi umumnya sama dengan bahan penyusun beton mutu normal, yaitu semen agregat kasar, agregat halus, dan air. Semakin tinggi mutu beton, semakin sedikit air yang terkandung di dalam beton atau beton semakin kental. Hal ini mengakibatkan beton mutu tinggi memiliki kinerja yang kurang baik. Oleh karena itu, di dalam pengerjaannya, diperlukan bahan tambahan agar kinerja beton mutu tinggi lebih baik.

2.2 Beton Berkinerja Tinggi

Saat ini beton dengan kinerja tinggi menjadi kebutuhan yang sangat penting di dalam dunia konstruksi. Hal ini dikarenakan bangunan-bangunan didesain semakin tinggi dan rumit di dalam proses pengerjaannya. Beton sebagai salah satu bahan utama pembuat bangunan harus dibuat dengan kinerja yang tinggi sehingga pekerjaan konstruksi bangunan dapat berjalan dengan baik tanpa ada kesulitan di dalam pengerjaannya. Kinerja yang tinggi pada beton segar (*fresh concrete*) dapat dilihat dari :

- Kemudahan pengecoran (*workability*)
- Kohesivitas dan kemudahan pemompaan ke level yang lebih tinggi (*pumpability*)
- Panas hidrasi yang rendah
- Susut yang rendah pada proses pengerasan

- Perlambatan atau percepatan waktu ikat awal sesuai kebutuhan.

Sedangkan kinerja tinggi pada beton yang sudah mengeras dapat dilihat dari :

- Kuat tekan yang tinggi atau sangat tinggi
- Kuat tarik yang lebih baik
- Kuat tekan awal yang tinggi
- Perilaku yang lebih daktail
- Kekedapan air dan udara
- Ketahanan terhadap abrasi, karbonasi, dan korosi sulfat
- Penetrasi klorida yang rendah
- Susut dan rangkai yang rendah
- Keawetan jangka panjang

Beton dengan mutu tinggi memiliki rasio air terhadap semen yang kecil, sehingga beton yang dihasilkan sangat kental dan sulit untuk dikerjakan. Dengan pesatnya perkembangan teknologi beton, pengerjaan yang sulit pada beton mutu tinggi saat ini sudah tidak menjadi kendala lagi. Bahkan beton dengan mutu lebih dari 100 MPa sudah dapat diproduksi dalam komersial yang besar dengan harga yang relatif ekonomis. Penggunaan bahan tambah seperti *chemical* dan *mineral admixtures* menjadi salah satu solusi untuk membuat beton mutu tinggi menjadi lebih mudah untuk dikerjakan.

Salah satu beton berkinerja tinggi adalah beton dengan kinerja pemadatan mandiri (*Self Compacting Concrete*) atau biasa disebut SCC. SCC merupakan solusi dari hasil pengecoran beton yang kurang padat yang mengakibatkan beton keropos. Secara umum, SCC diproduksi dengan menggunakan bahan tambahan *superplasticizer* berbasis polimer, *silicafume*, dan bahan tambahan lain yang spesifik, serta ukuran agregat yang terbatas biasanya kurang dari 20 mm.

Pemakaian SCC memberikan banyak keuntungan pada beton segar maupun beton yang sudah mengeras. Pada beton segar, keuntungan memakai SCC antara lain menghasilkan beton yang homogen dan stabil, serta *workability* yang tinggi sehingga pada saat dituangkan beton akan mengalir memenuhi semua tempat di dalam cetakan dan padat secara mandiri. Sedangkan pada beton yang sudah mengeras, SCC menghasilkan beton dengan kekuatan yang tinggi (bila dirancang dengan kadar air yang rendah), kekedapan air yang tinggi, ketahanan

yang tinggi terhadap serangan lingkungan yang agresif, keawetan jangka panjang dan mutu permukaan yang lebih baik, serta pengurangan kebisingan pemadatan beton.

2.2.1 Pengujian Beton Berkinerja Tinggi

2.2.1.1 *Slump Flow Test (Pengujian Workability)*

Workability merupakan kemudahan dalam pengerjaan beton. Untuk menguji *workability* campuran beton SCC digunakan *slump cone*. Pengujian dengan alat ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana kondisi *slump flow* dan *filling ability* dari beton SCC tersebut. Metode untuk pengujian dengan *slump cone* ini berbeda dengan pengujian *slump* pada beton bertulang konvensional biasa (Himawan,A., & Darma,D.S., Penelitian Mengenai Awal *Self Compacting Concrete*, 2000). Berbeda dengan beton konvensional pengujian ini dilakukan secara terbalik. Syarat *filling ability* yang harus dipenuhi adalah beton yang keluar dapat mencapai diameter 50 cm setelah 3 – 6 detik *slump cone* ditarik.

Kebutuhan nilai *slump flow* untuk pengecoran konstruksi bidang vertikal berbeda dengan bidang horisontal. Kriteria yang umum dipakai untuk penentuan awal workabilitas beton SCC berdasarkan tipe konstruksi adalah sebagai berikut :

- Untuk konstruksi vertikal, disarankan menggunakan *slump-flow* antara 65 cm sampai 70 cm.
- Untuk konstruksi horisontal, disarankan menggunakan *slump-flow* antara 60 cm sampai 65 cm.

Untuk pengujian *workability* menggunakan alat *slump cone*, langkah-langkah kerja metode alat ini adalah sebagai berikut:

- Sebelum dilakukan pengujian, perlu dilakukan persiapan alat *slump cone*. Persiapan yang dilakukan adalah dengan membasahi alat ini dengan air sehingga seluruh permukaannya basah.

- *Slump cone* diletakkan secara terbalik, diameter yang kecil diletakkan dibagian bawah, hal ini berbeda dengan pengujian *slump* pada beton konvensional dimana diameter yang lebih besar diletakkan dibagian bawah. Dibagian dasar diletakkan papan yang datar kurang lebih selebar 60 cm.
- Adukan beton dimasukkan dalam *slump cone* sampai dengan volume penuh dan tidak dilakukan pengerojokan terhadap campuran beton tersebut.
- Kemudian *slump cone* diangkat secara perlahan dan konstan. Aliran tidak boleh sampai terputus.
- Dicatat waktu yang diperlukan aliran beton untuk mencapai diameter 50 cm (SF_{50}) maksimal 6 detik.
- Setelah aliran beton berhenti, dicatat diameter maksimum yang dapat dicapai aliran beton (SF_{max}) harus lebih dari 50 cm.

Dengan pengujian *slump cone* ini dapat diamati *workability* dari campuran beton SCC tersebut, yaitu dengan mengamati beberapa kondisi berikut :

- Homogenitas dari beton tersebut, tanpa terjadi *segregasi*.
- Tidak terjadi *bleeding*.
- Agregat harus tersebar merata.



Gambar 2.1 Slump-Flow Test

2.2.1.2 L-Shaped Box Test (Pengujian *Flowability*)

Flowability adalah kemampuan beton segar melewati tulangan dan mengisi *formwork* dengan lebih cepat tanpa terjadi

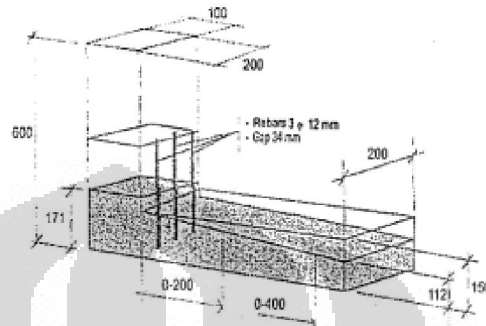
segregasi dan *bleeding*. Untuk menguji *flowability* dari suatu campuran beton SCC digunakan *L-shaped box*. Alat ini berbentuk huruf L dan terbuat dari kayu *plywood* ataupun kaca. Pada alat ini, antara arah horizontal dengan vertikal dipasang pintu penutup yang cara membukanya dengan menarik kearah atas dan diberikan tulangan baja. Saringan ini berfungsi untuk mengkondisikan sesuai dengan keadaan di lapangan (Himawan,A. & Darma,D.S., Penelitian Awal Mengenai *Self Compacting Concrete*, 2000). Syarat *passing ability* yang harus dipenuhi yaitu setelah sekat dibuka, beton dapat mencapai 40 cm (FL_{40}) dalam 3-6 detik.

Dengan melakukan pengujian menggunakan L-shape Box, dapat diketahui kemungkinan adanya *blocking* beton segar saat mengalir, dan juga dapat dilihat viskositas beton segar yang bersangkutan. Selanjutnya akan didapat nilai *blocking ratio*. Semakin besar nilai *blocking ratio*, semakin baik beton segar mengalir dengan viskositas tertentu. Untuk test ini kriteria yang umum dipakai baik untuk tipe konstruksi vertikal maupun untuk konstruksi horisontal disarankan mencapai nilai *blocking ratio* antara 0,8 sampai 1,0.

Metode kerja alat *L-shaped box* adalah sebagai berikut:

- Sebelum digunakan alat ini harus dibasahi terlebih dahulu sehingga permukaannya basah.
- Pintu pada *L-shaped box* ditutup dan halangan tulangan dipasangkan pada alat.
- Campuran beton diisikan pada *L-shaped box* pada arah vertikal sampai dengan penuh pada permukaan alat tersebut.
- Disiapkan 2 buah *stop watch* untuk mengukur waktu yang diperlukan campuran beton untuk mengalir.
- Kemudian pintu dibuka, sehingga campuran beton mulai mengalir pada arah horisontal dari *L-shaped box*.
- Dicatat waktu yang dicapai oleh aliran beton untuk mencapai 40cm dari ujung dalam *L-shaped box* (FL_{40}) maksimal 6 detik.

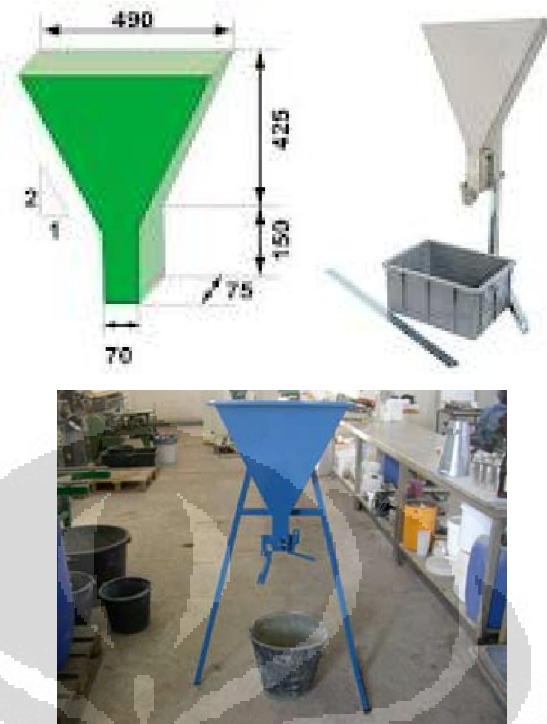
- Dicatat waktu yang dicapai campuran beton untuk mencapai ujung luar dari *L-shaped box* (FL_{max})
- Setelah itu dicek perbedaan tinggi dalam arah horizontal, maksimum perbedaan tinggi yang terjadi kurang dari 20%.



Gambar 2.2 *L-Shaped Box*

2.2.1.3 V-Funnel Test

Alat V-Funnel ini digunakan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan representatif dalam pengujian filling ability campuran beton. Selain itu alat ini juga digunakan untuk mengukur viskositas beton SCC dan sekaligus mengetahui *segregation resistance*. Kemampuan beton segar untuk segera mengalir melalui mulut di ujung bawah alat ukur V-funnel diukur dengan besaran waktu antara 6 detik sampai maksimal 12 detik.



Gambar 2.3 V-Funnel Test

2.3 Bahan Pembentuk Beton

Beton merupakan campuran dari berbagai material, yaitu semen, agregat, air, dan material tambahan lainnya.

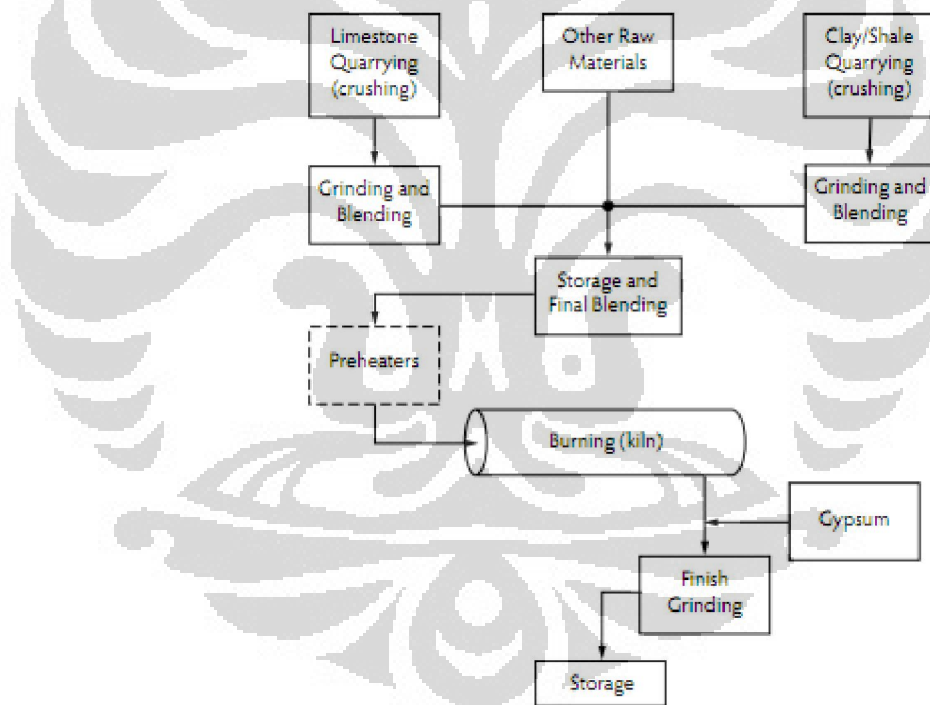
2.3.1 Semen Portland

Semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker, yang umumnya terdiri dari bahan kalsium-silika-hidrat, alumina, oksida besi, dan material lainnya seperti gipsum. Semen portland akan mengeras bila bereaksi dengan air dan membentuk campuran yang tahan terhadap air setelah proses hidrasi selesai. Nama semen portland pertama kali diambil dari sebuah daerah di Inggris oleh Joseph Aspdin pada tahun 1824.

2.3.1.1 Proses Pembuatan Semen Portland

Proses pembuatan semen portland pada dasarnya merupakan proses yang sederhana. Bahan baku semen portland yaitu CaO , SiO_2 , dan Al_2O_3 dicampur menjadi satu dengan bahan

tambahan lainnya. Campuran kemudian dituangkan ke ujung atas klin yang telah dipanaskan. Selama kiln bekerja, campuran material akan mengalir dari atas ke bawah dengan kelajuan terkontrol yang telah ditentukan sebelumnya. Suhu campuran tersebut dinaikkan sampai terjadi fusi awal yang disebut *temperature clinkering*. Suhu tersebut dipertahankan sampai campuran membentuk semen portland atau klinker yang berukuran antara 1/16 dan 2 inch pada suhu 1400°C – 1600°C. Klinker kemudian didinginkan dan dihancurkan sampai berbentuk serbuk. Selama proses pembentukan serbuk ditambahkan sedikit gipsum untuk mengontrol waktu pengerasan semen di lapangan. Skema produksi semen portland dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.4 Skema Produksi Semen Portland

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

2.3.1.2 Komposisi Kimia Semen Portland

Bahan utama pembentuk semen portland adalah kapur (CaO), silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan oksida besi (Fe₂O₃), yang dikenal sebagai unsur utama atau *major constituent*. Isi total

dari empat oksida tersebut kira-kira 90% dari berat total semen. 10% lainnya terdiri dari magnesia (MgO), oksida alkali (Na₂O dan K₂O), titania (TiO₂), phosphorus pentoxide (P₂O₅), dan gipsum, yang dikenal sebagai unsur minor atau *minor constituent*.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Semen

Oxide	Shorthand Notation	Common Name	Typical Weight Percent in Ordinary Cement
CaO	C	Lime	63
SiO ₂	S	Silica	22
Al ₂ O ₃	A	Alumina	6
Fe ₂ O ₃	F	Ferric oxide	2.5
MgO	M	Magnesia	2.5
K ₂ O	K	Alkalis	0.6
Na ₂ O	N		0.4
SO ₃	\bar{S}	Sulfur trioxide	2.0
CO ₂	\bar{C}	Carbon dioxide	—
H ₂ O	H	Water	—

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

Silika, alumina, dan oksida besi akan bereaksi dengan kalsium oksida untuk menghasilkan empat unsur utama semen portland:

Tabel 2.2 Unsur Utama Semen Portland

Chemical Formula	Shorthand Notation	Chemical Name	Weight Percent
3CaO·SiO ₂	C ₃ S	Tricalcium silicate	50
2CaO·SiO ₂	C ₂ S	Dicalcium silicate	25
3CaO·Al ₂ O ₃	C ₃ A	Tricalcium aluminate	12
4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	Tetracalcium aluminoferrite	8
CaSO ₄ ·2H ₂ O	CSH ₂	Calcium sulfate dihydrate (gypsum)	3.5

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

Bahan dasar untuk memproduksi semen portland terdiri dari sekitar empat perlima bagian kalsium karbonat. Bahan ini diurai selama proses produksi klinker semen untuk memproduksi kalsium oksida, yang akan tetap tinggal dalam campuran untuk bereaksi

dengan oksida lain, untuk mendapatkan unsur hidrolis yang penting pada semen portland.

Sumber alam dari kalsium karbonat adalah batu kapur. Sumber lainnya dapat ditemui di banyak tempat, yaitu batu koral, limbah kapur dari proses kimia industri, dan cangkang kerang. Sedangkan silika, alumina, dan oksida besi diperoleh dari tanah liat atau batu lempung.

Unsur mayor dan minor memiliki sifat dan peran masing-masing di dalam semen portland. Sifat dan peran unsur mayor di dalam semen portland adalah sebagai berikut :

- C_3S (*Tricalcium silicate*)
Bila dicampur dengan air, C_3S akan menghasilkan pengerasan pasta semen dalam beberapa jam dan mendapatkan sebagian besar kekuatannya pada minggu pertama, dengan mengeluarkan panas sekitar 500 J/g. Kandungannya di dalam pasta semen bervariasi antara 35% - 55% dengan rata-rata 45%.
- C_2S (*Dicalcium silicate*)
Bila dicampur dengan air, C_2S akan berhidrasi dengan jumlah panas yang rendah yaitu sekitar 250 J/g. Pasta yang mengeras akan mendapatkan kekuatannya selama beberapa minggu bahkan bulan. Kandungannya di dalam pasta semen bervariasi antara 15% - 35% dengan rata-rata 25%.
- C_3A (*Tricalcium aluminate*)
Bila bereaksi dengan air, C_3A akan menghasilkan pengikatan dalam waktu cepat yaitu dalam satu atau dua hari disertai dengan pengeluaran panas yang besar yaitu sekitar 850 J/g. Kandungannya di dalam pasta semen bervariasi antara 7% - 15%.
- C_4AF (*Tetracalcium aluminoferrite*)
Bila bereaksi dengan air, C_4AF secara cepat menghasilkan pengikatan dalam beberapa menit dengan mengeluarkan panas

sekitar 420 J/g. Kandungannya di dalam pasta semen bervariasi antara 5% - 10% dengan rata-rata 5%.

Sedangkan unsur minor di dalam semen portland memiliki sifat dan peran sebagai berikut :

- Gypsum

Gypsum berfungsi untuk mengatur waktu pengikatan semen. Kandungan gipsium berlebih dapat menyebabkan buruknya pengikatan semen dan retak pada proses pengerasannya. Oleh karena itu, kandungan optimum gipsium perlu diperhatikan agar memberikan kekuatan maksimum dan susut minimum pada beton.

- Kapur bebas

Kapur bebas akan muncul pada semen apabila bahan dasar yang digunakan untuk memproduksi semen lebih banyak mengandung kadar kapur dari yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan oksida-oksida. Kapur yang terhidrasi (Ca(OH)_2) akan mengakibatkan volume yang lebih besar dari kapur bebas yang dapat menyebabkan pengembangan volume pada saat pengikatan. Hal ini kemudian mengakibatkan keretakan dan kerusakan pasta semen pada beton sehingga menimbulkan perlemahan daya lekat pada unsur-unsur pengisi beton.

- *Magnesium oxide* (MgO)

Hidrasi MgO menyebabkan pengembangan volume dan perlemahan pengikatan pasta semen.

- *Alkali oxide* (Na_2O dan K_2O)

Beberapa jenis agregat yang mengandung unsur-unsur reaktif dari silika, bila bereaksi dengan oksida alkali bisa menghasilkan suatu unsur *alkali-silica-gel* yang ekspansif yang dapat menimbulkan keretakan pada pasta semen dan beton.

- *Phosphorus pentoxide* (P_2O_5)

Umumnya kandungan P_2O_5 tidak melebihi 0,2%. Kehadirannya dapat memperlambat pengerasan semen. Semen

dengan jumlah P_2O_5 yang besar dapat menimbulkan perlemahan karena menyebabkan terbentuknya kapur bebas.

2.3.1.3 Hidrasi Semen Portland

Untuk beberapa lama sifat pasta semen masih belum berubah, sering disebut sebagai tahap tidur atau *dormant periode*. Selanjutnya pasta mulai mengeras ke suatu tingkatan, yang walaupun masih lembut tapi sudah tidak bisa mengalir lagi. Tahap ini disebut tahap ikatan awal atau *initial setting time*. Pasta semen berlanjut mengeras sampai tercapai pasta solid yang kaku. Tahap ini dikenal sebagai tahap ikatan akhir atau *final setting time*. Kondisi solid yang kaku ini dikenal sebagai pasta semen yang sudah mengeras. Pasta semen yang sudah mengeras akan terus mengalami pengerasan dan mencapai kekuatan “dewasa”, yang prosesnya disebut proses pengerasan atau *hardening*. Ikatan awal, ikatan akhir, dan waktu pengikatan merupakan karakteristik yang sangat penting. Ikatan awal menunjukkan lamanya campuran semen dapat tetap plastis dan mudah dikerjakan (*workable*).

2.3.1.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Panas Hidrasi Semen Portland

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan panas hidrasi semen portland yaitu :

1. Rasio Air-Semen

Pada usia muda, rasio air-semen sangat mempengaruhi kecepatan hidrasi semen. Semakin rendah rasio air-semen, semakin cepat terjadi hidrasi, namun semakin awal kecepatan hidrasi akan mulai berkurang. Rasio air-semen yang rendah menghasilkan produk hidrasi yang lebih padat dan kekuatan yang lebih tinggi.

2. Komposisi Semen

Hidrasi C_3S dan C_2S akan menghasilkan produk hidrasi yang sama, tetapi C_2S akan bereaksi dengan air secara lebih lambat dan proses hidrasinya akan berlanjut hingga berminggu-minggu dan berbulan-bulan.

3. Kehalusan Semen

Kecepatan hidrasi semen akan meningkat seiring dengan meningkatnya kehalusan semen terutama pada usia awal. Pengaruh kehalusan semen biasanya digunakan pada produksi semen yang mempunyai perilaku cepat mengeras atau berkekuatan awal tinggi.

4. Temperatur

Kecepatan hidrasi bergantung pada temperatur terutama pada usia muda. Pencapaian tingkat hidrasi penuh tampaknya tidak dipengaruhi oleh temperatur perawatan beton (*curing*).

5. Zat Additif

Additif yang terdiri dari bahan gula dan asam *lingnosolponic* beserta garam-garamnya atau biasa disebut *retarder* dapat memperlambat kecepatan hidrasi. Sedangkan garam $CaCl_2$ atau biasa disebut *accelerator* dapat mempercepat kecepatan hidrasi.

2.3.1.5 Tipe-tipe Semen Portland

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan mengubah presentasi komposisi empat unsur mayor di dalam semen dapat menghasilkan jenis semen yang berbeda sesuai dengan penggunaannya. Di Indonesia, terdapat lima jenis semen yang berbeda-beda sifat dan tujuan pemakaiannya, yaitu :

1. Semen Tipe I (*Ordinary Portland Cement*)

Semen ini digunakan untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus dengan C_3S 48% - 52% dan C_3A 10% - 15%. Semen ini biasa digunakan untuk bangunan gedung,

jembatan, dan bangunan lain yang tidak dipengaruhi oleh panas hidrasi dan sulfat dari lingkungan sekitar.

2. Semen Tipe II (*Moderate Portland Cement*)

Semen ini digunakan pada bangunan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Kandungan C_3S sedang dan C_3A maksimum 8%. Semen ini biasa digunakan untuk bangunan dam, piers, dan pengecoran dalam volume yang besar di mana panas hidrasi yang rendah sangat diharapkan.

3. Semen Tipe III (*Rapid Hardening Portland Cement*)

Semen ini digunakan untuk bangunan yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi. Panas hidrasi yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan semen tipe I karena memiliki kandungan C_3A yang lebih tinggi. Semen ini biasa digunakan untuk bangunan yang harus diselesaikan dengan waktu yang cepat.

4. Semen Tipe IV (*Low Heat Portland Cement*)

Semen ini memiliki panas hidrasi yang rendah karena kandungan C_3S dan C_3A yang rendah.

5. Semen Tipe V (*Sulphate Resisting Portland Cement*)

Semen ini digunakan untuk bangunan dengan ketahanan terhadap sulfat yang tinggi dengan kandungan C_3A maksimum 5%.

2.3.2 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam membentuk beton. Hal ini dikarenakan agregat menempati sekitar 60% sampai 80% dari volume beton. Agregat juga merupakan komponen penyumbang kekuatan terbesar pada beton. Oleh karena itu, pemilihan jenis agregat yang digunakan dalam campuran beton akan sangat mempengaruhi properti dan kekuatan beton. Secara umum, agregat dibagi menjadi dua jenis yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat ini harus

memiliki gradasi yang baik sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat di mana agregat halus berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat kasar.

2.3.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar pada umumnya memiliki ukuran lebih dari 6 mm (1/4 in). Agregat kasar di dalam campuran beton merupakan salah satu sumber kekuatan utama beton. Mutu agregat kasar harus lebih tinggi dari mutu beton yang akan dibuat agar dihasilkan beton dengan mutu yang diinginkan. Selain itu, kualitas agregat kasar seperti ukuran maksimum serta gradasi, kebersihan, kekerasan, kemulusan, bentuk butir, dan bentuk permukaan agregat juga harus diperhatikan guna mendapatkan beton yang berkualitas baik. Berikut penjelasan mengenai pemilihan agregat kasar :

1. Ukuran maksimum dan gradasi agregat

Pada umumnya akan lebih ekonomis bila dalam beton digunakan ukuran maksimum agregat sebesar mungkin karena pemakaian semen dapat dikurangi dan panas hidrasi akan berkurang. Namun ukuran maksimum agregat dibatasi oleh berbagai aspek lain, yaitu :

- Ukuran bagian konstruksi tidak boleh kurang dari 4 kali ukuran agregat maksimum
- Lapisan penutup beton harus lebih tebal dari 3/2 kali ukuran maksimum agregat
- Ukuran agregat tidak boleh lebih besar dari 1/5 jarak terkecil antara bidang- bidang samping dari acuan
- Ukuran agregat tidak boleh lebih besar dari 3/4 kali jarak bersih minimum di antara jaring tulangan
- Ukuran agregat tidak boleh lebih besar dari 1/3 kali tebal pelat

2. Kebersihan agregat

Agregat harus bebas dari kotoran-kotoran karena dapat menyulitkan pembuatan serta pengecoran beton, menghasilkan beton yang tidak awet atau beton yang permukaannya jelek, dan mengurangi kekuatan beton.

3. Kekerasan agregat

Agregat harus dapat menahan pengausan, pecah, degradasi (penurunan mutu), serta disintegrasi (penguraian) karena pada waktu pembuatan beton agregat harus mengalami benturan dan gesekan yang keras di dalam *mixer* serta menerima gesekan pada saat pengecoran dan pemadatan.

4. Kemulusan agregat

Suatu agregat dianggap mulus secara fisik apabila tidak mengalami perubahan volume besar akibat pemanasan, pendinginan, atau pembasahan. Batuan atau partikel-partikel dari batuan yang secara fisik bersifat lunak, daya adsorpsinya besar, mudah dibelah dan menyusut akibat pengaruh air. Kemulusan fisik suatu agregat juga dipengaruhi oleh derajat porositasnya. Ruang-ruang pori akan mengurangi volume bahan padat, mudah memasukkan air serta larutan-larutan agresif yang kemudian menahannya di dalam beton.

5. Bentuk butiran agregat

Agregat bersudut (kubikal) membutuhkan lebih banyak mortar daripada agregat berbutir bulat. Tetapi agregat bersudut dapat memberikan ikatan dengan pasta semen yang lebih baik. Namun demikian, agregat yang mengandung banyak butiran-butiran panjang atau pipih tidak dianjurkan untuk digunakan di dalam campuran beton. Dalam suatu seri percobaan dengan menggunakan butiran agregat yang bulat dan bersudut dengan keduanya bergradasi seragam, yang kemudian dipadatkan dengan cara yang sama (Aman Subakti, 1995), dibuktikan bahwa pada percobaan dengan menggunakan agregat kasar berbentuk bulat, jumlah rongga udara adalah sekitar 34 %,

sedangkan untuk agregat kasar bersudut, jumlah rongga udara adalah sekitar 41%.

6. Bentuk permukaan agregat

Bentuk permukaan agregat yang kasar menghasilkan beton dengan ketahanan gelincir (*slip resistance*) yang besar, namun membutuhkan air yang lebih banyak.

Beberapa jenis agregat yang biasa digunakan di dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

1. Batu pecah alami

Batu pecah alami diperoleh dengan memecah batu yang didapat dari cadas atau batuan alami yang digali. Batu ini dapat berasal dari jenis batuan sedimen atau metamorf. Butir-butirnya berbentuk tajam, sehingga dapat memberikan kekuatan yang besar pada beton. Namun, di sisi lain batu pecah kurang memberikan kemudahan di dalam pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat lainnya.

2. Kerikil alami

Kerikil alami merupakan agregat kasar yang diperoleh dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil alami memberikan kekuatan yang lebih rendah daripada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.

3. Agregat kasar buatan

Agregat ini dapat diperoleh dari tanah liat, lempung bekah, ampas atau serpihan hasil dari proses pembakaran.

2.3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus di dalam campuran beton berfungsi sebagai pengisi celah yang terbentuk di antara agregat kasar. Agregat halus memiliki ukuran yang beragam. Berdasarkan SNI 03-6820-2002 (2002 : 1717), agregat halus adalah agregat berupa pasir alami sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan

oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran sebesar 4,76 mm. Pasir menurut sumber asalnya dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Pasir galian

Pasir galian diperoleh dari galian permukaan. Pasir ini biasanya berbentuk tajam, bersudut, berpori, dan bebas dari kandungan garam. Tetapi pasir ini harus dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran-kotoran dengan cara dicuci.

2. Pasir sungai

Pasir sungai berasal dari dasar sungai yang biasanya berbutir halus dan bulat akibat proses gesekan. Daya lekat antar butir-butir pasir sungai kurang baik karena bentuk butirannya bulat.

3. Pasir laut

Pasir laut berasal dari tepi laut. Butirannya halus dan berbentuk bulat karena proses gesekan. Pasir ini kurang baik kualitasnya karena banyak mengandung garam. Garam-garam ini menyerap kandungan air dari udara sehingga mengakibatkan pasir selalu basah dan mengembang bila sudah menjadi bangunan. Oleh karena itu, pasir ini tidak direkomendasikan untuk digunakan sebagai campuran beton.

2.3.3 Air

Air di dalam campuran beton diperlukan untuk bereaksi secara kimia dengan semen sehingga membentuk suatu pasta semen. Selain itu, air juga berfungsi untuk membasahi dan melumasi campuran beton agar mudah dalam pengerjaannya. Air yang digunakan dalam campuran beton umumnya berkisar antara 150 kg/m^3 hingga 200 kg/m^3 .

Pasta semen merupakan bagian unsur dari kekuatan beton, sehingga jumlah dan kualitas air dalam campuran beton harus diperhatikan untuk menghindari penurunan kekuatan beton. Jumlah air berlebih yang tidak berhidrasi dengan semen dalam campuran beton mengakibatkan naiknya air bersama-sama dengan semen ke permukaan adukan beton

(*bleeding*) dan kemudian membentuk suatu lapisan tipis atau buih yang akan menutupi permukaan beton sehingga mengurangi lekatan antara lapisan beton yang merupakan permukaan yang lemah. Sedangkan kekurangan air di dalam campuran beton menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai.

Kualitas air di dalam campuran beton juga harus diperhatikan. Air yang digunakan sebaiknya tidak mengandung senyawa berbahaya yang dapat menurunkan kekuatan beton, mengubah sifat semen, dan mengurangi afinitas atau daya tarik menarik antara agregat dan pasta semen. Oleh karena itu, air sebaiknya diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk campuran beton dengan mengacu pada beberapa parameter penentu kualitas air. Batas toleransi untuk beberapa senyawa atau kotoran yang terlarut dalam air dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.3 Batas Toleransi Kotoran atau Senyawa Dalam Pencampuran Air

Impurity	Maximum Concentration (ppm)	Remarks
Suspended matter (turbidity)	2000	Silt, clay, organic matter
Algae	500–1000	Entrains air
Carbonates	1000	Decreases setting times
Bicarbonates	400–1000	400 ppm for bicarbonates of Ca or Mg
Sodium sulfate	10,000	May increase early strength but reduce later strength
Magnesium sulfate	40,000	
Sodium chloride	20,000	Decreases setting times, increases early strength,
Calcium chloride	50,000	reduces ultimate strength, and may lead to corrosion
Magnesium chloride	40,000	of reinforcing steel
Sugar	500	Affects setting behavior

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

2.3.4 Bahan Tambah (Admixtures)

Bahan tambah (*admixtures*) merupakan bahan tambah selain semen, agregat, dan air yang ditambahkan ke dalam campuran beton. Bahan ini berfungsi untuk mengubah sifat-sifat beton segar maupun yang sudah mengeras agar kekuatan dan kinerjanya sesuai dengan yang diinginkan. *Admixture* dibedakan atas dua jenis, yaitu bahan tambah yang bersifat kimia (*chemical admixtures*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*mineral admixtures*) atau biasa disebut *additive*.

Chemical admixtures merupakan bahan tambah yang dihasilkan melalui proses kimia yang berfungsi untuk mengubah sifat fisik dan kimia pasta semen maupun beton keras. *Chemical admixture* biasanya berbentuk cairan, namun ada juga berbentuk serbuk. Berdasarkan ASTM C 494, *chemical admixtures* dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

- a. *Water Reducer* (WR), berfungsi untuk mengurangi kebutuhan air dalam campuran beton pada *slump* dan kadar semen yang telah ditentukan, serta meningkatkan workabilitas tanpa menambah kebutuhan air.
- b. *Retarder*, berfungsi untuk memperlambat waktu *setting* beton.
- c. *Accelerator*, berfungsi untuk mempercepat waktu *setting* beton.
- d. *Water Reducer – Retarder* (WR – R), berfungsi untuk mengurangi kebutuhan air dalam campuran beton dan memperlambat waktu *setting* beton.
- e. *Water Reducer – Accelerator*, berfungsi untuk mengurangi kebutuhan air dalam campuran beton dan mempercepat waktu *setting* beton.
- f. *High Range Water Reducer* (HRWR), berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam jumlah yang besar dalam campuran beton, atau biasa disebut *superplasticizer*.
- g. *High Range Water Reducer – Retarder* (HRWR – R), memiliki fungsi yang sama dengan HRWR, ditambah dengan memperlambat waktu *setting* beton.

Sedangkan *mineral admixtures* merupakan bahan tambah yang dihasilkan dari endapan batuan alami atau diperoleh dari proses pembakaran berbagai jenis semen. *Mineral admixtures* juga biasa disebut *additive*. *Additive* biasanya berbentuk serbuk sangat halus dan bersifat *cementitious*, yaitu memiliki sifat seperti semen jika bereaksi dengan air. Beberapa *additive* yang digunakan di dalam campuran semen antara lain :

a. *Silicafume*

Silicafume merupakan material yang dihasilkan dari penggunaan alat elektrik pemurnian kwasa dan bijih batu besi yang dibakar. *Silicafume* tidak hanya berperan meningkatkan kekuatan beton, tetapi juga

meningkatkan berbagai kinerja beton seperti memperbaiki *workability* beton, menghasilkan beton dengan kekuatan awal yang tinggi, meningkatkan kededapan air dan udara, penetrasi klorida yang rendah, menghasilkan beton dengan susut dan rangkak yang rendah, serta keawetan jangka panjang.

b. *Metal Slag* (Terak Metal)

Metal slag (terak metal) adalah limbah dari tungku pembakaran bersuhu tinggi pada industri metal atau pabrik pemurnian metal. Pengurangan penggunaan semen yang digantikan dengan *metal slag* dalam jumlah besar hingga 65% dapat mengurangi panas hidrasi, susut dan rangkak, serta memperbaiki kinerja beton.

c. *Fly Ash*

Fly ash atau abu terbang merupakan produk limbah dari proses pembakaran batu bara. Penggunaan abu terbang dapat mengurangi panas hidrasi dan susut beton, serta meningkatkan ketahanan terhadap korosi sulfat. Pembahasan lebih lanjut mengenai *fly ash* dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

2.4 Susut (Shrinkage)

Susut merupakan perubahan volume beton yang tidak dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada struktur beton. Saat proses hidrasi berlangsung, beton melepaskan panas dan air yang terkandung di dalamnya. Hal ini dapat diamati dengan naiknya suhu beton saat proses hidrasi berlangsung.

2.4.1 Perilaku Umum Susut

Pada umumnya, susut dibagi atas dua jenis, yaitu susut plastis dan susut pengeringan

a. Susut Plastis

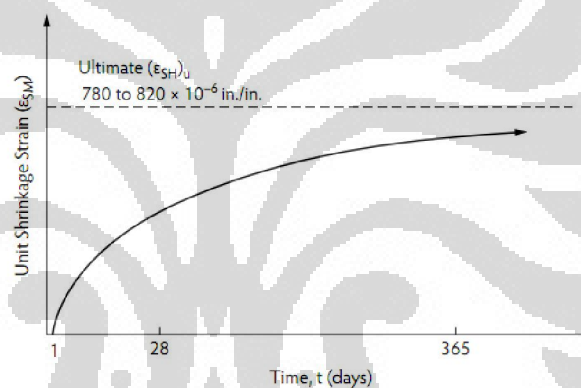
Susut plastis terjadi beberapa jam setelah beton segar dihamparkan. Permukaan yang diekspos seperti pelat lantai akan lebih mudah dipengaruhi oleh udara kering karena adanya bidang kontak yang luas. Hal ini menyebabkan terjadinya penguapan yang lebih besar pada

permukaan beton daripada lapisan bawah permukaan beton. Oleh karena itu, harus dilakukan pencegahan penguapan setelah pencetakan beton segar untuk mengurangi susut.

b. Susut Pengerinan (*Drying Shrinkage*)

Susut pengerinan terjadi setelah beton mencapai bentuk akhir dan proses hidrasi pasta semen telah selesai.

Susut merupakan proses yang tidak *reversible*. Jika beton yang telah mengalami susut dijenuhkan dalam air, volume beton tidak akan mengembang kembali seperti volume semula. Susut yang tidak dikendalikan dengan baik, dalam jangka panjang akan mengakibatkan retak. Hubungan susut beton terhadap waktu dapat dilihat pada grafik di bawah ini



Gambar 2.5 Kurva Hubungan Regangan Susut terhadap Waktu

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

Pada grafik di atas dapat diketahui bahwa regangan susut bertambah sejalan dengan waktu. Laju perubahan volumenya berkurang terhadap waktu. Hal ini dikarenakan beton yang semakin berumur akan semakin tahan terhadap tegangan dan kondisi lingkungan sehingga susut yang terjadi semakin kecil. Dengan demikian kurva susut asimtotis terhadap waktu.

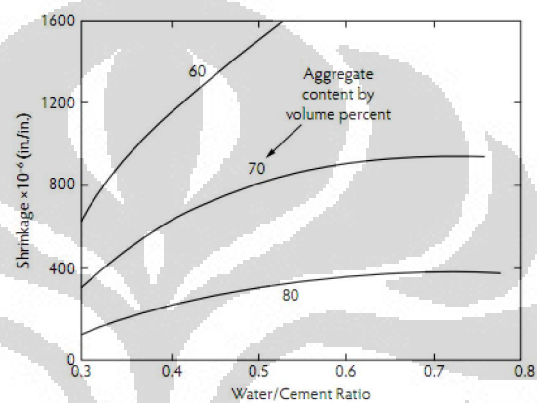
2.4.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Susut

Faktor utama yang mempengaruhi susut beton adalah kandungan air di dalam adukan beton. Selain itu agregat, ukuran elemen beton, jenis

semen yang digunakan, banyak tulangan yang digunakan, penggunaan *chemical admixture*, *carbonation*, dan kondisi lingkungan juga mempengaruhi besarnya susut yang terjadi. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya susut dapat dijabarkan sebagai berikut :

a. Faktor air semen (FAS)

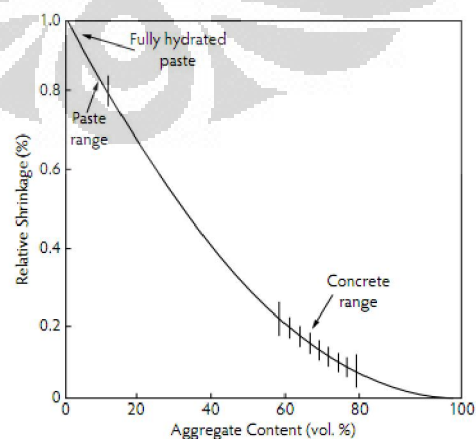
Jumlah air memiliki pengaruh yang besar terhadap susut pengeringan pada pasta semen dan beton. Faktor air semen yang tinggi akan menghasilkan beton dengan susut yang besar.



Gambar 2.6 Grafik Hubungan Faktor Air Semen terhadap Susut Beton
(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G. Nawy)

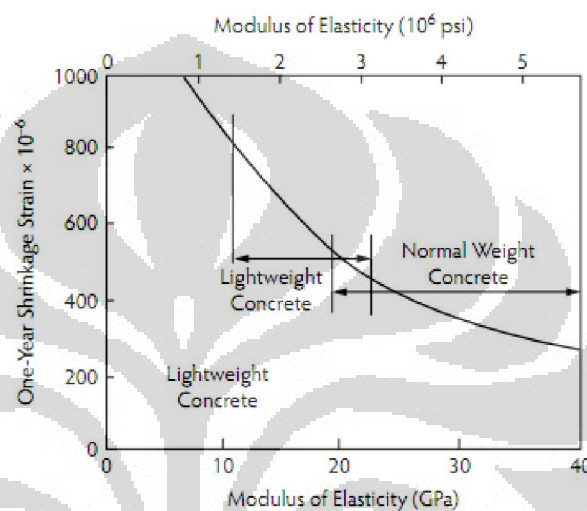
b. Agregat

Agregat berfungsi sebagai penahan susut pasta semen. Dengan demikian, beton dengan kadar agregat yang tinggi akan mengurangi perubahan volume beton akibat susut.



Gambar 2.7 Grafik Hubungan Kadar Agregat terhadap Susut Beton
(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G. Nawy)

Selain kadarnya, pengaruh ketahanan agregat di dalam beton juga dipengaruhi oleh sifat dan jenisnya, yang ditentukan oleh modulus elastisitas agregat dan kekasaran agregat. Agregat dengan modulus elastisitas yang tinggi dan permukaan yang kasar akan menghasilkan beton yang lebih tahan terhadap susut.



Gambar 2.8 Grafik Hubungan Modulus Elastisitas Agregat terhadap Susut Beton
(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G. Nawy)

Ukuran dan bentuk agregat juga berpengaruh terhadap susut pada beton keras. Total panjang dan kedalaman retak mikro yang disebabkan oleh susut beton akan meningkat seiring dengan besarnya ukuran agregat.

c. Ukuran elemen beton

Kelajuan dan total susut pada beton dengan volume yang besar akan lebih kecil dibandingkan pada beton dengan volume yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan waktu yang diperlukan untuk mengeringkan beton bervolume besar lebih lama.

d. Jenis semen yang digunakan

Panas hidrasi yang ditimbulkan oleh semen berbeda-beda sesuai dengan tipenya. Semen yang menghasilkan panas hidrasi yang lebih tinggi mengakibatkan susut yang lebih besar.

- e. Banyak tulangan yang digunakan
Beton dengan tulangan akan menyusut lebih sedikit dibandingkan dengan beton tanpa tulangan.
- f. Penggunaan *chemical admixture*
Pengaruh yang ditimbulkan oleh *admixture* berbeda-beda sesuai dengan jenisnya. *Accelerator* seperti *calcium chloride* yang digunakan untuk mempercepat pengerasan dan waktu *setting* beton mengakibatkan susut yang terjadi besar. Pozzolan juga dapat meningkatkan susut, sedangkan *air-entraining* memiliki pengaruh yang kecil terhadap susut.
- g. Karbonasi
Susut karbonasi disebabkan oleh reaksi antara karbondioksida (CO₂) yang ada di udara dan yang ada di dalam pasta semen. Besarnya susut karbonasi bervariasi, tergantung pada urutan kejadian proses susut karbonasi dan susut pengeringan. Jika kedua proses ini terjadi bersamaan, maka susut yang terjadi lebih kecil.
- h. Kondisi lingkungan
Kondisi lingkungan yang juga mempengaruhi besarnya susut adalah suhu dan kelembaban. Kelembaban relatif dan suhu di sekitar beton sangat mempengaruhi besarnya susut. Laju perubahan susut akan semakin kecil pada lingkungan dengan kelembaban relatif yang tinggi. Sementara itu, susut akan tertahan pada suhu lingkungan yang rendah.

2.4.3 Perhitungan Regangan Susut

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

2.4.3.1 Perhitungan Regangan Susut Pada Kondisi Standar

Besarnya regangan susut dapat diprediksi dengan menggunakan model matematika seperti persamaan berikut :

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t^\beta}{b+t^\beta} (\epsilon_{SH})_u \quad (2.1)$$

Dengan :

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

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

t = waktu (hari)

b = konstanta

β = konstanta

Nilai regangan ultimit susut pada kondisi standar dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut :

Tabel 2.4 Parameter Pengukuran Susut pada Kondisi Standar

Parameter	Factors	Variable Considered	Standard Conditions
Concrete (creep and shrinkage)	Concrete composition	Cement paste content	Type I and Type III
		Water/cement ratio	2.7 in. (70 mm)
		Mixture proportions	$\leq 6\%$
		Aggregate characteristics	50%
Initial curing	Degree of compaction	Fine aggregate percentage	470 to 752 lb/yd ³ (279 to 446 kg/m ³)
		Cement content	7 days
		Moist-cured	1-3 days
		Steam-cured	73.4 \pm 4°F (23 \pm 2°C)
Member geometry and environment (creep and shrinkage)	Environment	Moist-cured	$\leq 212^\circ\text{F}$ ($\leq 100^\circ\text{C}$)
		Steam-cured	≥ 95
		Concrete temperature	73.4 \pm 4°F (23 \pm 2°C)
		Concrete water content	40%
Loading (only creep)	Geometry	Ambient relative humidity	V/S = 1.5 in. (38 mm)
		Volume/surface ratio (V/S)	6 in. (150 mm)
		Minimum thickness	7 days
		Moist-cured	1-3 days
Stress conditions	Loading history	Steam-cured	Sustained load
		Duration	—
		Duration of unloading period	—
		Number of unloading cycles	—
Stress/strength ratio	Type of stress and distribution across the section	Compressive stress	Axial compression
		Stress/strength ratio	≤ 0.50

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

Nilai regangan ultimit susut pada kondisi standar besarnya berkisar antara :

$$(\epsilon_{SH})_u = 415 \times 10^{-6} \text{ sampai dengan } 1070 \times 10^{-6} \text{ (mm/mm)}$$

Sedangkan rata-rata nilai regangan ultimate susut yang direkomendasikan oleh ACI Committee 209 (1992) adalah :

- Untuk perawatan yang direndam selama 7 hari

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

- 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 :

- b = 35, untuk perawatan yang direndam (*moist-cured*) selama 7 hari
- b = 55, untuk perawatan yang dialiri (*steam-cured*) selama 1 – 3 hari

sehingga prediksi regangan susut menjadi

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{SH})_u \quad (2.2)$$

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

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{SH})_u \quad (2.3)$$

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

2.4.3.2 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 (γ_{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 γ_{SH} .

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{SH})_u \gamma_{SH} \quad (2.2)$$

dan

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{SH})_u \gamma_{SH} \quad (2.3)$$

Faktor koreksi γ_{SH} memiliki komponen yang menunjukkan kondisi yang berbeda, yaitu

$$\gamma_{SH} = K_H^S K_d^S K_s^S K_F^S K_B^S K_{AC}^S \quad (2.4)$$

di mana :

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

K_H^S = faktor kelembaban relatif

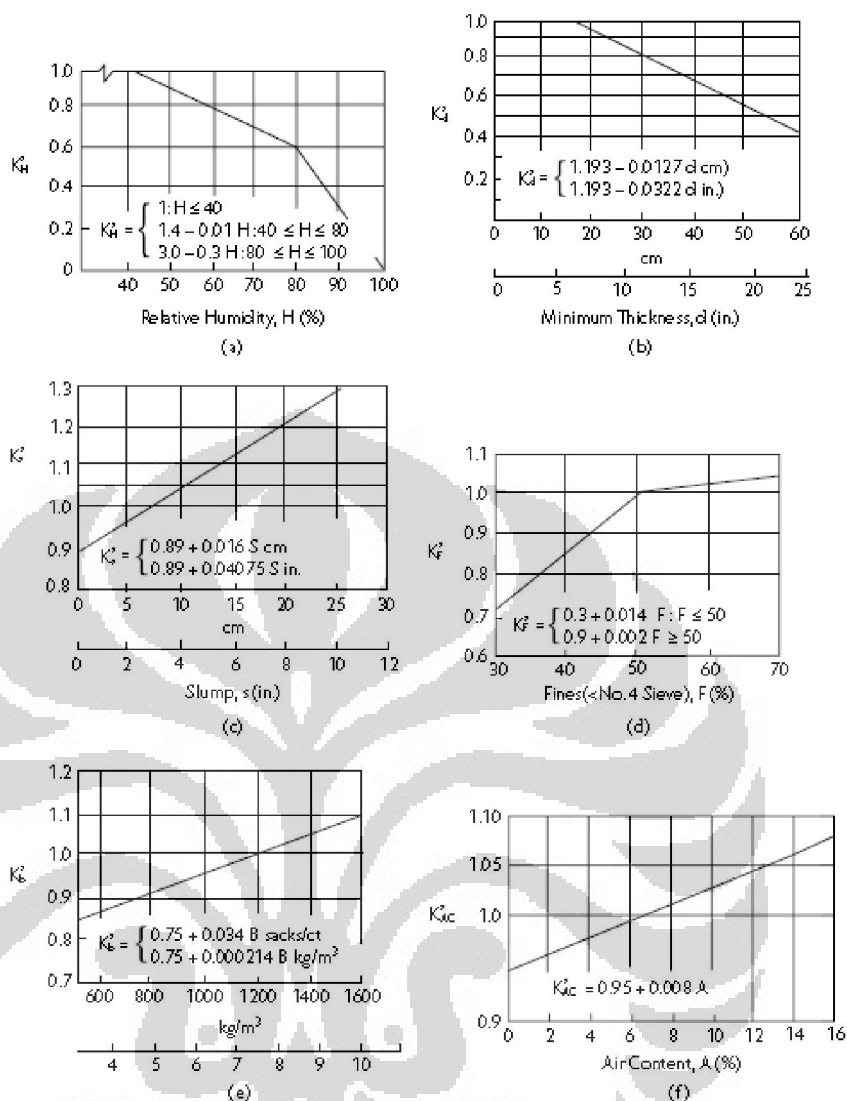
K_d^S = faktor tebal minimum penampang

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 2.9 Faktor Koreksi untuk Susut pada Kondisi Non-Standar
(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G. Nawy)

2.5 Fly Ash

2.5.1 Definisi Fly Ash

Fly ash atau abu terbang merupakan debu limbah hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Berdasarkan SNI 03-2460-1991, *fly ash* adalah abu terbang yang memiliki sifat pozolan yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis antrasi pada suhu 1560 °C. Pozolanik merupakan sifat dari suatu material alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan atau aluminat yang reaktif, dalam keadaan tersendiri tidak mempunyai sifat-sifat seperti

semen, tetapi jika berupa bahan halus dan dicampur dengan kapur padam dan air setelah beberapa waktu dapat mengeras pada suhu kamar dan membentuk suatu massa yang padat dan sukar melarut dalam air.

Fly ash umumnya lebih halus dari semen dan terdiri dari kaca-kaca berbentuk bola partikel serta residu hematit dan magnetit, char dan beberapa fase kristal yang terbentuk selama pendinginan. Penggunaan *fly ash* pada beton di antaranya berguna untuk meningkatkan kemudahan pengerjaannya, mengurangi segregasi dan *bleeding*, mengurangi panas hidrasi, menghambat reaksi alkali agregat, dan meningkatkan ketahanan beton terhadap sulfat.

2.5.2 Komposisi Fisika dan Kimia Penyusun *Fly Ash*

Fly ash merupakan material tambahan yang baik digunakan sebagai bahan pengikat pada beton karena bahan penyusun utamanya adalah silika (SiO_2) sebanyak 25% - 60%, alumina (Al_2O_3) sebanyak 10% - 30%, dan oksida besi (Fe_2O_3) sebanyak 5% - 25%. Selain itu, *fly ash* juga mengandung kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), alkali oksida (Na_2O), dan sulfur trioksida (SO_3). Karakteristik *fly ash* dapat diketahui berdasarkan propertis dan komposisinya secara fisik dan kimia.

Di dalam ASTM C618 – 96 dan SNI 03-6863-2002 (2002:146), spesifikasi *fly ash* sebagai material mineral tambahan (*mineral admixture*) untuk campuran beton dibedakan atas tiga jenis *fly ash*, yaitu :

- a. *Fly ash* jenis C, yaitu *fly ash* hasil pembakaran lignite atau batu bara dengan kadar karbon sekitar 60%. *Fly ash* jenis ini memiliki sifat seperti semen dengan kadar kapur (CaO) di atas 10%., kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 50%, dan kadar Na_2O mencapai 10%. Beton jenis ini umumnya digunakan sebanyak 15% - 35% dari total berat semen.
- b. *Fly ash* jenis F, yaitu *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis antrasit pada suhu sekitar 1560 °C dan mengandung kadar kapur (CaO) kurang dari 10%., kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari

70%, dan kadar Na_2O kurang dari 5%. Beton jenis ini umumnya digunakan sebanyak 15% - 25% dari total berat semen.

- c. *Fly ash* jenis N, yaitu *fly ash* hasil kalsinasi dari pozolan alam, misalnya tanah diatomite, shale, tuft, dan batu apung.

Berdasarkan ASTM C618 – 96 dan SNI 03-6863-2002 (2002:150), komposisi fisik dan kimia *fly ash* adalah sebagai berikut :

Tabel 2.5 Komposisi Fisik dan Kimia *Fly Ash*

Komposisi	Senyawa	Kadar (%)		
		Jenis C	Jenis F	Jenis N
Komposisi Fisik	Jumlah yang tertahan saringan No. 325 (0,045 mm), maks	34	34	34
	Indeks aktifitas kekuatan : • Semen dengan umur 7 hari, min • Semen dengan umur 28 hari, min	75	75	75
	Kebutuhan air, maks	105	105	105
	Kekekalan bentuk pengembangan/penyusutan dengan autoclave (autoclave expansion/contraction), maks	0,8	0,8	0,8
	Berat jenis (density) • Perbedaan maksimum dari rata-rata • Presentase partikel yang tertahan pada ayakan No. 325, perbedaan maksimum dari rata-rata	5	5	5
Komposisi Kimia	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min	50	70	70
	SO_3 , maks	5	4	5
	Hilang pijar (Loss of Ignition), maks	6	10	6
	Kadar air (Moisture Content), maks	3	3	3
	Alkali (Na_2O), maks	1,5	1,5	1,5

(Sumber : ASTM C618 – 96 dan SNI 03-6863-2002)

2.5.3 Pengaruh *Fly Ash* terhadap Beton

Penggunaan *fly ash* memberi pengaruh yang baik terhadap campuran beton, yaitu dapat meningkatkan kualitas beton. *Fly ash* cukup baik digunakan sebagai bahan pengikat seperti semen, karena bahan penyusun utamanya silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3) dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan oleh semen ketika beraksi dengan air. Penggunaan *fly ash* sebanyak 20 – 30% terhadap berat semen maka jumlah semen akan berkurang secara signifikan dan dapat menambah kuat tekan beton (Clarance: 1966). Pengurangan jumlah semen akan menurunkan biaya material sehingga efisiensi dapat ditingkatkan.

Saat ini, umumnya *fly ash* digunakan pada campuran beton untuk mengurangi penggunaan semen dan meningkatkan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*) beton tanpa penambahan air. Pengurangan kadar semen ini berpengaruh terhadap campuran beton, di antaranya mengurangi panas hidrasi. Pengurangan kadar air pada campuran beton yang juga berarti meningkatkan *workability* beton juga memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap karakteristik beton, yaitu meningkatkan kuat tekan, mengurangi susut, serta meningkatkan daya tahan (*durability*) dan permeabilitas beton. Selain itu, penggunaan *fly ash* juga mengurangi dampak buruk bagi lingkungan karena *fly ash* merupakan produk limbah industri yang dapat dimanfaatkan kembali. Pengaruh penggunaan *fly ash* pada campuran beton secara lebih rinci dapat dijelaskan sebagai berikut :

2.5.3.1 Kemudahan Pengerjaan (*Workability*) Beton

Fly ash memproduksi lebih banyak pasta semen dan memiliki satuan berat yang lebih rendah, sehingga *fly ash* memberikan kontribusi sekitar 30% lebih volume bahan *cementitious* sehingga beton akan dilumasi dan mengalir dengan baik. Partikel *fly ash* yang berbentuk bulat (*spherical*) dan kemampuannya dalam menyebarkan air menyebabkan *fly ash*

memiliki karakteristik yang sama dengan material tambahan pengurang air (*water reducing admixtures*).

2.5.3.2 Panas Hidrasi

Ketika bereaksi dengan air semen mengeluarkan panas hidrasi yang ditandai dengan meningkatnya suhu campuran beton setelah proses pencampuran. Panas yang dihasilkan pada proses hidrasi semen ini sebenarnya tidak mengurangi kekuatan dan durabilitas beton dalam jangka panjang. Namun, di dalam aplikasi di lapangan panas hidrasi yang ditimbulkan menyebabkan kemungkinan terjadinya retak, penurunan kekuatan, dan daya tahan beton. Oleh karena itu, penggunaan semen diminimalisasi untuk menghindari terjadinya panas hidrasi yang berlebihan dan penggunaannya diganti bahan lain yang bersifat seperti semen ketika bereaksi dengan air (*cementitious*). Bahan lain yang bersifat *cementitious* ini salah satunya adalah *fly ash*. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambahan pada beton ini hanya menghasilkan panas sekitar 15% sampai 35% dari panas yang dihasilkan oleh semen.

2.5.3.3 Kuat Tekan

Kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* akan sama bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan *fly ash*. Hal ini terjadi karena penggunaan *fly ash* pada beton mengurangi penggunaan air yang juga berarti mengurangi faktor air semen sekitar 5 – 15% pada campuran. Pengurangan faktor air semen inilah yang menyebabkan kuat tekan beton meningkat.

2.5.3.4 Susut

Seperti penjelasan sebelumnya tentang susut, penurunan faktor air semen pada beton dengan *fly ash* juga menyebabkan susut yang terjadi mengalami penurunan.

2.5.3.5 Daya Tahan (*Durability*) dan Permeabilitas Beton

Daya tahan (*durability*) beton adalah kemampuan untuk mempertahankan kekuatan dan integritas beton dari waktu ke waktu. Penggunaan *fly ash* pada campuran beton membantu menjaga senyawa agresif di permukaan sehingga hal-hal yang dapat merusak beton dapat diminimalisasi. Selain itu, *fly ash* juga lebih tahan terhadap sulfat, asam ringan, dan air laut.

Pengurangan jumlah air dalam campuran beton yang menggunakan *fly ash* juga dapat mengurangi permeabilitas beton. Beton yang dihasilkan menjadi lebih padat, sehingga laju masuknya air, oksigen, dan bahan kimia korosif dapat dikurangi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa *fly ash* dapat meningkatkan daya tahan (*durability*) dan permeabilitas beton.

2.6 Penelitian Mengenai Susut

Penelitian mengenai susut pada beton di antaranya adalah sebagai berikut :

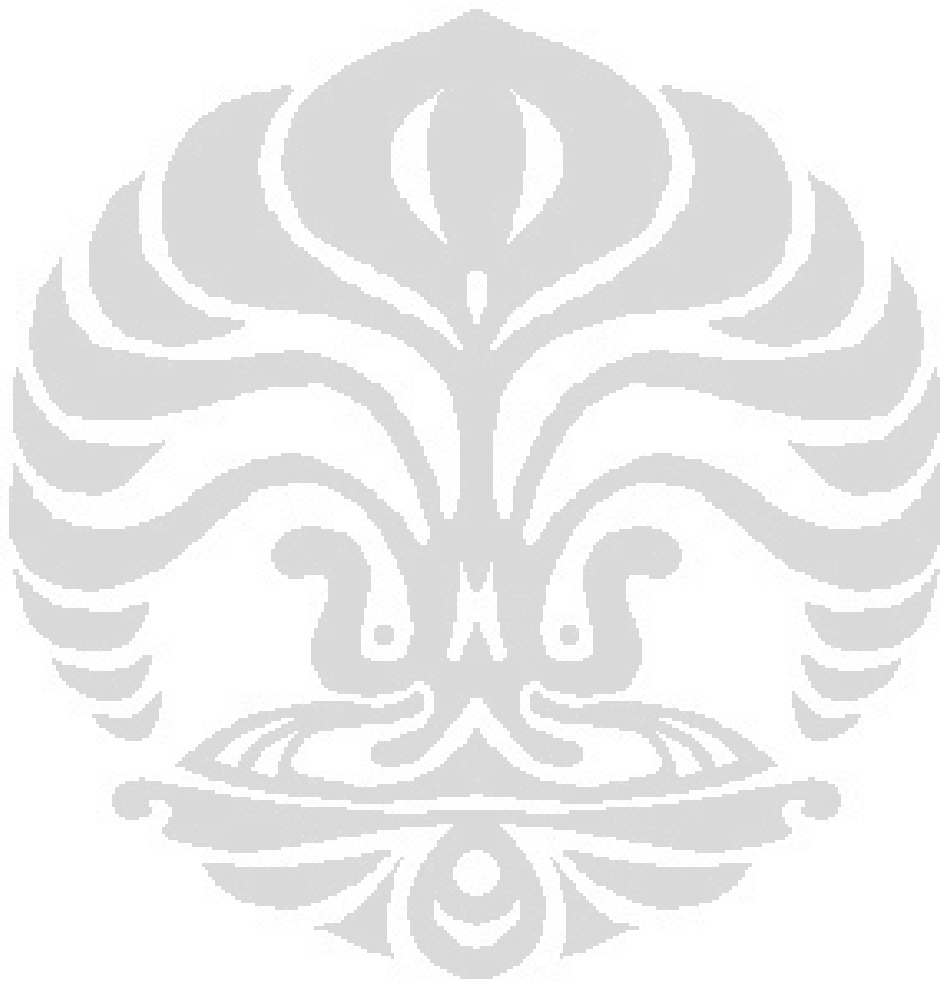
1. Karakteristik susut beton dengan *Portland Composite Cement*, oleh Arif Yuris 2008

Perubahan suhu ruangan dan kelembaban akibat perubahan cuaca, yang terkadang cerah dan dapat berubah hujan mempengaruhi perubahan susut. Penggunaan *fly ash* yang halus dan memiliki bentuk partikel bulat mampu meningkatkan kohesi dan *workability* beton, selain itu juga memperlambat *setting time* dan mengurangi 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.

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

Pada penelitian diketahui bahwa semakin banyak material halus dan pasta semen yang melekat pada beton daur ulang maka susut yang terjadi semakin besar. Selain itu, 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).



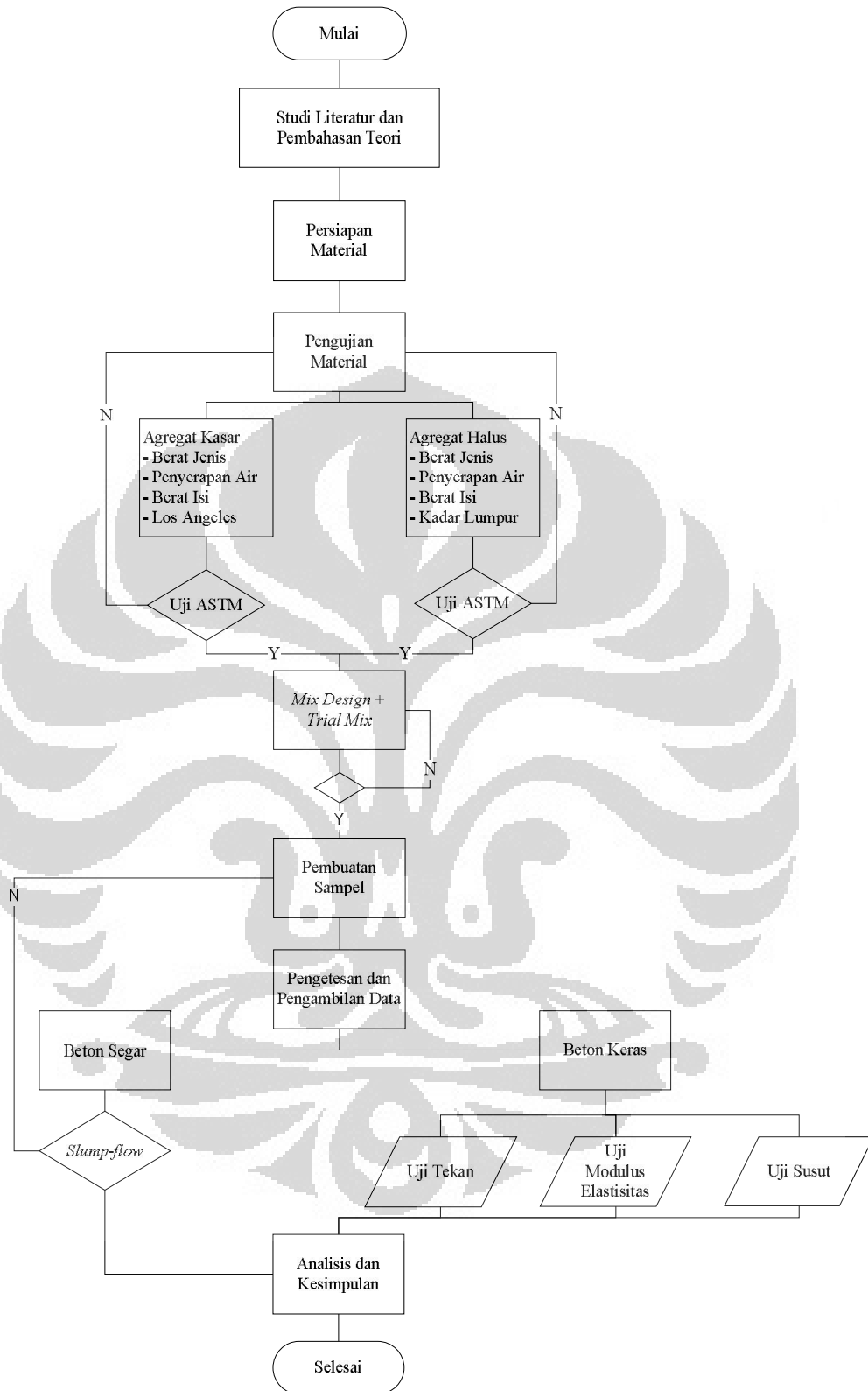
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rencana Penelitian

Metodologi penelitian merupakan gambaran jalannya pelaksanaan penelitian secara terstruktur mulai dari studi literatur hingga mendapatkan hasil penelitian, serta penjelasan mengenai jalannya penelitian dan jadwal kegiatan yang akan dilakukan. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu studi literatur, persiapan pelaksanaan serta pelaksanaan praktikum di laboratorium, pengambilan data praktikum, dan analisis hasil data praktikum. Secara garis besar, proses kegiatan pada penelitian ini melingkupi proses kegiatan sebagai berikut :

1. Menyiapkan material beton seperti semen, agregat, dan air.
2. Memeriksa properties dari material-material yang akan digunakan.
3. Merencanakan komposisi material dalam campuran beton.
4. Membuat benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan balok susut (15 cm × 15 cm × 60 cm).
5. Melakukan proses perawatan (*curing*).
6. Melakukan uji kuat tekan pada benda uji, uji modulus elastisitas pada beton dan pengamatan susut selama kurang lebih 110 hari.
7. Mengolah dan menganalisis data hasil percobaan.
8. Mengambil kesimpulan dari hasil percobaan tersebut



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Penjelasan Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

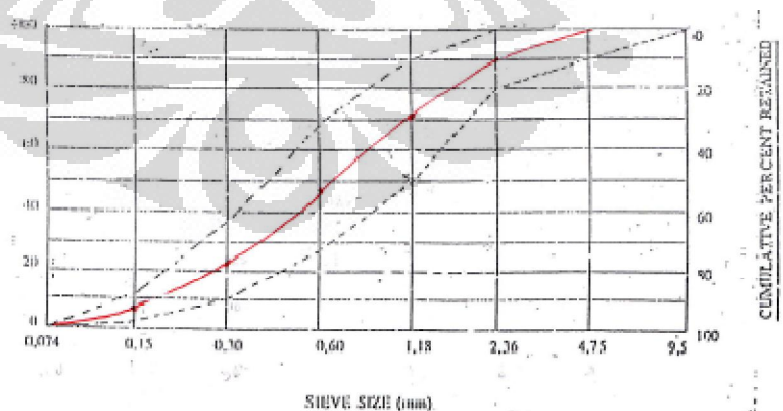
Pada tahapan ini, dilakukan kajian literatur mengenai teori beton mutu tinggi dan kinerja tinggi, bahan penyusun beton, susut beton, metode rancang campur yang digunakan, serta metode pengujian yang dilakukan.

3.2.2 Uji Material

Pengujian material pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat material yang akan digunakan dan memperoleh data-data guna menentukan proporsi material pada campuran beton. Material yang diuji adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Pengujian material dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil FTUI dengan menggunakan standar ASTM.

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar (kerikil) dan halus meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*) dan penyerapan air, serta pengujian berat isi dan rongga udara. Sedangkan pada agregat halus pengujian yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*) dan penyerapan air, dan pengujian berat isi dan rongga udara.

Gradasi pasir yang digunakan pada penelitian ini adalah gradasi yang terletak di tengah-tengah grafik standar gradasi. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan beton mutu tinggi dengan hasil maksimal.



Gambar 3.2 Standard Gradation

3.3 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan di dalam penelitian ini adalah :

1. *Ordinary Portland Cement (OPC)* Tiga Roda produksi PT. Indocement.
2. Agregat halus berupa pasir yang telah disaring dan dibersihkan dengan menggunakan campuran yang didapat dari pertengahan grafik gradasi agregat halus. Agregat halus berasal dari pasir sungai Liat, Sumatera.
3. Agregat kasar berupa pecahan batu gunung di Banten, Jawa Barat, dengan komposisi 70 % ukuran saringan 13-19 dan 30 % ukuran saringan 6-12.
4. Bahan tambah yang digunakan yaitu :
 - *Fly ash* yang berasal dari sisa pembakaran pembangkit tenaga listrik di Suralaya, Jawa Barat.
 - *Sika fume* yang diproduksi oleh PT Sika Indonesia
 - *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.

- a. 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.
- b. Peralatan :
 - Timbangan dengan ketelitian 0,5 gram, kapasitas minimum 5 kg.
 - Panjang besi 8 in dan tinggi 2.5 in
 - Alat penggantung keranjang
 - Oven
 - Handuk
- c. Bahan :

11 liter agregat (SSD) diperoleh dari alat pemisah contoh atau alat perempatan. Bahan benda uji lewat saringan No.4 dibuang.

d. Prosedur :

- Benda uji direndam 24 jam.
- Benda uji digulung dengan handuk, sehingga air permukaannya habis, tetapi harus masih tampak lembab (kondisi SSD). Timbang.
- Benda uji dimasukkan ke keranjang dan direndam kembali dalam air. Temperatur air $73,4 + 30$ F dan ditimbang sebelum container diisi benda uji, digoyang-goyang dalam air untuk melepaskan udara yang terperangkap.
- Benda uji dikeringkan pada temperatur $212 - 2300$ F. Didinginkan dan ditimbang.

e. Perhitungan :

- Berat jenis curah (*Bulk SG*) $= \frac{A}{B-C}$
- Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) $= \frac{B}{B-C}$
- Berat jenis semu (*Apparent SG*) $= \frac{A}{A-C}$
- 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.

a. Tujuan :

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

b. Peralatan :

- Timbangan dengan ketelitian 0.1 % berat contoh

- Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat
 - Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat
 - Mistar perata (*straight edge*)
 - Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang.
- c. 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.
- d. Prosedur :
- 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 ($w_3 = w_2 - w_1$)
 - 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 ($w_3 = w_2 - w_1$)
- Berat isi pada agregat ukuran butir antara 38,1 mm (1½") 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 ($w_3 = w_2 - w_1$).

e. Perhitungan :

$$\text{Berat Isi Agregat} = B = \frac{w_3}{V} \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$$

Keterangan :

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

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

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

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

3.4.2 Pengujian Agregat Halus

3.4.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini berdasarkan standar ASTM C 128 – 09

a. Tujuan :

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

b. Peralatan :

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

c. Bahan :

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

d. Prosedur :

- 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*).
- 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.

- Lima ratus gram agregat halus dalam kondisi SSD dimasukkan kedalam piknometer, kemudian ditambahkan air sampai 90% kapasitas piknometer.
- Gelembung-gelembung udara dihilangkan dengan cara menggoyang-goyangkan piknometer.
- 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.
- Pisahkan benda uji dari piknometer dan dikeringkan pada temperatur $(100 - 110) ^\circ\text{C}$ selama satu hari.
- Tentukan berat piknometer berisi air sesuai kapasitas kalibrasi pada temperatur $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$ dengan ketelitian 0,1 gram.

e. Perhitungan :

- Berat jenis curah (*Bulk SG*) $= \frac{A}{B+500-C}$
- Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) $= \frac{500}{B+500-C}$
- Berat Jenis Semu (*Apparent SG*) $= \frac{A}{B+A-C}$
- 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 dan Rongga Udara dalam Agregat

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

a. Tujuan :

Pemeriksaan ini dimaksud untuk menentukan berat isi agregat halus (pasir). Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi.

b. Peralatan :

- Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh

Universitas Indonesia

- Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat
- Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 mm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat
- Mistar perata (*straight edge*)
- Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang, berkapasitas 2 dm^3

c. Bahan :

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

d. Prosedur :

- Berat isi lepas agregat halus
 - Timbang dan catatlah berat wadah (w_1).
 - Masukan 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 ($w_3 = w_2 - w_1$).
- 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 ($w_3 = w_2 - w_1$).
- 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:
 - Letakan wadah diatas tempat 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 ($w_3 = w_2 - w_1$).
- e. Perhitungan :

$$\text{Berat Isi Agregat} = B = \frac{w_3}{V} \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$$

Keterangan :

V = Isi wadah (dm^3)

A = *Bulk specific gravity* agregat (kg/dm^3)

B = Berat isi agregat (kg/dm^3)

W = Berat isi air (kg/dm^3)

3.5 Rancang Campur (*Mix Design*) Beton Dengan Metode *ACI Modified*

Komposisi campuran bahan-bahan penyusun beton harus dirancang dengan baik untuk mendapatkan beton yang ekonomis serta memiliki *strength*, *workability*, dan *durability* yang diinginkan. *Mix design* yang dilakukan pada penelitian ini berpedoman pada 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
2. Menetapkan komposisi semen, *fly ash*, *silica fume*, dan *viscocrete*.
3. Menentukan nilai $w/(c+p)$.
4. Menentukan komposisi air.
5. Menentukan rongga udara di dalam agregat halus.
6. Menentukan komposisi air tambahan.
7. Menentukan berat agregat kasar.
8. Menentukan berat agregat halus.
9. Menentukan berat total material yang akan digunakan dalam penelitian.

3.5.1 Melakukan Pengujian Material Penyusun Beton

Pengujian untuk mengetahui karakteristik material yang selanjutnya digunakan di dalam perhitungan *mix design*. Prosedur pengujian material secara lebih detail telah dibahas pada sub bab sebelumnya.

3.5.2 Menetapkan Komposisi Semen

Komposisi semen ditentukan terlebih dahulu yaitu sebesar 500 kg/m³. Alasan penggunaan semen sebesar 500 kg/m³ ini adalah untuk mengurangi panas hidrasi yang berlebihan yang dapat memperbesar susut.

3.5.3 Menentukan Nilai $w/(c+p)$

Untuk mendapatkan nilai $w/(c+p)$, dibutuhkan ukuran maksimum agregat dan kuat tekan rencana. Selanjutnya nilai $w/(c+p)$ ditentukan berdasarkan tabel berikut :

Tabel 3.1 Hubungan Kuat Tekan Rencana dengan Ratio $w/(c+p)$ dan Ukuran Agregat Maksimum

Field strength f'_{cr} , psi		$w/(c+p)$			
		Maximum-size coarse aggregate, in.			
		¾	½	¾	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

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

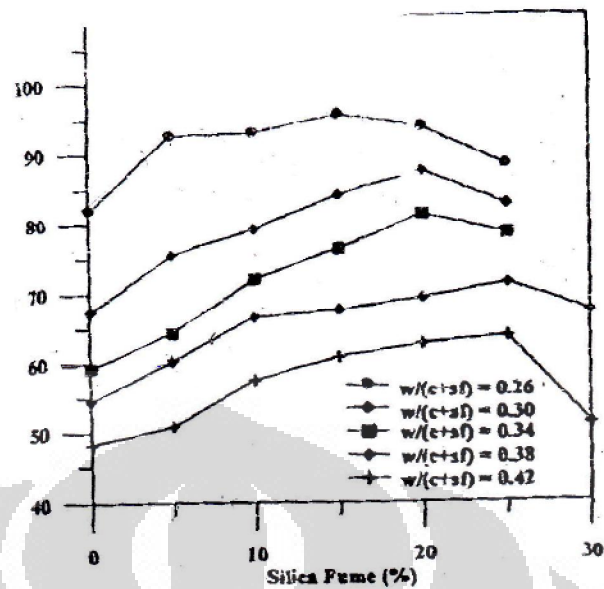
Note: A comparison of the values contained in Tables 4.3.5(a) and 4.3.5(b) permits, in particular, the following conclusions:

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*, American Concrete Institute)

3.5.4 Menentukan Komposisi *Fly Ash*, *Silicafume*, dan *Viscocrete*

Komposisi *silicafume* ditentukan sebesar 5 – 10 % dari berat material *cementitious*. Dalam penelitian ini diambil sebesar 8 %, yaitu berdasarkan grafik berikut :



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Kadar *Silicafume* terhadap Kuat Tekan dan $w/(c+p)$
 (Sumber : *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*, ACI Journal)

Dari grafik di atas, kadar *silicafume* diambil sebesar 8 % pada $w/(c+p)$ sebesar 0,26 agar jika terjadi kesalahan dalam pengecoran di laboratorium yang menyebabkan berkurangnya kadar *silicafume*, kekuatan beton tidak turun secara drastis.

Sedangkan komposisi *fly ash* yang digunakan ditentukan berdasarkan :

Tabel 3.2 Kadar *Fly Ash* sesuai Tipe

Fly ash	Recommended replacement (percent by weight)
Class F	15 to 25
Class C	20 to 35

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

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* tipe F, sehingga diambil kadar *fly ash* sebesar 15 %

3.5.5 Menentukan Komposisi Air

Setelah mendapatkan nilai $w/(c+p)$ dan komposisi semen, *silicafume*, serta *fly ash* yang digunakan, kadar air dalam campuran beton dapat diperoleh.

3.5.6 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 :

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

3.5.7 Menentukan Komposisi Air Tambahan

Jika rongga udara yang diperoleh lebih besar dari 35 %, perlu dilakukan penyesuaian terhadap komposisi campuran air, yaitu komposisi air yang digunakan dalam campuran bertambah, dengan penambahan sebesar :

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

3.5.8 Menentukan Berat Agregat Kasar

Berat agregat kasar ditentukan dengan menggunakan tabel berikut :

Tabel 3.3 Hubungan Ukuran Agregat Maksimum terhadap Volume per Unit Volume Agregat Kasar

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	¾	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*, American Concrete Institute)

Setelah mendapatkan volume agregat kasar per unit volume, berat agregat kasar diperoleh dengan mengalikannya dengan *bulk density* agregat kasar.

3.5.9 Menentukan Berat Agregat Halus

Semua komposisi material penyusun beton telah diperoleh, kecuali agregat halus (pasir). Selanjutnya, berat material yang telah diperoleh diubah menjadi satuan volume, lalu diperoleh volume agregat halus.

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

Setelah itu, volume agregat halus diubah menjadi satuan berat.

3.5.10 Menentukan Berat Total Material yang Akan Digunakan dalam Penelitian

Berat material yang diperoleh pada perhitungan sebelumnya merupakan berat material per m³. Untuk menentukan berat total material yang dibutuhkan pada penelitian ini, berat material disesuaikan dengan volume benda uji sesuai kebutuhan ditambah 20 %.

3.6 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang dibuat pada penelitian ini yaitu benda uji untuk uji tekan, modulus elastisitas, dan susut beton. Secara garis besar, proses pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Menimbang bahan-bahan sesuai dengan hasil perhitungan *mix design* yang direncanakan.
2. Menyiapkan cetakan silinder diameter 15 cm dan tinggi 20 cm (untuk uji tekan dan uji modulus elastisitas), dan cetakan balok multipleks ukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm (untuk uji susut).
3. Mengoleskan bagian dalam cetakan dengan oli secukupnya.
4. Mempersiapkan peralatan, yaitu *mixer*, ember, gelas ukur, sendok semen, dan alat *flow* (cone dengan diameter yang kecil dibawah).

5. Memasukkan bahan-bahan yang bersifat *cementitious* terlebih dahulu ke dalam *mixer*, yaitu semen, sikafume, dan *fly ash*, kemudian diaduk hingga tercampur merata.
6. Memasukkan pasir ke dalam *mixer* hingga tercampur merata.
7. Menambahkan air sedikit demi sedikit sehingga terbentuk mortar, dengan diselingi memasukkan agregat kasar. Air disisakan sebanyak 250 ml untuk dicampur dengan *admixture (Viscocrete10)*.
8. Memasukkan air + *viscocrete10* ke dalam *mixer*.
9. Setelah selesai pengadukan, dilakukan *flowment test* dengan target mencapai diameter 35 ± 2 cm.
10. Setelah beton segar mencapai *flow* yang diinginkan, beton dimasukkan ke dalam bekisting. Karena sifat beton yang dapat memadat sendiri maka tidak perlu dilakukan pemadatan dengan penusukkan pada beton konvensional.
11. Meratakan permukaan adukan dalam bekisting dan memberi tanggal pengecoran, serta uang logam untuk menandakan jadwal pengetesan kuat tekan benda uji.
12. Mendinginkan adukan beton tersebut dalam cetakan selama 24 jam.
13. Melepas cetakan dan melakukan perawatan beton.

3.7 Pengujian Beton Segar

Setelah dilakukan pencampuran material-material penyusun beton, dilakukan *slump flow test* pada campuran tersebut. Diameter *flow* yang digunakan yaitu (35 ± 2) cm. Penggunaan diameter sebesar (35 ± 2) cm dikarenakan beton yang akan dibuat merupakan semi SCC karena tidak murni menggunakan pedoman pembuatan SCC, melainkan melalui modifikasi-modifikasi sesuai dengan kebutuhan. Pengujian dilakukan dengan tahap sebagai berikut :

1. Mempersiapkan peralatan untuk menguji *flow* yaitu *slump cone*.
2. Meletakkan *slump cone* dengan posisi terbalik, yaitu diameter yang lebih besar menghadap ke atas.
3. Memasukkan campuran beton kedalam cone tersebut sampai batas atas, setelah itu mengangkat *slump cone* dengan perlahan.

4. Aliran campuran beton ditunggu sampai berhenti lalu diukur diameternya. Jika tidak memenuhi persyaratan diameter yang ditetapkan (35 ± 2) cm maka dilakukan pembuatan ulang campuran beton.

3.8 Perawatan Benda Uji

Ada dua perlakuan perawatan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Beton silinder ukuran 15 cm dan tinggi 30 cm (untuk pengujian tekan dan modulus elastisitas)

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 ± 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 15 x 15 x 60 cm (untuk pengujian susut)

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 ± 30) °C dengan kelembaban (72 ± 5)%. Hal ini berdasarkan penelitian suhu dan kelembaban di daerah Indonesia oleh Ibu Chatarina Niken.

3.9 Metode Pengujian

3.9.1 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 °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/cm³ per detik.
 - c. Pembebanan dilakukan sampai benda uji menjadi hancur dan beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji dicatat.

3.9.2 Metode Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 469 - 83. Tujuan percobaan ini yaitu untuk menentukan modulus elastisitas beton. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 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 perpendekan $\Delta_1 = 0.00005$, kemudian catat hasil pembacaan dial gage selanjutnya baik arah longitudinal maupun lateral, lanjutkan pembebanan sampai mencapai 40% beban maksimum dan catat perpendekan yang terjadi Δ_2 .

$$\text{Modulus Elastisitas} : \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \text{ kg/cm}^3$$

Di mana :

S_2 = tegangan pada saat 40% beban maksimum

S_1 = tegangan pada saat $\Delta_1 = 0,00005$

ε_2 = regangan pada saat Δ_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.

$$\text{Poisson Ratio } (\nu) : \frac{\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}}{\varepsilon_2 - 0,00005}$$

Di mana :

ν = *Poisson Ratio*

ε_{t2} = regangan akibat tegangan S_2

ε_{t1} = regangan akibat tegangan S_1

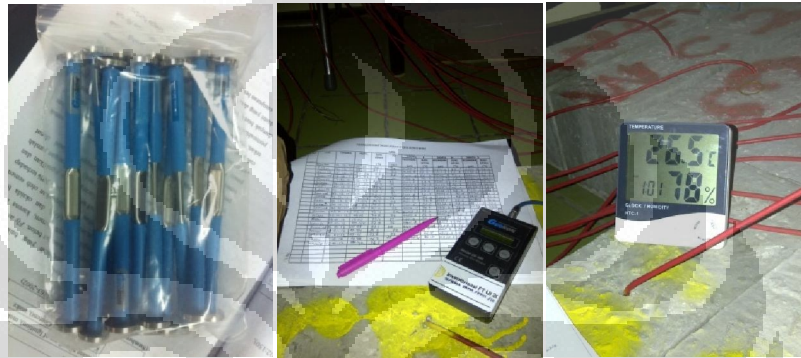
3.9.3 Metode Pengujian Susut Beton

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui perubahan panjang, peningkatan atau pengurangan dalam dimensi linear benda uji. Pada penelitian ini, benda uji susut diukur sepanjang sumbu longitudinal

dengan posisi vertikal, tanpa adanya pembebanan. Pengujian dilakukan selama 111 hari. Benda uji balok beton berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah :

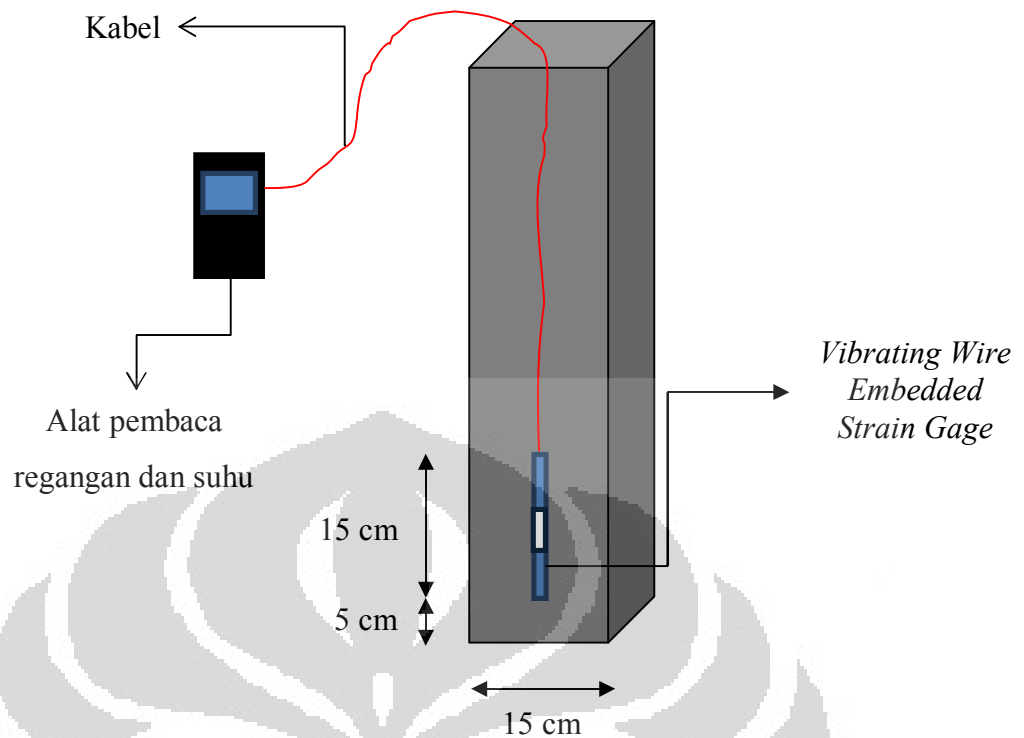
1. *Vibrating Wire Embedded Strain Gage (VWESG)*
2. Alat pembaca regangan dan suhu beton
3. Alat pengukur kelembaban dan suhu ruangan
4. *Beam mold* 15 cm x 15 cm x 60 cm



Gambar 3.4 *Vibrating Wire Embedded Strain Gage (VWESG)*, Alat Pembaca Regangan dan Suhu Beton, dan Alat Pengukur Kelembaban dan Suhu Ruangan

Sedangkan prosedur pengujian susut beton yaitu :

1. Cetakan benda uji balok berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm yang sudah mengalami proses perawatan dan dilapisi plastik disiapkan, diukur dimensinya (juga untuk mengetahui balok tersebut memenuhi persyaratan keseragaman sampel).
2. Tempatkan balok uji pada ruang yang dijaga kelembaban dan suhunya. *Vibrating Wire Embedded Strain Gage (VWESG)* ditanam di dalam benda uji dengan posisi sebagai berikut.



Gambar 3.5 Detail Pemasangan Alat Pengukur *Shrinkage*

3. Setelah dicor, benda uji ditutup dengan menggunakan styrofoam agar tidak ada air yang menguap ke udara.
4. Baca alat pengukur regangan dan suhu beton, dan catat suhu dan kelembaban ruangan.
5. Pembacaan dilakukan setiap hari sampai benda uji berumur 90 hari, dengan rincian sebagai berikut :
 - 1 – 24 jam pertama dilakukan pembacaan setiap 15 menit
 - 24 – 48 jam berikutnya dilakukan pembacaan tiap 60 menit
 - Hari ketiga sampai hari ke-tujuh dilakukan pembacaan tiap 120 menit
 - Hari berikutnya sampai 90 hari dilakukan pembacaan setiap hari

Perhitungan perubahan panjang (susut) : $L = \frac{(L_x - L_i)}{G} \times 100$

Dimana :

L = Perubahan panjang pada umur x (%)

L_x = Pembacaan *comparator* pada benda uji pada umur

Universitas Indonesia

dikurangi pembacaan *comparator* pada *reference bar* pada umur x (mm)

L_i = Pembacaan *comparator* awal dikurangi pembacaan *comparator* pada *reference bar* pada waktu yang sama (mm)

G = Nominal gage length (50 mm)

3.9.4 Rencana Kebutuhan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ dengan $f_c' = 60\text{ Mpa}$ sebanyak 3 buah, dan untuk uji tekan dan modulus elastisitas silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm masing masing 5 buah, dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.4 Jumlah Kebutuhan Sampel

Pengujian	Hari Uji	Jumlah Sampel (buah)
Susut	1 – 90	3
Modulus Elastisitas	28	3
Tekan	3	5
	7	5
	14	5
	28	5
Total Sampel		26

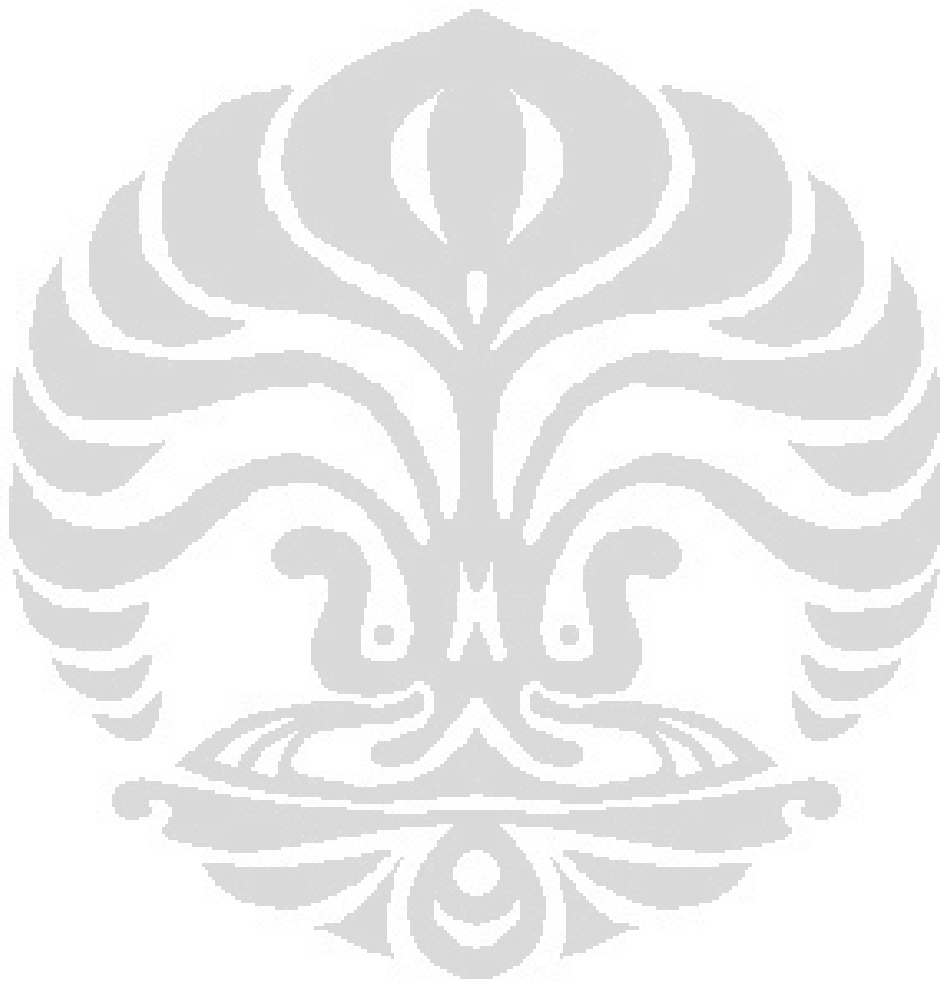
3.10 Metode Pengolahan Hasil dan Analisis Data

Dari hasil pengujian material dan karakteristik beton, dilakukan pencatatan, pengumpulan, serta analisis data. Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini meliputi :

1. Analisis data sifat fisik material penyusun beton
2. Analisis data perancangan campuran beton
3. Analisis data kualitas beton segar dan beton keras

Dari hasil analisis data, selanjutnya dapat dibuat kurva-kurva yang berhubungan untuk membantu dalam penarikan kesimpulan. Penelitian ini

menggunakan metode eksperimental, yaitu untuk menyelidiki kemungkinan pengaruh kelompok pekerjaan dengan variasi substitusi suatu bahan terhadap kelompok tanpa substitusi bahan. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan penelitian susut pada arah horizontal oleh Chatarina Niken dan ACI 209.



BAB 4

ANALISIS DATA DAN HASIL PENELITIAN

4.1 Analisis Pengujian Material Penyusun Beton

Pengujian material penyusun beton dilakukan untuk memperoleh data karakteristik material yang selanjutnya digunakan pada perhitungan *mix design*.

4.1.1 Agregat Kasar

4.1.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 127-88. Tujuan pengujian ini yaitu untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan, berat jenis semu, dan absorpsi dari agregat kasar. Data dan hasil yang diperoleh dari pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Kasar		Sampel 1
A) Berat Benda Uji <i>Oven Dry</i> di Udara	(gram)	4801
B) Berat Benda Uji SSD di Udara	(gram)	5000
C) Berat Benda Uji SSD di Air	(gram)	3032
<i>Bulk Specific Gravity</i>		2.440
<i>SSD Specific Gravity</i>		2.541
<i>Apparent Specific Gravity</i>		2.714
Absorpsi	(%)	4.145

Hasil pengujian ini selanjutnya digunakan untuk perhitungan *mix design* beton. Dari hasil pengujian sampel di atas, dapat dilihat bahwa agregat kasar memenuhi syarat berat jenis agregat kasar berdasarkan ASTM 127-04 yaitu berkisar antara 2,7-3 gr/cm³. Sementara itu, absorpsi tidak boleh melebihi 4%. Dari hasil pengujian, nilai absorpsi agregat kasar melebihi batas yang ditentukan. Agregat yang memiliki nilai absorpsi yang tinggi tidak

baik karena agregat menyerap air lebih banyak yang dapat menyebabkan penurunan kuat tekan beton.

4.1.1.2 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara

Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 29/29M - 97. Hasil pengujian berat isi dan rongga udara agregat adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar	Lepas	Penusukan	Penggoyangan
a) Berat Wadah (kg)	5.089		
b) Berat Wadah + Air (kg)	14.361		
c) Berat Wadah + Benda Uji (kg)	17.303	18.422	18.261
d) Berat Benda Uji (kg)	12.214	13.333	13.172
e) Volume Wadah (kg/liter)	9.272	9.272	9.272
f) Berat Isi Benda Uji (kg/liter)	1.317	1.438	1.421
B) Rata-rata (kg/liter)	1.392		
A) Bulk Specific Gravity Benda Uji	2.541		
W) Berat Isi Air (kg/liter)	1	1	1
Rongga Udara (%)	48.150	43.400	44.083
Rata-rata (%)	45.211		
$d = c - a$ $e = b - a$ $f = d/e$	Rongga Udara $\frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100 \%$		

Hasil pengujian berat isi agregat halus dengan cara penusukan dan penggoyangan lebih besar daripada cara lepas. Ini dikarenakan rongga udara terisi secara lebih sempurna oleh agregat pada sampel yang diuji dengan cara penusukan dan penggoyangan. Dengan demikian, nilai berat isi agregat berbanding terbalik dengan rongga udara agregat, yaitu semakin besar berat isi agregat, semakin kecil rongga udaranya.

4.1.2 Agregat Halus

4.1.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 127-88. Tujuan pengujian ini yaitu untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan, berat jenis semu, dan absorpsi dari

agregat halus. Data dan hasil yang diperoleh dari pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Halus		Sampel 1	Sampel 2
A)	Berat Benda Uji <i>Oven Dry</i> (gram)	498	499
B)	Berat Piknometer + Air (gram)	671	673
C)	Berat Benda Uji + Piknometer + Air Sesuai Kapasitas Kalibrasi (gram)	979	980
<i>Bulk Specific Gravity</i>		2.594	2.585
<i>Rata-rata Bulk Specific Gravity</i>		2.590	
<i>SSD Specific Gravity</i>		2.604	2.591
<i>Rata-rata SSD Specific Gravity</i>		2.597	
<i>Apparent Specific Gravity</i>		2.621	2.599
<i>Rata-rata Apparent Specific Gravity</i>		2.610	
Absorpsi (%)		0.402	0.200
<i>Rata-rata Absorpsi</i> (%)		0.301	

Dari hasil pengujian di atas, nilai absorpsi agregat kasar lebih kecil dari 4%. Ini menunjukkan agregat halus yang digunakan tergolong baik karena agregat halus sedikit menyerap air.

4.1.2.2 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara

Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 29/29M - 97. Hasil pengujian berat isi dan rongga udara agregat adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Halus

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus		Lepas	Penusukan	Penggoyangan
a)	Berat Wadah (kg)	1.055		
b)	Berat Wadah + Air (kg)	3.055		
c)	Berat Wadah + Benda Uji (kg)	3.942	4.193	4.264
d)	Berat Benda Uji (kg)	2.887	3.138	3.209
e)	Volume Wadah (liter)	2	2	2
f)	Berat Isi Benda Uji (kg/liter)	1.444	1.569	1.605
B)	Rata-rata (kg/liter)	1.539		
A)	Bulk Specific Gravity Benda Uji	2.597		
W)	Berat Isi Air (kg/liter)	1	1	1
	Rongga Udara (%)	44.417	39.584	38.217
	Rata-rata (%)	40.739		
	d = c - a e = b - a f = d/e	Rongga Udara $\frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100 \%$		

Hasil pengujian berat isi agregat halus dengan cara penusukan dan penggoyangan lebih besar daripada cara lepas. Ini dikarenakan rongga udara terisi secara lebih sempurna oleh agregat pada sampel yang diuji dengan cara penusukan dan penggoyangan. Dengan demikian, nilai berat isi agregat berbanding terbalik dengan rongga udara agregat, yaitu semakin besar berat isi agregat, semakin kecil rongga udaranya.

4.2 Analisis Pembuatan Sampel

4.2.1 Perhitungan *Mix Design*

Data-data fisik material yang akan digunakan untuk perhitungan *mix design* pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. f_c' = 60 MPa
2. MSA = 1,9 cm
3. *Slump flow* = (30 ± 2) cm
4. Berat jenis agregat kasar = 2,541 gr/cm³
5. Berat jenis agregat halus = 2,597gr/cm³
6. Berat jenis semen = 3,15 gr/cm³

Dari data-data di atas dilakukan perhitungan dengan metode ACI yang dimodifikasi penggunaan semennya agar koefisien susutnya sama

dengan satu. Setelah dilakukan perhitungan, diperoleh rincian kebutuhan agregat per m³ yang mengacu pada penelitian susut pada sampel horizontal oleh Chatarina Niken sebagai berikut :

Tabel 4.5 Kebutuhan Material per m³ Beton

Material	Kebutuhan (kg/m³)
Agregat Kasar	935
Agregat Halus	800
Semen	454,3
Silica fume	40
<i>Fly Ash</i>	57,14
Air	146
Viscocrete	7,6

4.2.2 Persiapan Pengecoran

Material-material yang akan digunakan harus disiapkan terlebih dahulu sebelum pengecoran dilakukan. Hal ini dilakukan agar pada saat akan pengecoran dilakukan, material dan peralatan sudah siap digunakan sehingga memperlancar proses pengecoran. Persiapan material yang dilakukan antara lain :

1. Menyaring agregat kasar dan halus berdasarkan gradasi yang telah ditentukan sesuai kebutuhan.
2. Membersihkan agregat kasar dan halus dari segala kotoran yang melekat pada agregat dengan mencuci agregat dengan air mengalir hingga bersih. Pencucian agregat ini dilakukan agar pasta semen dapat mengikat agregat dengan sempurna.
3. Menyiapkan agregat yang telah bersih pada kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) yaitu kondisi agregat di mana pada permukaannya kering namun di dalamnya jenuh air. Kondisi ini diperoleh dengan menghamparkan agregat sampai kondisinya kering permukaan.
4. Menimbang agregat kasar dan halus sesuai dengan kebutuhan pada perhitungan *mix design*. Agregat dimasukkan ke dalam plastik agar

kadar air yang berada di dalamnya tidak hilang dan kondisi SSD tetap terjaga.

Persiapan peralatan yang dilakukan antara lain :

1. Mempersiapkan cetakan benda uji yang akan digunakan, yaitu balok $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}^3$ untuk benda uji susut, silinder $15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ untuk benda uji modulus elastisitas, dan silinder $10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ untuk uji tekan. Cetakan yang telah disiapkan kemudian dioleskan oli pada seluruh bagian dalamnya. Hal ini dilakukan agar beton tidak menempel pada cetakan saat cetakan dibuka.
2. Memasang *Vibrating Wire Embedded Strain Gage* (VWESG) pada cetakan balok dengan posisi vertikal. Pemasangan VWESG dilakukan dengan menggunakan pipa dan kawat bendrat sebagai alat bantu agar dapat terpasang dengan baik sesuai dengan posisi yang telah ditentukan.
3. Menyiapkan alat-alat lain seperti molen, alat tes *slump*, gerobak, penggaris, perata dan pemadat beton segar, serta sendok semen.

4.2.3 Pencampuran, Pengujian *Slump*, dan Pengecoran Beton Segar

Langkah pertama yang dilakukan pada proses pencampuran adalah memasukkan bahan-bahan *cementitious* terlebih dahulu, yaitu semen, silica fume dan *fly ash* ke dalam molen. Pencampuran bahan-bahan tersebut dilakukan manual dengan menggunakan sendok semen. Setelah bahan-bahan *cementitious* tercampur merata, agregat halus dimasukkan dan diaduk hingga merata dengan menggunakan sendok semen. Setelah itu, molen mulai dinyalakan dan setengah bagian air dimasukkan sedikit demi sedikit ke dalam molen yang berputar. Setelah terbentuk mortar, agregat kasar dengan ukuran yang kecil dimasukkan ke dalam molen yang berputar hingga merata. Molen kemudian dimatikan, dan dilakukan pencampuran secara manual pada campuran beton dengan menggunakan sendok semen. Hal ini dilakukan agar semua bagian campuran tercampur merata, terutama bagian sisi molen yang tidak terjangkau oleh pengaduk yang berputar pada molen. Setelah pengadukan manual selesai, molen

diputar kembali lalu setengah bagian air yang tersisa dicampur dengan *superplasticizer* berupa viscocrete kemudian dituangkan ke dalam molen. Setelah tercampur merata, agregat kasar yang berukuran besar dimasukkan dan diaduk merata. Setelah itu molen dimatikan, lalu dilakukan pencampuran manual kembali. Molen dinyalakan kembali, jika air pada campuran beton dirasakan kurang, boleh ditambahkan air sedikit ke dalamnya. Setelah campuran beton tercampur dengan merata, pengujian *slump* beton dapat dilakukan.

Pengujian *slump* beton dilakukan dengan *slump flow* test dengan syarat diameter *flow* campuran (30 ± 2) cm. Prosedur pengujian *slump flow* hampir sama dengan pengujian *slump* biasa, hanya saja pada *slump flow*, campuran beton dimasukkan ke dalam cetakan dengan posisi berkebalikan dengan pengujian *slump* biasa, yaitu diameter yang lebih kecil diposisikan di bawah, dan pengukuran yang dilakukan adalah diameter yang dicapai pada saat campuran berhenti mengalir. Jika syarat diameter *flow* campuran kurang dari syarat yang ditentukan, campuran dapat diaduk kembali dan menambahkan sedikit air ke dalamnya hingga mencapai *slump flow* yang diinginkan. Tetapi, jika diameter *flow* campuran lebih dari syarat yang ditentukan atau campuran terlalu encer, maka campuran tersebut tidak dapat dipakai.

Campuran beton segar yang telah mencapai nilai *slump flow* yang ditentukan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan yang telah disiapkan. Pengecoran dilakukan secara bertahap setiap sepertiga bagian cetakan disertai dengan pemadatan menggunakan alat pemadat agar beton tidak keropos. Permukaan beton kemudian ditutup dengan menggunakan styrofoam agar tidak terjadi penguapan air.

Karena keterbatasan kapasitas molen yang digunakan, pengecoran tidak dapat dilakukan sekaligus untuk semua benda uji. Dalam penelitian ini, pengecoran pertama dilakukan sebanyak tiga kali untuk benda uji susut dan modulus elastisitas, sedangkan untuk benda uji tekan pengecoran dilakukan terpisah dalam beberapa tahap sesuai dengan kebutuhan benda uji.

4.2.4 Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Curing beton merupakan salah satu hal penting di dalam penelitian. Proses *curing* bertujuan untuk mencegah panas hidrasi yang berlebihan dari reaksi semen dan air pada beton, serta menjaga agar proses hidrasi terjadi secara berkelanjutan. Pada penelitian ini dilakukan dua macam *curing*, yaitu perendaman benda uji di kolam beton Laboratorium Struktur dan Material FTUI untuk benda uji tekan dan modulus elastisitas, dan penetasan air untuk benda uji susut. Untuk benda uji tekan dan modulus elastisitas, perendaman benda uji dilakukan setelah cetakan benda uji dilepas hingga kurang lebih 24 jam sebelum dilakukan pengetesan pada benda uji. Sedangkan untuk benda uji susut, penetasan air dilakukan setelah cetakan benda uji dilepas hingga benda uji berumur tujuh hari.

4.3 Analisis Pengujian Susut

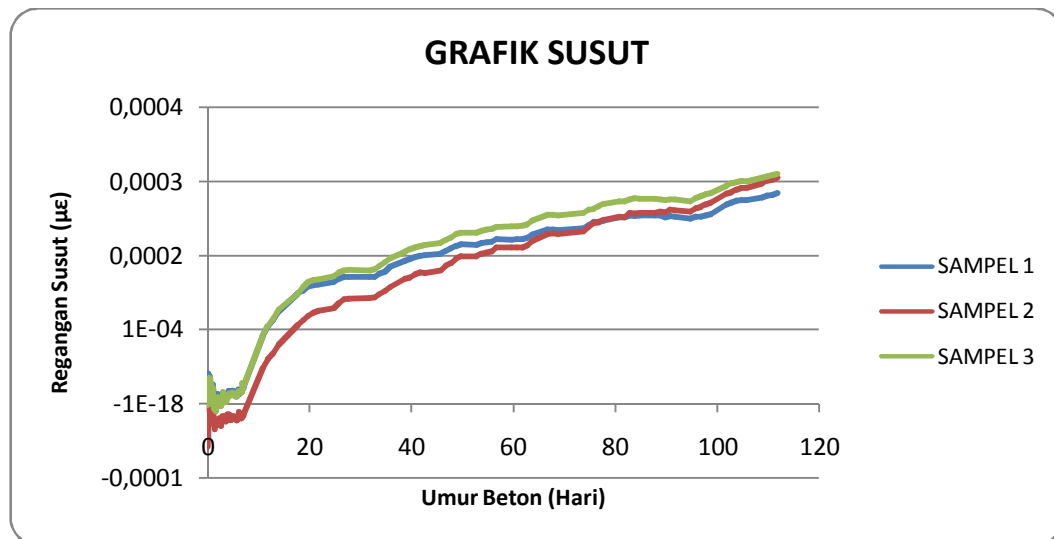
Pengujian susut beton dilakukan dengan menggunakan *Vibrating Wire Embedded Strain Gage* (VWESG) yang ikut dicor di dalam tiga benda uji beton berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm. Output yang diperoleh melalui alat ini yaitu regangan dalam satuan $\mu\epsilon$ dan suhu dalam satuan $^{\circ}\text{C}$. Regangan susut yang terjadi diakibatkan oleh regangan dan suhu dalam benda uji, dengan nilai sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

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

Di mana :

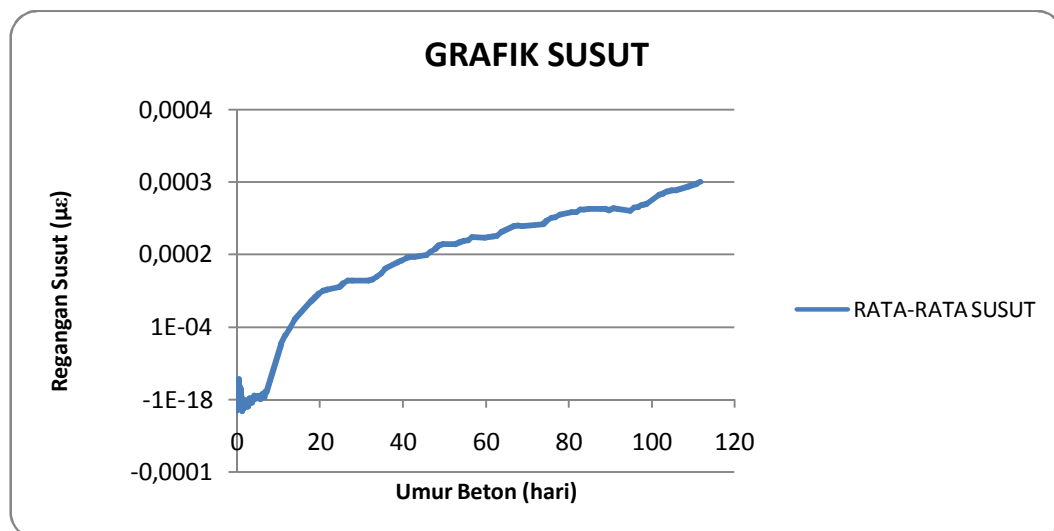
- $\mu\epsilon_{\text{true}}$ = regangan susut yang terjadi
- R_i = regangan pada data ke-i
- R_{i-1} = regangan pada data ke-i-1
- T_i = suhu pada data ke-i
- T_{i+1} = suhu pada data ke-i+1
- B = koefisien kalibrasi VWESG = 0,96
- C_1 = koefisien ekspansi VWESG = 12,2
- C_2 = koefisien ekspansi beton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

Berikut ini merupakan kurva regangan susut terhadap waktu yang terjadi selama 90 hari.

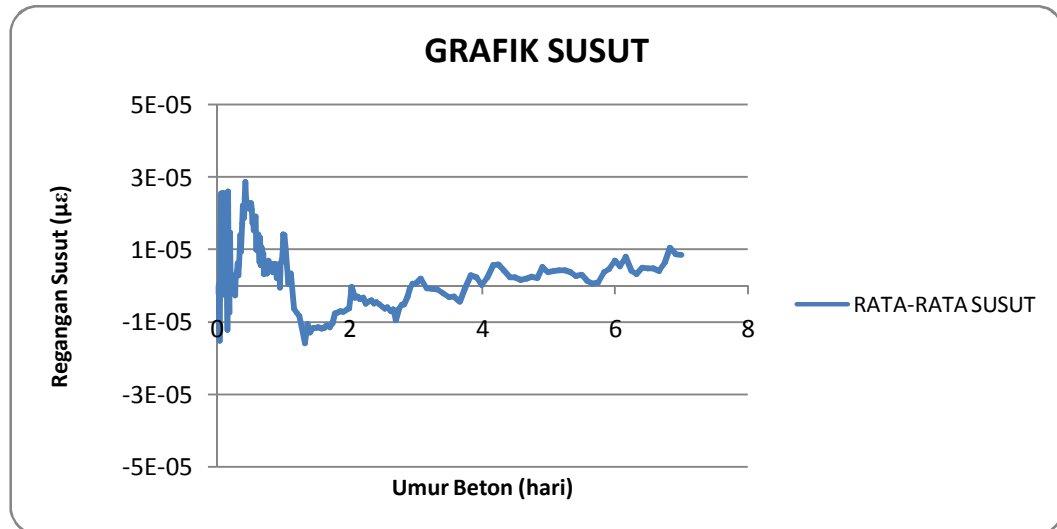


Gambar 4.1 Kurva Susut Beton dengan *Fly Ash*

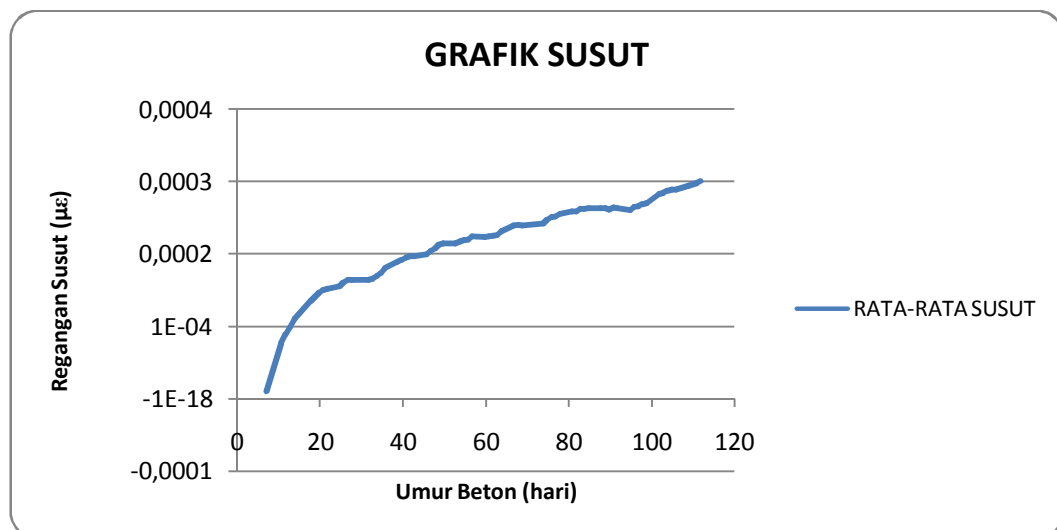
Data yang diperoleh harus diperiksa terlebih dahulu kelayakannya dengan menggunakan kriteria Dixon. Pemeriksaan dilakukan pada beberapa titik pada masing-masing sampel. Setelah dilakukan pengecekan dengan menggunakan kriteria Dixon, tidak ditemukan outlier pada semua data yang diperoleh, sehingga semua data layak dan dapat digunakan di dalam perhitungan. Rata-rata yang diperoleh dari ketiga sampel yaitu sebagai berikut :



Gambar 4.2 Kurva Rata-rata Susut dengan *Fly Ash*



Gambar 4.3 Kurva Rata-rata Susut dengan *Fly Ash* saat *Curing*



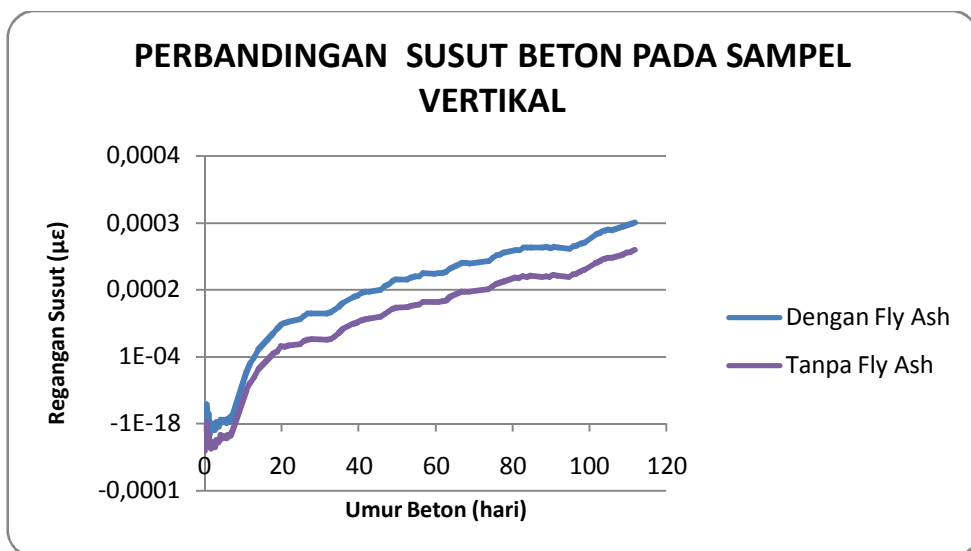
Gambar 4.4 Kurva Rata-rata Susut dengan *Fly Ash* setelah *Curing*

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa susut beton pada umur awal, yaitu sekitar tujuh hari masih mengalami fluktuasi. Susut yang terjadi pada beton tidak hanya bernilai positif tetapi bernilai negatif juga. Ini menunjukkan bahwa beton mengalami penyusutan dan pengembangan. Hal ini dikarenakan reaksi kimia di dalam beton pada umur-umur awal masih sangat berpengaruh terhadap susut. Selain itu, proses *curing* yang dilakukan hingga tujuh hari setelah cetakan sampel dibuka juga sangat mempengaruhi susut beton yang fluktuatif ini. Selama proses *curing*, beton terekspos oleh udara di lingkungan sekitar. Perbedaan suhu dan

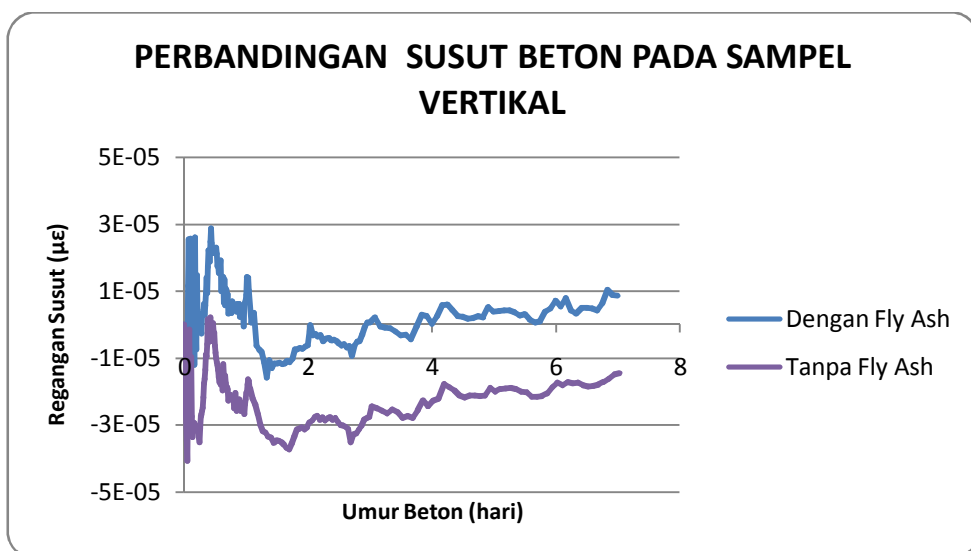
kelembaban relatif yang cukup signifikan antara siang dan malam juga mempengaruhi susut yang terjadi.

4.3.1 Perbandingan Susut Beton Arah Vertikal dengan Menggunakan *Fly Ash* dan tanpa Menggunakan *Fly Ash*

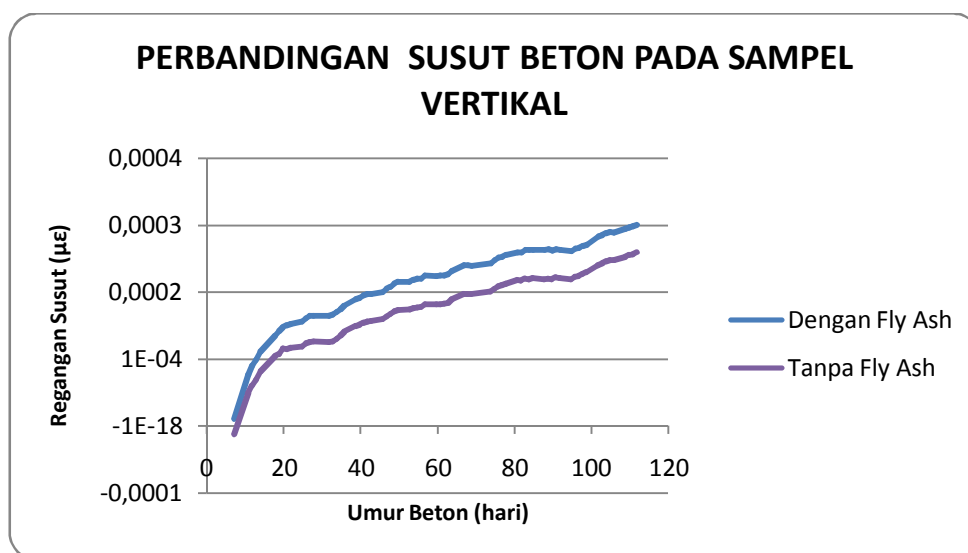
Susut beton yang menggunakan *fly ash* pada sampel vertikal yang diperoleh dibandingkan dengan susut beton tanpa menggunakan *fly ash*. Penelitian susut pada beton dengan *fly ash* dan tanpa *fly ash* dilakukan pada waktu dan kondisi lingkungan yang sama. Perbandingannya dapat dilihat pada kurva berikut :



Gambar 4.5 Perbandingan Susut Beton pada Sampel Vertikal



Gambar 4.6 Perbandingan Susut Beton pada Sampel Vertikal saat *Curing*

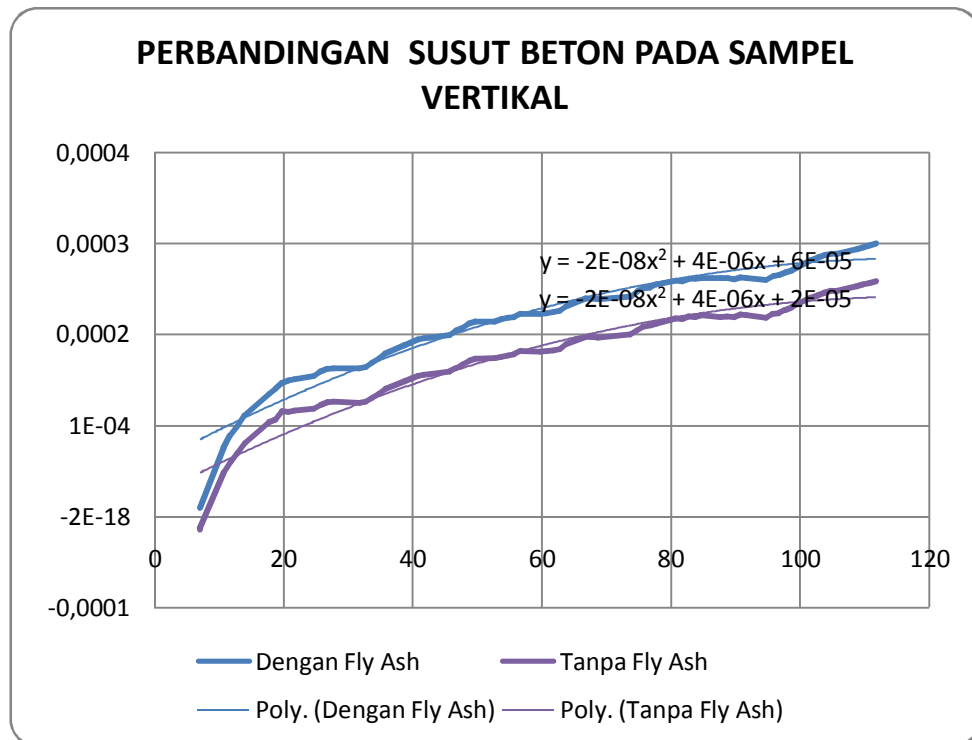


Gambar 4.7 Perbandingan Susut Beton pada Sampel Vertikal setelah *Curing*

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa grafik susut beton yang menggunakan *fly ash* lebih besar daripada beton tanpa menggunakan *fly ash*. Seharusnya beton yang menggunakan *fly ash* mengalami susut yang lebih kecil karena penggunaan semen berkurang sehingga panas hidrasi yang terjadipun berkurang dan menyebabkan susut yang terjadi lebih kecil. Namun pada penelitian nilai susut pada beton dengan *fly ash* lebih besar dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash*.

Susut merupakan fungsi terhadap waktu. Perilakunya tiap satuan waktu dapat berbeda-beda pada benda uji beton yang berbeda. Untuk melihat apakah terdapat perbedaan perilaku tiap satuan waktu pada susut beton dengan *fly ash* dan tanpa *fly ash*, dapat dilakukan dengan membandingkan gradien dari masing-masing grafik susut yang diperoleh. Jika grafik susut yang dibandingkan menunjukkan kemiringan yang sama, susut beton tiap satuan waktu menunjukkan perilaku yang sama. Perbandingan gradien ini hanya dilakukan setelah beton berumur tujuh hari, karena pada hingga beton berumur tujuh hari (pada saat curing) perilaku susutnya dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga tidak dapat dibandingkan satu sama lainnya. Berikut merupakan perbandingan gradien grafik susut beton dengan *fly ash* dan tanpa *fly ash* :

Universitas Indonesia

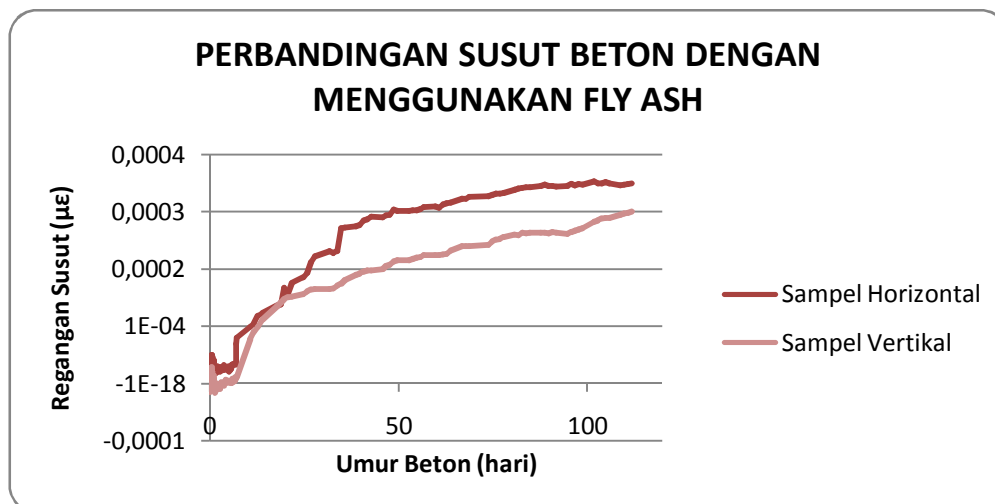


Gambar 4.8 Perbandingan Gradien Susut Beton pada Sampel Vertikal setelah *Curing*

Grafik susut beton dengan *fly ash* dan tanpa *fly ash* menunjukkan kemiringan yang sama. Hal ini berarti perilaku susut beton dengan *fly ash* dan tanpa *fly ash* sama tiap satuan waktunya atau dapat dikatakan kenaikan susut atau laju perubahan susutnya adalah sama.

4.3.2 Perbandingan Susut Beton dengan Menggunakan *Fly Ash* pada Sampel Vertikal dan Horizontal

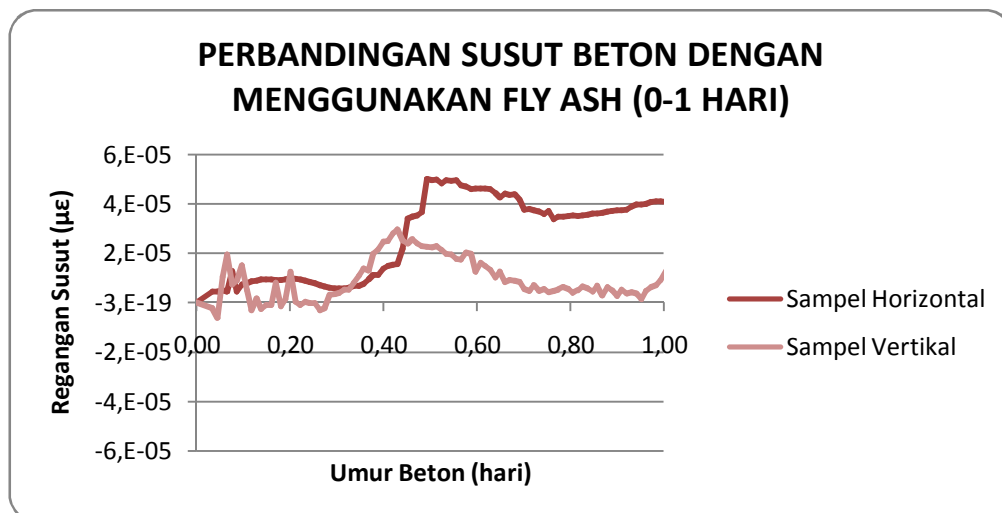
Susut beton yang menggunakan *fly ash* pada sampel vertikal dibandingkan dengan susut beton pada sampel horizontal. Penelitian susut pada beton pada sampel vertikal dan horizontal dilakukan pada waktu dan kondisi lingkungan yang berbeda. Sehingga, perbedaan nilai susut yang terjadi dapat diakibatkan oleh suhu dan kelembaban relatif lingkungan, suhu sampel beton, perbedaan suhu beton dan lingkungan, serta posisi *strain gage* pada beton. Perbandingannya dapat dilihat pada kurva berikut:



Gambar 4.9 Perbandingan Susut Beton dengan *Fly Ash*

Berdasarkan perbandingan susut di atas, susut pada sampel vertikal lebih kecil dibandingkan susut pada sampel horizontal. Hal ini berbanding terbalik dengan hipotesa awal. Bahan penyusun campuran beton, ukuran benda uji beton, perlakuan pengecoran, *curing*, dan pemeliharaan beton sama pada sampel horizontal dan vertikal, hanya posisi beton dan waktu pengecorannya saja yang berbeda. Oleh karena itu penulis mencoba mencari penyebab dari perbedaan susut yang terjadi pada arah vertikal dan horizontal.

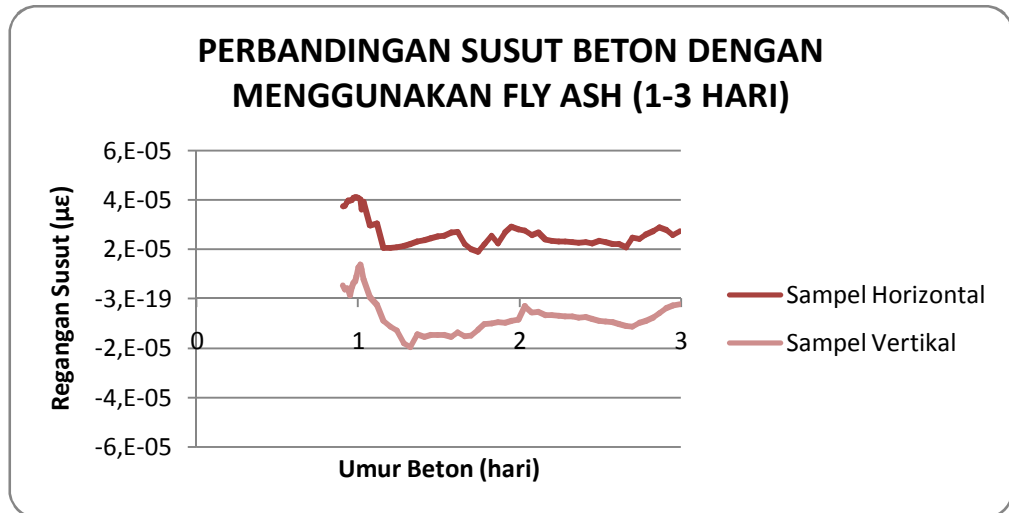
Laju perubahan susut yang terjadi pada awal pengerasan beton sangat cepat, hal ini dikarenakan panas dari proses hidrasi awal yang masih tinggi dapat menyebabkan terjadinya susut yang besar. Oleh karena itu susut yang terjadi pada 24 jam pertama pembentukan beton keras dianalisa secara lebih mendalam, dengan membandingkan sampel horizontal dan sampel vertikal. Berikut adalah grafik susut terhadap waktu pada sampel horizontal dan sampel vertikal.



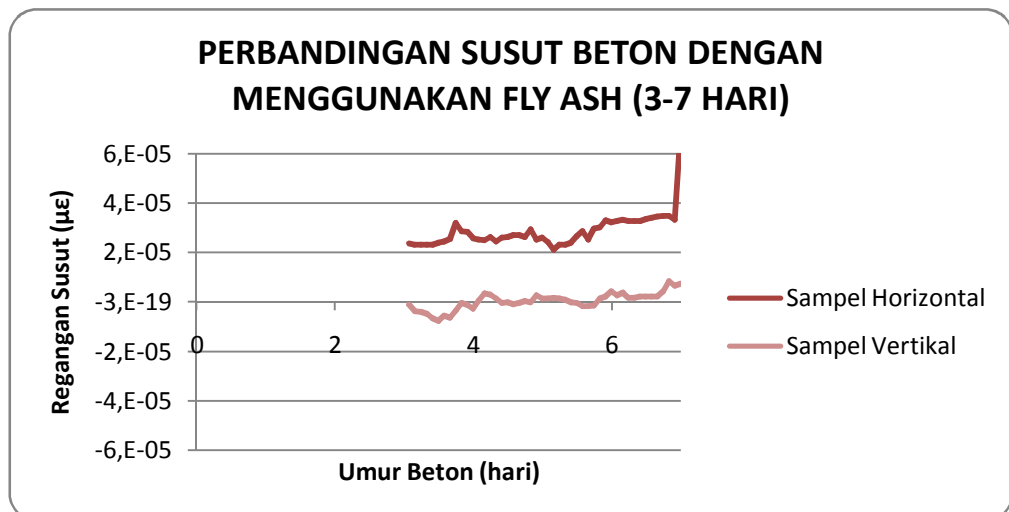
Gambar 4.10 Perbandingan Susut Beton dengan *Fly Ash* (0-1 Hari)

Berdasarkan grafik di atas, dapat dikatakan bahwa proses pengerasan awal beton sangat memengaruhi susut yang terjadi. Proses hidrasi yang terjadi pada kedua sampel jelas berbeda, menyebabkan susut yang terjadi berbeda pula. Di mana pada sampel horizontal susut yang terjadi cenderung untuk terus naik di awal dan mengalami kenaikan cukup tinggi saat 0.4 hari menuju 0,5 hari yaitu sekitar $5 \times 10^5 \mu\epsilon$, lalu berkurang, atau mengalami pengembangan sekitar pada hari ke 0.5 sampai 0.8. Laju perubahan susut pada sampel horizontal cenderung stabil, berbeda dengan laju perubahan susut pada sampel vertikal yang lebih fluktuatif, terutama pada umur 0-0.4 hari. Namun demikian, setelah 0.5 hari, perilaku susut beton pada sampel horizontal dan vertikal hampir sama, yaitu mengembang kemudian menyusut kembali.

Pada grafik di atas, dapat dilihat bahwa perbedaan nilai susut pada sampel horizontal dan vertikal terlihat sejak masing-masing sampel mulai mengalami pengembangan, yaitu saat beton berumur sekitar 0.5 hari pada sampel horizontal, dan 0.4 hari pada sampel vertikal. Perbedaan nilai susut pada waktu ini selanjutnya menyebabkan perbedaan nilai susut pada sampel horizontal dan vertikal hingga akhir penelitian selama kurang lebih 112 hari. Proses penyusutan secara lebih rinci setelah hari pertama dapat dilihat pada grafik berikut :

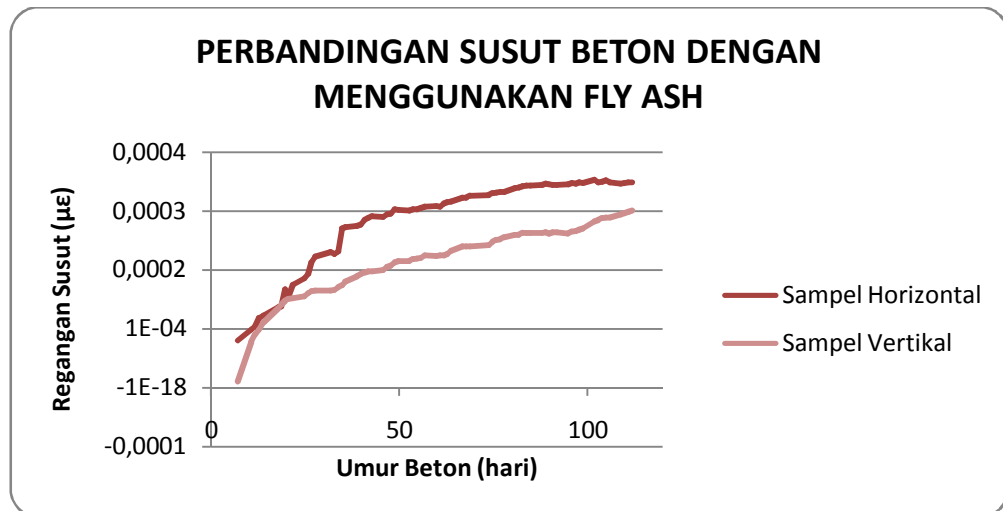


Gambar 4.11 Perbandingan Susut Beton dengan *Fly Ash* (1-3 Hari)



Gambar 4.12 Perbandingan Susut Beton dengan *Fly Ash* (3-7 Hari)

Susut yang terjadi setelah hari pertama sampai dengan hari ke-7 seperti yang ditunjukkan pada grafik diatas memiliki perilaku yang sama dan kenaikan yang sama, dimana pada hari ke-1 sampai hari ke-7 beton telah mengeras. Sehingga dapat dikatakan bahwa susut yang terjadi pada sampel horizontal dan vertikal mengalami perilaku susut yang sama setelah proses pengerasan beton. Proses penyusutan secara lebih lanjut setelah hari ke-7 sampei hari ke-112 dapat dilihat pada grafik berikut :

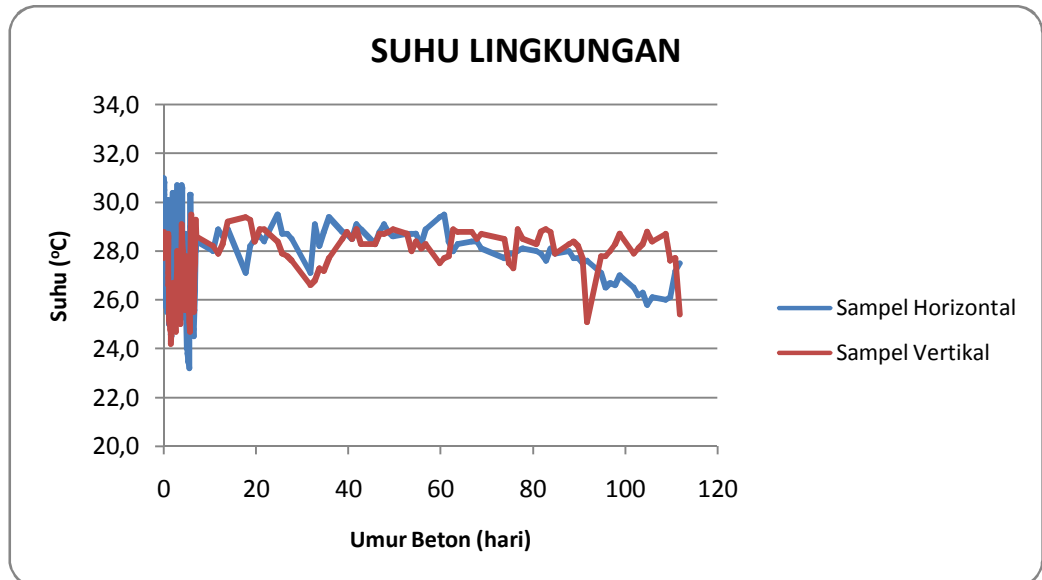


Gambar 4.13 Perbandingan Susut Beton dengan *Fly Ash* setelah *Curing*

Grafik di atas menunjukkan bahwa susut yang diukur pada sampel vertikal nilainya lebih kecil dibandingkan dengan arah horizontal. Pada akhir penelitian, yaitu pada umur beton sekitar 112 hari, susut yang terjadi pada sampel vertikal sebesar 86% dari susut pada sampel horizontal. Selain berdasarkan reaksi-reaksi yang terjadi pada umur awal beton, penulis mencoba memaparkan faktor-faktor yang dapat menyebabkan perbedaan susut pada sampel horizontal dan vertikal, yaitu sebagai berikut :

1. Suhu lingkungan

Perbandingan suhu lingkungan pada penelitian susut arah vertikal dan horizontal dapat dilihat pada grafik berikut :

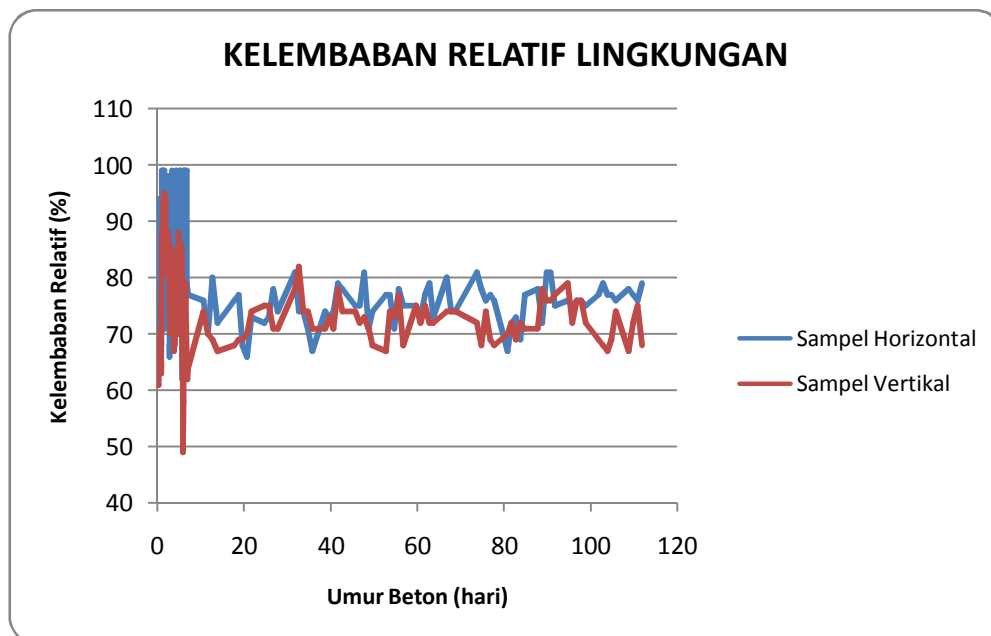


Gambar 4.14 Perbandingan Suhu Lingkungan pada Sampel Beton Horizontal dan Vertikal dengan *Fly Ash*

Suhu lingkungan yang lebih tinggi akan menyebabkan susut yang terjadi pada beton lebih tinggi. Dari perbandingan grafik di atas, suhu lingkungan pada penelitian susut beton arah horizontal lebih besar dibandingkan dengan susut beton arah vertikal. Oleh karena itu susut yang terjadi pada arah vertikal lebih kecil dibandingkan dengan susut pada arah horizontal.

2. Kelembaban relatif lingkungan

Perbandingan kelembaban relatif lingkungan pada penelitian susut arah vertikal dan horizontal dapat dilihat pada grafik berikut :

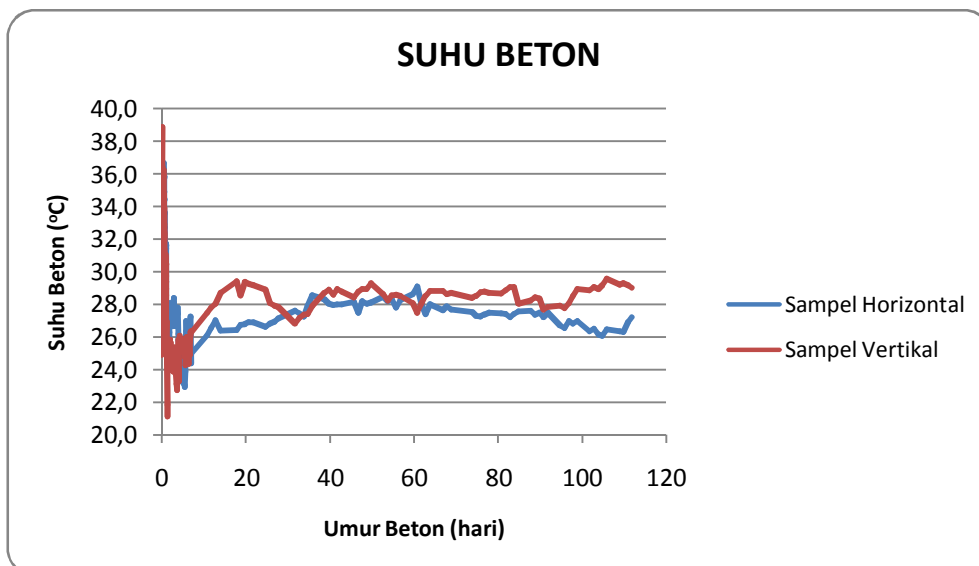


Gambar 4.15 Perbandingan Kelembaban Relatif Lingkungan pada Sampel Beton Horizontal dan Vertikal dengan *Fly Ash*

Susut lebih besar terjadi pada kelembaban relatif 50 – 100% dan dapat diabaikan pada kelembaban relatif 0 – 50% [S.E. Pihlajavaara], 1974]. Sementara itu, pada kelembaban relatif 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, dan 90% kolom lantai 5 pada gedung 40 lantai memendek sebesar 0%, 6,51%, 15,72%, 25,93%, 38,08%, dan 52,47% [A. Vafai et al, 2009]. Hal ini menunjukkan bahwa kelembaban relatif yang lebih besar akan menyebabkan susut yang lebih besar. Begitu pula yang terjadi pada penelitian susut arah vertikal dan horizontal dengan kelembaban relatif yang berbeda. Susut pada arah horizontal lebih besar dibandingkan dengan arah vertikal karena kelembaban relatif lingkungannya pun lebih besar.

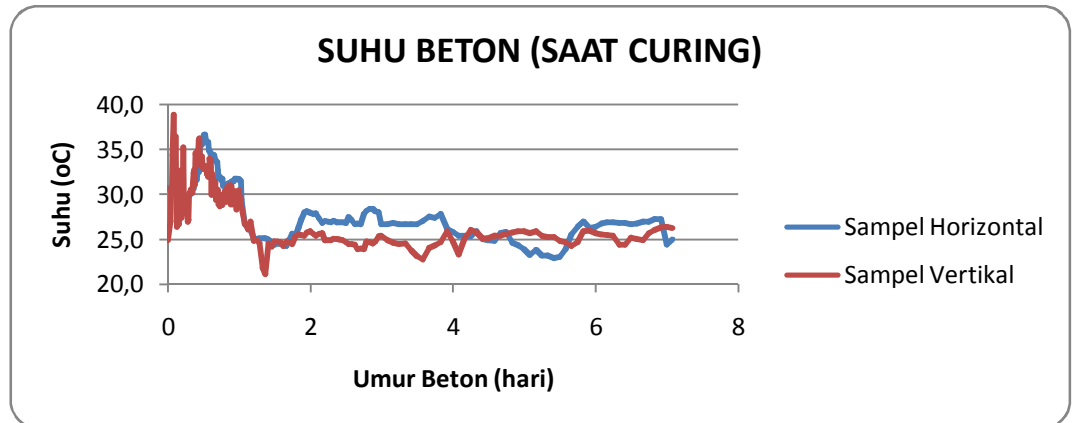
3. Suhu beton

Suhu di dalam beton juga mempengaruhi susut yang terjadi. Semakin besar suhu di dalam beton, semakin besar pula susut yang terjadi. Berikut ini merupakan perbandingan suhu di dalam beton sampel horizontal dan vertikal :

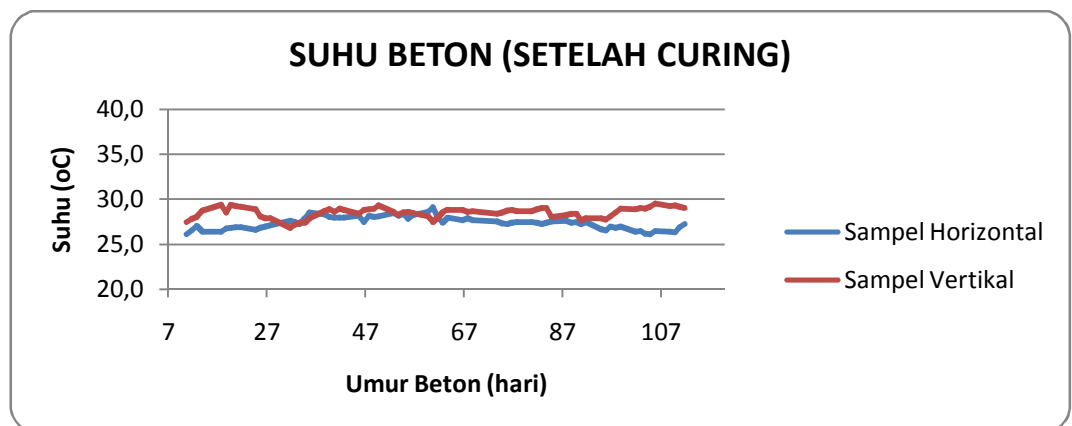


Gambar 4.16 Perbandingan Suhu Beton dengan *Fly Ash* pada Sampel Horizontal dan Vertikal

Pada umur-umur awal beton yaitu sampai beton berumur sekitar 7 hari, suhu di dalam beton sangat tinggi. Ini disebabkan oleh panas dari proses hidrasi di dalam beton yang juga mempengaruhi susut yang terjadi. Susut yang terjadi pada umur awal beton kenaikannya lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang sudah berumur lebih dari 7 hari. Panas hidrasi yang tidak dikendalikan dengan baik akan mengakibatkan beton retak-retak. Oleh karena itu, sejak beton dibuka dari cetaknya hingga beton berumur 7 hari, dilakukan proses *curing* dengan mengaliri air pada seluruh permukaan beton untuk menghindari panas hidrasi yang berlebihan yang dapat menyebabkan retak-retak pada beton. Berikut ini merupakan perbandingan suhu beton sampel horizontal dan vertikal pada saat *curing* dan setelah *curing* :



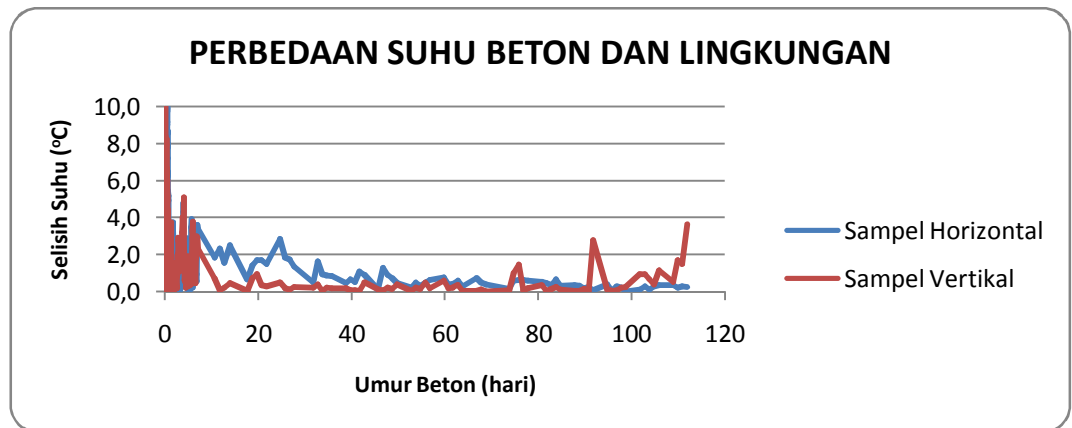
Gambar 4.17 Perbandingan Suhu Beton dengan *Fly Ash* pada Sampel Horizontal dan Vertikal saat *Curing*



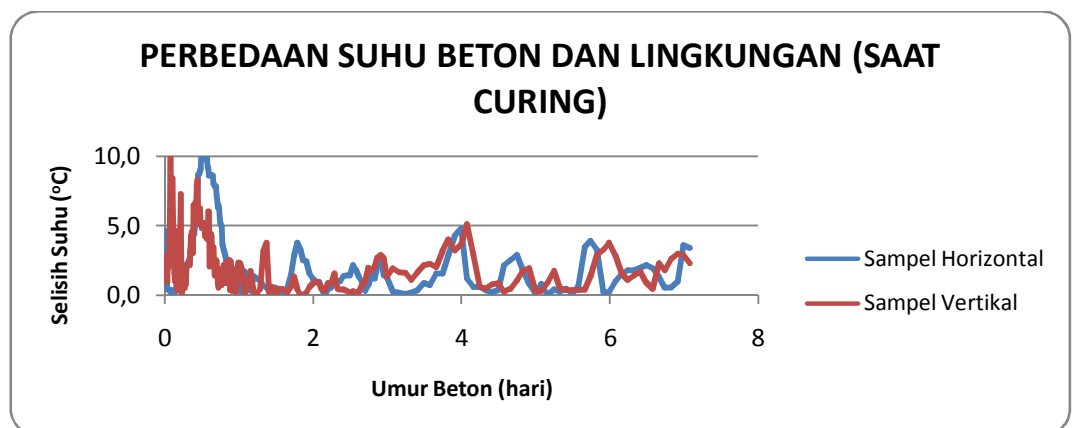
Gambar 4.18 Perbandingan Suhu Beton dengan *Fly Ash* pada Sampel Horizontal dan Vertikal Setelah *Curing*

4. Perbedaan suhu beton dan lingkungan

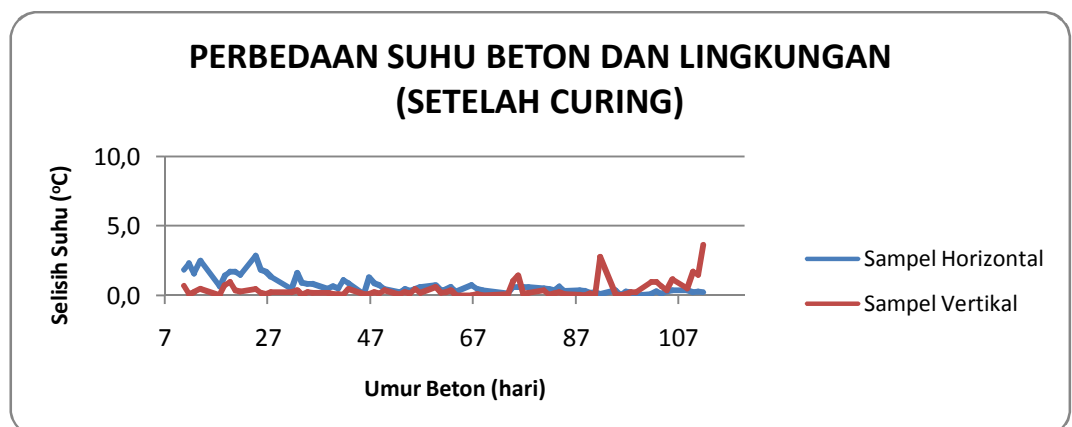
Perbedaan suhu beton dan lingkungan pada saat proses *curing* lebih besar dibandingkan setelah proses *curing*. Hal ini dikarenakan pada saat *curing* suhu beton sangat tinggi sehingga perbedaannya dengan suhu lingkungan juga lebih tinggi daripada setelah proses *curing*. Berikut ini merupakan perbandingan perbedaan suhu beton dan lingkungan pada saat proses *curing* dan setelah proses *curing* :



Gambar 4.19 Perbedaan Suhu Beton dan Lingkungan



Gambar 4.20 Perbedaan Suhu Beton dan Lingkungan (Saat *Curing*)



Gambar 4.21 Perbedaan Suhu Beton dan Lingkungan (Setelah *Curing*)

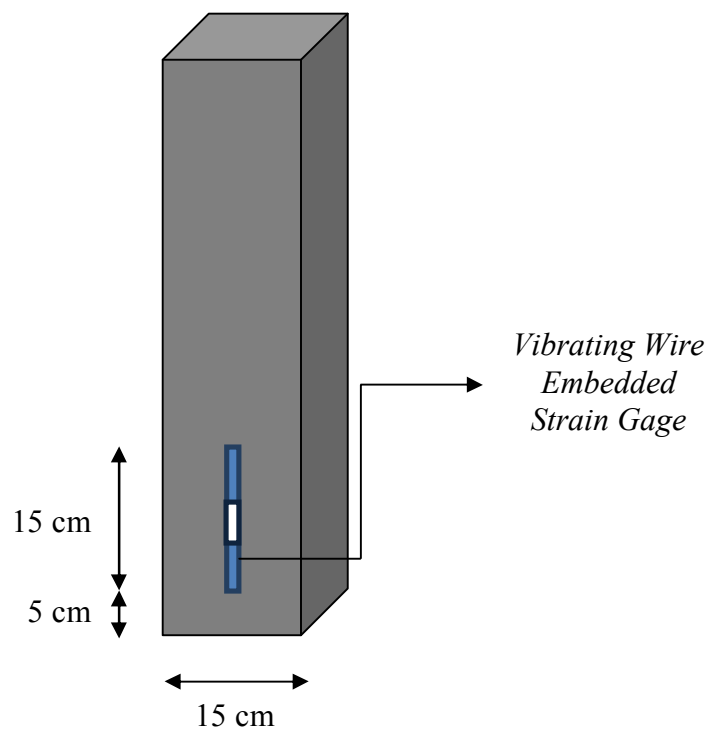
5. Posisi *strain gage*

Posisi *strain gage* pada penelitian susut arah vertikal dan horizontal berbeda. Pada arah vertikal, *strain gage* dipasang 5 cm dari dasar sampel beton dengan posisi sampel beton dan *strain*

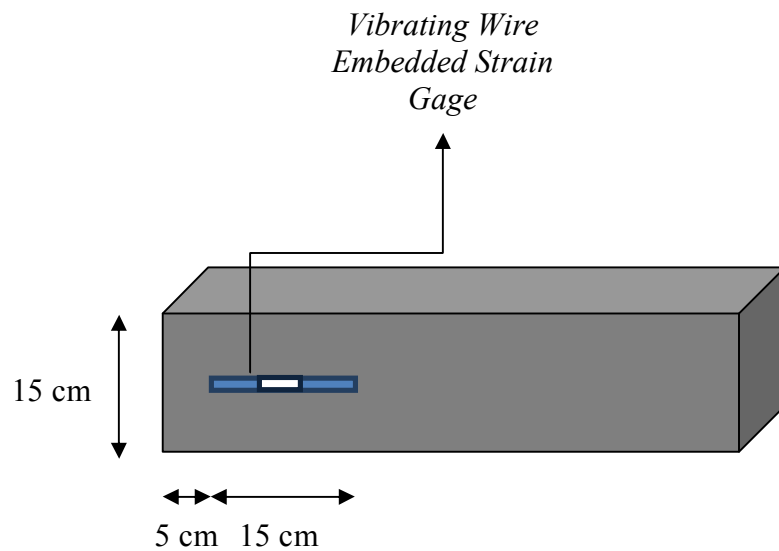
Universitas Indonesia

gage vertikal. Sedangkan pada arah horizontal, *strain gage* dipasang 5 cm dari sisi terkecil sampel beton dengan posisi sampel beton dan *strain gage* horizontal. Ini menunjukkan bahwa *strain gage* dipasang di kedalaman yang berbeda antara beton sampel vertikal dan horizontal.

Susut pada permukaan beton biasanya lebih besar jika dibandingkan dengan susut di dalam beton. Susut yang terjadi pada arah vertikal lebih kecil daripada arah horizontal, karena susut pada arah vertikal ditinjau pada kedalaman yang lebih besar.

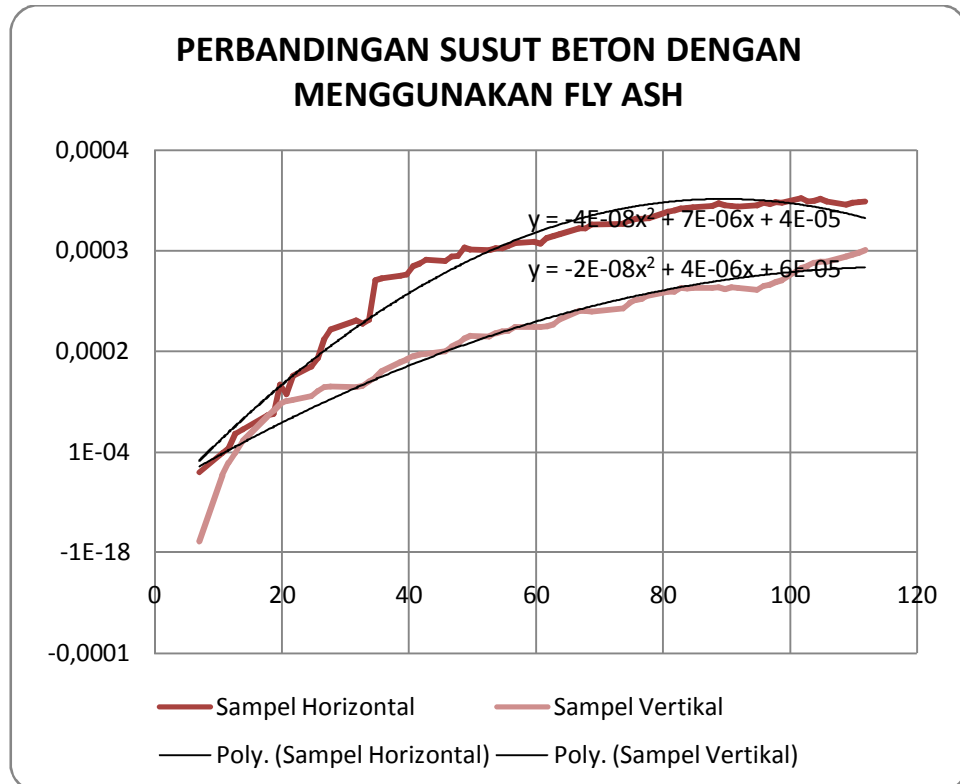


Gambar 4.22 Posisi *Strain Gage* pada Sampel Vertikal



Gambar 4.23 Posisi *Strain Gage* pada Sampel Horizontal

Perbandingan kemiringan grafik susut beton dengan *fly ash* pada sampel horizontal dan vertikal juga dilakukan untuk mengetahui apakah susut beton pada sampel horizontal dan vertikal menunjukkan perilaku yang sama atau tidak. Berikut perbandingannya:



Gambar 4.24 Perbandingan Gradien Susut Beton dengan *Fly Ash* setelah *Curing*

Perbandingan gradien di atas menunjukkan bahwa perilaku susut beton tidak sama pada sampel vertikal dan horizontal. Berdasarkan grafik di atas, gradien sampel horizontal lebih besar dibandingkan dengan sampel vertikal. Susut pada sampel vertikal memiliki kemiringan yang besar pada umur beton 7-20 hari dan mendekati nilai susut pada sampel horizontal pada umur beton sekitar 20 hari, namun lajunya berkurang dan memiliki gradient yang hampir sama dengan sampel horizontal setelah 20 hari. Dapat dikatakan bahwa laju perubahan susut pada sampel horizontal dan vertikal hampir sama setelah beton berumur 20 hari hingga 112 hari.

4.3.3 Perbandingan Susut Beton dengan Menggunakan *Fly Ash* pada Sampel Vertikal dan ACI 209R-92

Susut yang diteliti pada penelitian ini dibandingkan pula dengan teori perhitungan regangan susut berdasarkan ACI 209R-92. Perhitungan regangan susut berdasarkan ACI dapat diperoleh menurut persamaan :

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

di mana :

- t = waktu (hari)
- $(\epsilon_{SH})_t$ = regangan susut pada saat t (mm/mm)
- $(\epsilon_{SH})_u$ = regangan ultimit susut = 780×10^{-6} (mm/mm)
- γ_{SH} = faktor koreksi

Faktor koreksi γ_{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 :

- γ_{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

1. Faktor kelembaban relatif

Faktor koreksi kelembaban relative dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.6 Faktor Koreksi untuk Kelembaban Relatif

Relative Humidity, percent	Creep γ_λ	Shrinkage γ_λ
< 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 : *Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structure*, ACI 209R-92)

Kelembaban relatif rata-rata ruangan ditentukan sebesar 72 %. Berdasarkan tabel di atas dan setelah dilakukan interpolasi, diperoleh faktor koreksi kelembaban relative sebesar 0,68.

2. Faktor tebal minimum penampang

Tebal minimum rata-rata penampang beton pada penelitian ini yaitu 150 mm. Untuk tebal minimum penampang yang lebih kecil atau sama dengan 150 mm, faktor koreksi yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.7 Faktor Koreksi untuk Tebal Minimum Penampang

Average Thickness of Member*		Creep γ_h		Shrinkage γ_h	
in.	mm	≤ 1 yr.	ult. value	≤ 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 : Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structure, ACI 209R-92)

Berdasarkan tabel di atas, faktor koreksi tebal minimum penampang diperoleh sebesar 1.

3. Faktor kekentalan beton

Faktor koreksi kekentalan beton (*slump*) dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$K_s^s = 0.89 + 0.00161s$$

Di mana :

K_s^s = faktor kekentalan beton

s = *slump* (mm)

Nilai *slump* yang digunakan berdasarkan ACI 209R-92 merupakan nilai *slump* beton tanpa *superplasticizer*. Sementara itu, di dalam penelitian ini campuran beton menggunakan *superplasticizer*. Oleh karena itu diambil pendekatan nilai *slump* beton tanpa *superplasticizer* sebesar 20 mm. Sehingga diperoleh faktor koreksi kekentalan beton sebesar 0,922.

4. Faktor kandungan agregat halus

Faktor koreksi kandungan agregat halus dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$K_F^S = 0.30 + 0.014\psi$$

Di mana :

K_F^S = faktor kandungan agregat halus

ψ = rasio kandungan agregat halus terhadap kandungan total agregat (%)

Kandungan agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton berturut-turut adalah 800 kg/m^3 dan 935 kg/m^3 . Rasio ψ diperoleh sebesar 46,11%. Sehingga diperoleh faktor kandungan agregat halus sebesar 0,761.

5. Faktor kandungan semen

Faktor koreksi kandungan semen dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$K_B^S = 0.75 + 0.00061c$$

Di mana :

K_B^S = faktor kekentalan beton

c = kandungan semen (kg/m^3)

Kandungan semen dalam campuran beton adalah 500 kg/m^3 . Sehingga diperoleh faktor kandungan semen sebesar 1,027.

6. Faktor kandungan udara

Faktor koreksi kandungan udara dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$K_{AC}^S = 0.95 + 0.008\alpha$$

Di mana :

K_{AC}^S = faktor kandungan udara

α = kandungan udara (%)

Kandungan semen dalam campuran beton adalah 2%. Sehingga diperoleh faktor kandungan udara sebesar 0,966.

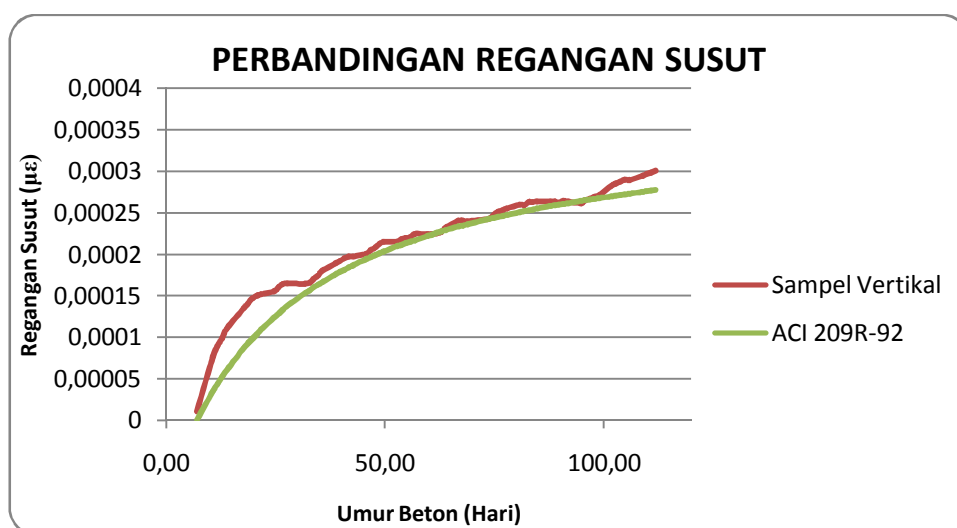
Setelah diperoleh seluruh faktor koreksi berdasarkan kondisi sampel beton yang diteliti, faktor koreksi untuk sampel beton pada kondisi non-standar dapat ditentukan, yaitu :

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

$$\gamma_{SH} = (0,680)(1)(0,922)(0,761)(1,027)(0,966)$$

$$\gamma_{SH} = 0,474$$

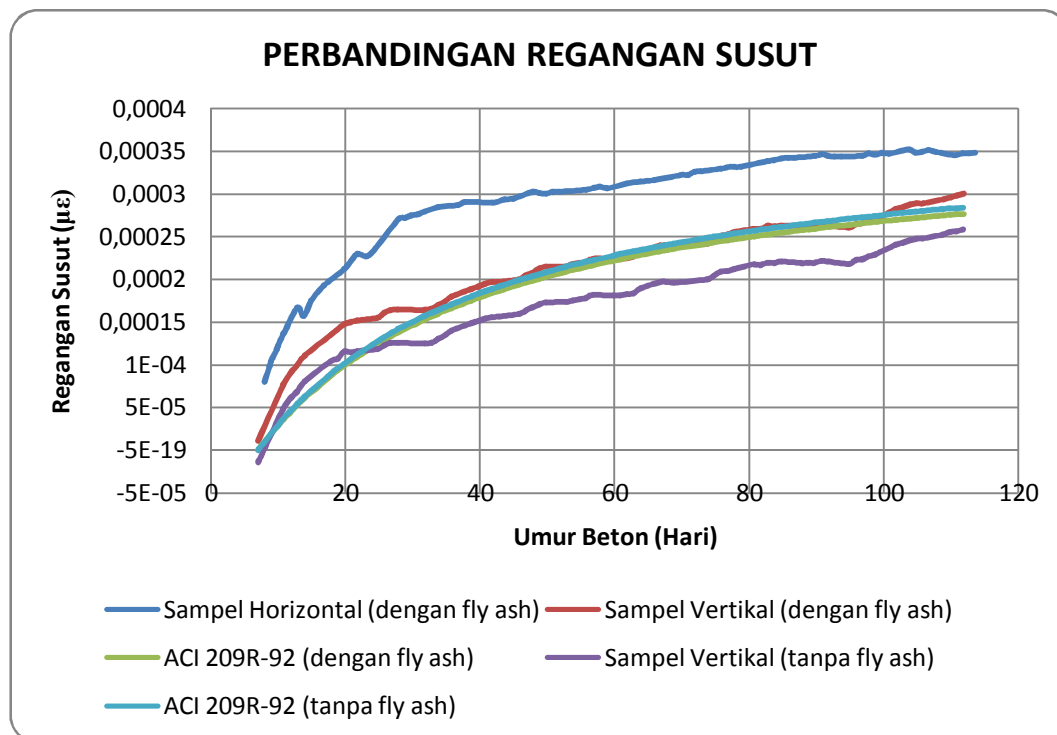
Selanjutnya nilai regangan susut berdasarkan ACI 209R-92 dibandingkan dengan regangan susut yang diamati pada penelitian ini. Perbandingannya dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 4.25 Perbandingan Regangan Susut dengan ACI 209R-92

Dari grafik di atas, regangan susut yang diamati selama kurang lebih 111 hari pada penelitian ini nilainya mendekati regangan susut berdasarkan ACI 209R-92 pada umur beton sekitar 30 sampai 90 hari. Sedangkan sebelum beton berumur 30 hari dan setelah beton berumur 90 hari, regangan susut pada penelitian ini lebih besar dari regangan susut yang mengacu pada ACI 209R-92. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh iklim yang berbeda pada saat penelitian.

Perbandingan regangan susut yang telah dibahas di atas secara keseluruhan dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 4.26 Perbandingan Regangan Susut

4.4 Analisis Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan modulus elastisitas beton. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan diameter 15 *cm* dan tinggi 30 *cm*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu pengujian dengan menggunakan alat PUNDIT*plus* MODEL PC1600 di Laboratorium Struktur dan Material FTUI, dan pengujian dengan pembebanan di Laboratorium Material Pusat Penelitian Pemukiman.

4.4.1 Pengujian dengan PUNDIT*plus* MODEL PC1600

Pengujian dengan menggunakan alat PUNDIT*plus* MODEL PC1600 dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material FTUI. Alat ini merupakan alat tes ultrasonic yang dapat digunakan untuk mencari modulus elastisitas beton. Alat ini terdiri dari satu buah monitor display dan dua buah *transducer* yaitu *transmitter* dan *receiver*. Monitor berfungsi menampilkan output. *Transmitter* berfungsi memancarkan gelombang ultrasonic, sedangkan *receiver* berfungsi menerima gelombang ultrasonic.

Prosedur pengujian modulus elastisitas menggunakan PUNDIT*plus* MODEL PC1600 sebagai berikut :

1. Menimbang benda uji silinder untuk mencari berat jenis masing-masing benda uji.
2. Mengoleskan gemuk pada kedua sisi lingkaran silinder benda uji.
3. Menyalakan alat PUNDIT*plus* MODEL PC1600.
4. Mengatur transit time menjadi nol terlebih dahulu dengan menempelkan kedua *transducer*.
5. Meletakkan *transmitter* dan *receiver* masing-masing ke kedua sisi lingkaran silinder benda uji yang telah diberikan gemuk.
6. Menekan kedua *transducer* yang diletakkan pada sisi lingkaran silinder benda uji dan mencatat output transit time dan velocity pada monitor.
7. Memilih menu elastic modulus pada main menu yang terdapat pada monitor, kemudian tentukan parameter-parameter yang harus dimasukkan yaitu :
 - a. *Path length*, yaitu jarak antara *transmitter* dan *receiver* yang dalam pengetesan ini adalah tinggi benda uji silinder yaitu 0,3 m
 - b. *Correction*, diambil sebesar 100%
 - c. *Density*, yaitu berat benda uji per satuan volume
 - d. *Poisson ratio*, yaitu 0,2 untuk beton
8. Mencatat nilai modulus elastisitas pada monitor

Hasil dari pengetesan modulus elastisitas dengan menggunakan PUNDIT*plus* MODEL PC1600 dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dengan PUNDIT $plus$ MODEL PC1600

Sampel	Massa (kg)	Volume (m ³)	Density (kg/m ³)	Transit Time (μ sec)	Velocity (m/s)	Modulus Elasticity (GN/m ²)	Average of Modulus Elasticity (GN/m ²)
1	12.702	0.0053	2395	69.2	4335	44.9	45.7
				68.5	4379	45.9	
				68.0	4411	46.5	
				68.8	4360	45.5	
2	12.559	0.0053	2368	67.6	4437	46.5	47.9
				65.2	4601	50.1	
				66.1	4538	48.7	
				67.9	4418	46.2	
3	12.808	0.0053	2415	69.3	4329	45.2	47.2
				67.9	4418	47.1	
				67.3	4457	47.9	
				66.8	4491	48.6	
						Average	46.9

Data di atas kemudian diperiksa kelayakannya berdasarkan ASTM E 178 – 02 dengan menggunakan kriteria Dixon.

Tabel 4.9 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	

^a $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$. (See Ref (1), Appendix.)

(Sumber : Standard Practice for Dealing With Outlying Observation, ASTM E178 – 02)

Pemeriksaan kelayakan data dilakukan pada masing-masing sampel dengan empat variasi data. Data-data yang diperoleh diurutkan dari

nilai terkecil sampai terbesar terlebih dahulu, lalu dilakukan pemeriksaan dengan mencurigai data terkecil dan data terbesar. Jika tidak memenuhi kriteria Dixon, data yang dicurigai tidak layak digunakan dan dapat dihilangkan.

Tabel 4.10 Pengecekan Kelayakan Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dengan PUNDITplus MODEL PC1600

Sampel	Modulus Elasticity (GN/m ²)	r ₁₀	
		Smallest suspected (x ₂ - x ₁)/(x _n - x ₁)	Largest suspected (x _n - x _{n-1})/(x _n - x ₁)
1	44.9	0.375	0.375
	45.5		
	45.9		
	46.5		
2	46.2	0.077	0.359
	46.5		
	48.7		
	50.1		
3	45.2	0.559	0.206
	47.1		
	47.9		
	48.6		

Dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa seluruh data memenuhi kriteria Dixon dan layak digunakan. Maka rata-rata modulus elastisitas yang diperoleh melalui pengetesan dengan alat PUNDITplus MODEL PC1600 adalah 46,9 GPa.

4.4.2 Pengujian dengan Pembebanan dan Pengukuran Regangan

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Material Pusat Pemukiman (Puskim) pada tanggal 9 Mei 2012 dengan menggunakan Mesin Tokyokaki, logger Tokyo Sokki Kenkyujo. Pengujian ini menggunakan benda uji yang sama dengan pengujian sebelumnya. Proses pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

1. Menimbang dan melapisi permukaan atas benda uji dengan belerang (*capping*).

2. Memasang alat *strain gage* di tengah benda uji silinder pada arah vertikal dan horizontal silinder dengan menggunakan lem yang kuat agar *strain gage* tidak terlepas saat pembacaan regangan.
3. Memasang kabel yang menghubungkan *strain gage* dengan alat pembaca output dengan menggunakan solder.
4. Meletakkan benda uji pada alat uji tekan dan memberikan pembebanan secara perlahan pada benda uji.
5. Membaca regangan yang terjadi setiap pembebanan sebesar 2 *ton-force* dengan menekan tombol *read* pada alat pembaca output hingga benda uji hancur.

Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh data beban serta regangan arah vertikal dan horizontal. Data-data tersebut diolah berdasarkan ASTM C 496 – 83, di mana modulus elastisitas dituliskan dalam persamaan berikut :

$$\text{Modulus Elastisitas} = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005}$$

Di mana :

S_2 = tegangan pada saat 40% beban maksimum

S_1 = tegangan pada saat $\varepsilon = 0.00002$

ε_2 = regangan pada saat S_2

Setelah dilakukan pengolahan data, diperoleh modulus elastisitas sebagai berikut :

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dengan Pembebanan dan Pengukuran Regangan

Sampel	ε_2 (m/m)	S_2 (MPa)	S_1 (MPa)	E (GPa)
1	0.000515	13.309	0.774	25.331
2	0.000277	21.520	9.327	47.413
3	0.000184	6.215	1.261	30.292
4	0.000382	20.582	9.488	30.627
5	0.000610	19.965	0.452	33.086

Dari kelima sampel yang diuji, hasil pengujian sampel pertama menunjukkan nilai yang sangat kecil dan jauh dari nilai modulus elastisitas berdasarkan literatur yaitu $4700\sqrt{f_c}$ sebesar 36,406 GPa. Oleh karena itu, hasil pengujian dari sampel pertama tidak digunakan. Selanjutnya untuk

perhitungan rata-rata modulus elastisitas hanya digunakan tiga data terbesar, yaitu data pada sampel 2, 4, dan 5. Ketiga hasil yang telah diperoleh terlebih dahulu diperiksa kelayakannya dengan menggunakan kriteria Dixon.

Tabel 4.12 Pengecekan Kelayakan Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas dengan Pembebanan dan Pengukuran Regangan

Sampel	Modulus Elasticity (GN/m ²)	r ₁₀	
		Smallest suspected	Largest suspected
		$(x_2 - x_1)/(x_n - x_1)$	$(x_n - x_{n-1})/(x_n - x_1)$
4	30.627	0.147	0.853
5	33.086		
2	47.413		

Berdasarkan kriteria Dixon (Tabel 4.7) dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa ketiga data dapat digunakan. Maka rata-rata modulus elastisitas yang diperoleh melalui pengetesan dengan menggunakan Mesin Tokyokaki, logger Tokyo Sokki Kenkyujo adalah 37,042 GPa.

4.5 Analisis Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 39/C 39M – 04a. Benda uji yang digunakan adalah silinder ukuran 10 cm x 20 cm. Benda uji dikeluarkan dari kolam *curing* kurang lebih 24 jam sebelum pengetesan agar benda uji sudah dalam keadaan kering pada saat pengetesan. Sebelum dilakukan pengetesan, permukaan bagian atas benda uji dilapisi dengan mortar belerang (*capping*) terlebih dahulu agar permukaan benda uji rata saat dibebani.

Pengetesan kuat tekan ini dilakukan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari dengan menggunakan lima benda uji pada masing-masing waktu pengetesan. Perhitungan kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Di mana :

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm²)

Berikut ini adalah hasil pengetesan kuat tekan benda uji :

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan

HARI KE -	LUAS (cm ²)	STRENGTH (kg)	KUAT TEKAN (kg/cm ²)	KUAT TEKAN (MPa)	RATA-RATA (MPa)
3	78.57	35500	451.82	45.18	35.51
3	78.57	27250	346.82	34.68	
3	78.57	27750	353.18	35.32	
3	78.57	26000	330.91	33.09	
3	78.57	23000	292.73	29.27	
7	78.57	41250	525.00	52.50	48.24
7	78.57	36500	464.55	46.45	
7	78.57	33250	423.18	42.32	
7	78.57	48500	617.27	61.73	
7	78.57	30000	381.82	38.18	
14	78.57	27500	350.00	35.00	40.66
14	78.57	35500	451.82	45.18	
14	78.57	40750	518.64	51.86	
14	78.57	27500	350.00	35.00	
14	78.57	28500	362.73	36.27	
28	78.57	48500	617.27	61.73	61.22
28	78.57	56250	715.91	71.59	
28	78.57	40000	509.09	50.91	
28	78.57	47250	601.36	60.14	
28	78.57	48500	617.27	61.73	

Rata-rata beton mencapai kekuatannya pada umur 28 hari. Sebelum mencapai 28 hari, kekuatan beton pun belum mencapai kekuatannya. Oleh karena itu, kekuatan tekan beton perlu dikonversi berdasarkan umur beton dengan faktor sebagai berikut :

Tabel 4.14 Konversi Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur

Umur Beton (hari)	Perbandingan Kuat Tekan
3	0.46
7	0.70
14	0.88
21	0.96
28	1.00

Selain itu, kuat tekan beton juga perlu dikonversi jika menggunakan cetakan yang tidak standar (diameter 15 cm, tinggi 30 cm). Untuk cetakan silinder dengan

diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, kuat tekan harus dikoreksi dengan faktor sebesar 1,04.

Tabel 4.15 Kuat Tekan Beton setelah Dikonversi

Hari Ke -	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)	Konversi 28 Hari	Konversi ke Silinder Besar
3	35.51	77.19	74.22
7	48.24	68.91	66.26
14	40.66	46.21	44.43
28	61.22	61.22	58.86
Rata-rata			60.94

Selanjutnya hasil kuat tekan beton diperiksa kelayakan datanya dengan menggunakan kriteria Dixon

Tabel 4.16 Pengecekan Kelayakan Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No.	Modulus Elasticity (GN/m ²)	r ₁₀	
		Smallest suspected	Largest suspected
		$(x_2 - x_1)/(x_n - x_1)$	$(x_n - x_{n-1})/(x_n - x_1)$
1	46.21	0.485	0.267
2	61.22		
3	68.91		
4	77.19		

Berdasarkan kriteria Dixon (Tabel 4.7) dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa seluruh data dapat digunakan. Maka rata-rata kuat tekan adalah 60,94 MPa.

Kuat tekan rata-rata pada beton berumur 14 hari paling kecil dibandingkan dengan beton pada umur 3, 7, dan 28 hari. Hal ini dikarenakan *capping* pada beton tidak tegak lurus permukaan, sehingga luas permukaan yang ditekan tidak merata dan menyebabkan beban yang berkerja pada beton hingga beton hancur tidak mencapai beban rencananya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai susut beton berkinerja tinggi dengan menggunakan *fly ash* pada arah vertikal dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Susut beton pada sampel vertikal lebih kecil dibandingkan dengan susut beton pada sampel horizontal, yaitu sebesar 86% dari susut beton pada sampel horizontal.
2. Proses awal pembentukan beton atau pengerasan beton mempengaruhi laju perubahan susut yang terjadi pada sampel vertikal dan sampel horizontal pada proses selanjutnya.
3. Susut pada permukaan beton lebih besar daripada susut di dalam beton.
4. Berat sendiri beton tidak menambah susut yang terjadi pada beton
5. Penggunaan *fly ash* pada penelitian ini tidak berpengaruh terhadap susut yang terjadi pada beton.
6. Regangan susut pada sampel beton horizontal mendekati nilai regangan susut berdasarkan ACI 209R-92

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk penyempurnaan penelitian ini dan penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian susut yang lebih lama agar perilaku susut dapat diketahui secara lebih lanjut hingga penambahan regangan susut mendekati nol.
2. Perlu dilakukan pengujian *fly ash* terlebih dahulu sebelum dilakukan pencampuran beton agar dapat dipastikan *fly ash* dapat bekerja sesuai dengan fungsinya secara optimal.
3. Bekisting sampel silinder untuk pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas harus dipastikan berada di tempat yang datar pada saat

memasukkan campuran beton agar permukaan beton datar dan tidak mempengaruhi kekuatan tekan beton.

4. *Capping* beton harus tegak lurus terhadap permukaan (rata) agar pengetesan menghasilkan kuat tekan yang akurat.

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 Departemen 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 *Viscocrete* 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 Jurnal 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 ABSORBSI AGREGAT KASAR

ASTM C 127- 88

Ukuran :
Sumber : Pecahan batu gunung di Banten, Jawa Barat
Tanggal tes : Februari 2012

Analisa <i>Specific Gravity</i> dan Absorpsi dari Agregat Kasar		
A) Berat Benda Uji <i>Oven Dry</i> di Udara	(gram)	4801
B) Berat Benda Uji SSD di Udara	(gram)	5000
C) Berat Benda Uji SSD di Air	(gram)	3032
<i>Bulk Specific Gravity</i>		2.440
<i>SSD Specific Gravity</i>		2.541
<i>Apparent Specific Gravity</i>		2.714
Absorpsi	(%)	4.145

Mengetahui,

Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA.



LAMPIRAN A-2

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN ABSORBSI AGREGAT HALUS

ASTM C 127- 88

Ukuran :
Sumber : Pasir Bangka
Tanggal tes : Februari 2012

Analisa <i>Specific Gravity</i> dan Absorpsi dari Agregat Halus	Sampel 1	Sampel 2
A) Berat Benda Uji <i>Oven Dry</i> (gram)	498	499
B) Berat Piknometer + Air (gram)	671	673
C) Berat Benda Uji + Piknometer + Air Sesuai Kapasitas Kalibrasi (gram)	979	980
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2.594	2.585
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity</i>	2.590	
<i>SSD Specific Gravity</i>	2.604	2.591
Rata-rata <i>SSD Specific Gravity</i>	2.597	
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2.621	2.599
Rata-rata <i>Apparent Specific Gravity</i>	2.610	
Absorpsi (%)	0.402	0.200
Rata-rata Absorpsi (%)	0.301	

Mengetahui,

Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA.



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

LAMPIRAN A-3 PENGUJIAN BERAT ISI DAN RONGGA UDARA AGREGAT KASAR ASTM C 29/29M – 97

Ukuran :
Sumber : Pecahan batu gunung di Banten, Jawa Barat
Tanggal tes : Februari 2012

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar		Lepas	Penusukan	Penggoyangan
a) Berat Wadah	(kg)	5.089		
b) Berat Wadah + Air	(kg)	14.361		
c) Berat Wadah + Benda Uji	(kg)	17.303	18.422	18.261
d) Berat Benda Uji	(kg)	12.214	13.333	13.172
e) Volume Wadah	(kg/liter)	9.272	9.272	9.272
f) Berat Isi Benda Uji	(kg/liter)	1.317	1.438	1.421
B) Rata-rata	(kg/liter)	1.392		
A) <i>Bulk Specific Gravity</i> Benda Uji		2.541		
W) Berat Isi Air	(kg/liter)	1	1	1
Rongga Udara	(%)	48.150	43.400	44.083
Rata-rata	(%)	45.211		
d = c - a e = b - a f = d/e		Rongga Udara = $\frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$		

Mengetahui,

Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA.



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

LAMPIRAN A-4

PENGUJIAN BERAT ISI DAN RONGGA UDARA AGREGAT HALUS

ASTM C 29/29M – 97

Ukuran :
Sumber : Pasir Bangka
Tanggal tes : Februari 2012

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus		Lepas	Penusukan	Penggoyangan
a)	Berat Wadah (kg)	1.055		
b)	Berat Wadah + Air (kg)	3.055		
c)	Berat Wadah + Benda Uji (kg)	3.942	4.193	4.264
d)	Berat Benda Uji (kg)	2.887	3.138	3.209
e)	Volume Wadah (liter)	2	2	2
f)	Berat Isi Benda Uji (kg/liter)	1.444	1.569	1.605
B)	Rata-rata (kg/liter)	1.539		
A)	<i>Bulk Specific Gravity</i> Benda Uji	2.597		
W)	Berat Isi Air (kg/liter)	1	1	1
	Rongga Udara (%)	44.417	39.584	38.217
	Rata-rata (%)	40.739		
	$d = c - a$ $e = b - a$ $f = d/e$	Rongga Udara = $\frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$		

Mengetahui,

Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA.



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

LAMPIRAN B HASIL UJI SUSUT BETON

No	Hari	Tanggal	Pukul	Umur Beton (Hari)	Suhu Udara (°C)	RH (%)	Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3	
							Regangan	Suhu	Regangan	Suhu	Regangan	Suhu
							($\mu\epsilon$)	(°C)	($\mu\epsilon$)	(°C)	($\mu\epsilon$)	(°C)
1	Kamis	8-Mar-2012	15:40	0.00	27.7	70	2766.7	24.8	2913.6	24.7	2920.1	25.2
2	Kamis	8-Mar-2012	16:30	0.03	28.0	70	2771.8	25.4	2932.7	28.6	2924.1	27.1
3	Kamis	8-Mar-2012	16:45	0.05	28.0	68	2768.7	26.6	2948.2	37.4	2919.3	28.3
4	Kamis	8-Mar-2012	17:00	0.06	28.0	68	2768.5	32.7	2922.8	30.1	2917.8	27.2
5	Kamis	8-Mar-2012	17:15	0.07	28.8	68	2768.7	47.3	2922.7	27.1	2914.8	28.7
6	Kamis	8-Mar-2012	17:30	0.08	28.0	68	2768.7	48.1	2923.2	27.5	2914.2	41.0
7	Kamis	8-Mar-2012	17:45	0.09	28.0	68	2768.7	40.3	2923.4	27.6	2913.8	28.7
8	Kamis	8-Mar-2012	18:00	0.10	28.0	68	2768.6	45.2	2923.5	24.8	2913.8	29.0
9	Kamis	8-Mar-2012	18:15	0.11	28.0	68	2768.5	48.9	2923.5	32.6	2913.9	27.8
10	Kamis	8-Mar-2012	18:30	0.12	28.0	68	2768.5	28.5	2923.5	28.4	2913.9	35.5
11	Kamis	8-Mar-2012	18:45	0.13	28.0	68	2768.4	28.2	2923.7	23.5	2914.0	27.4
12	Kamis	8-Mar-2012	19:00	0.14	28.0	67	2768.4	33.6	2923.6	26.8	2914.1	26.7
13	Kamis	8-Mar-2012	19:15	0.15	28.0	67	2768.3	28.5	2923.6	26.6	2914.1	24.9
14	Kamis	8-Mar-2012	19:30	0.16	28.0	66	2768.3	28.5	2923.8	28.1	2914.1	26.0
15	Kamis	8-Mar-2012	19:45	0.17	28.0	66	2768.5	28.5	2923.9	27.8	2914.2	26.5
16	Kamis	8-Mar-2012	20:00	0.18	28.0	64	2768.5	49.3	2924.1	21.7	2914.4	27.0
17	Kamis	8-Mar-2012	20:15	0.19	28.0	64	2768.6	27.6	2924.5	28.7	2914.4	26.0

C-1



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

18	Kamis	8-Mar-2012	20:30	0.20	28.0	64	2768.6	28.7	2924.3	33.3	2914.4	25.2
19	Kamis	8-Mar-2012	20:45	0.21	28.0	64	2768.7	39.8	2924.6	37.4	2914.5	28.6
20	Kamis	8-Mar-2012	21:00	0.22	28.0	63	2768.8	28.7	2924.8	28.6	2914.7	28.2
21	Kamis	8-Mar-2012	21:15	0.23	28.0	62	2769.0	27.2	2925.1	27.9	2914.9	28.7
22	Kamis	8-Mar-2012	21:30	0.24	28.0	62	2769.0	28.7	2925.4	28.7	2915.0	28.7
23	Kamis	8-Mar-2012	21:45	0.25	28.0	61	2768.7	29.4	2925.5	28.2	2915.0	27.9
24	Kamis	8-Mar-2012	22:00	0.26	28.0	61	2768.7	29.5	2925.5	28.2	2915.0	27.9
25	Kamis	8-Mar-2012	22:15	0.27	28.0	61	2768.1	26.3	2925.4	28.7	2914.9	26.0
26	Kamis	8-Mar-2012	22:30	0.28	28.0	61	2767.6	26.1	2925.2	25.9	2914.8	29.6
27	Kamis	8-Mar-2012	22:45	0.30	28.0	61	2767.2	30.6	2925.0	29.9	2914.7	29.7
28	Kamis	8-Mar-2012	23:00	0.31	28.0	61	2766.7	30.4	2924.6	30.2	2914.4	29.8
29	Kamis	8-Mar-2012	23:15	0.32	28.0	61	2765.8	31.4	2924.0	29.3	2913.9	30.0
30	Kamis	8-Mar-2012	23:30	0.33	28.0	62	2764.9	31.7	2923.3	30.9	2913.4	29.1
31	Kamis	8-Mar-2012	23:45	0.34	28.0	62	2763.8	29.1	2922.5	31.0	2912.8	30.5
32	Jumat	9-Mar-2012	0:00	0.35	28.0	62	2762.4	31.8	2921.7	31.7	2912.1	30.4
33	Jumat	9-Mar-2012	0:15	0.36	28.1	62	2759.0	33.7	2919.7	32.3	2910.3	31.2
34	Jumat	9-Mar-2012	0:30	0.37	28.1	63	2755.1	34.1	2917.6	32.9	2910.1	31.2
35	Jumat	9-Mar-2012	0:45	0.38	28.1	63	2753.8	30.9	2917.2	30.1	2910.1	32.4
36	Jumat	9-Mar-2012	1:00	0.39	28.1	63	2752.9	36.6	2914.7	34.9	2904.9	32.3
37	Jumat	9-Mar-2012	1:15	0.40	28.1	63	2751.6	35.9	2912.6	32.0	2902.9	34.2
38	Jumat	9-Mar-2012	1:30	0.41	28.1	64	2750.3	32.7	2911.1	35.6	2902.4	36.1
39	Jumat	9-Mar-2012	1:45	0.42	28.1	64	2750.2	32.7	2911.1	35.6	2901.5	34.8
40	Jumat	9-Mar-2012	2:00	0.43	28.0	64	2749.5	37.0	2910.0	35.2	2900.6	35.6
41	Jumat	9-Mar-2012	2:15	0.44	28.0	64	2749.4	37.2	2910.0	35.2	2900.6	36.4
42	Jumat	9-Mar-2012	2:30	0.45	28.0	65	2749.6	33.2	2909.6	33.0	2900.4	35.3



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

43	Jumat	9-Mar-2012	2:45	0.46	28.0	65	2750.2	31.4	2909.9	32.5	2900.6	35.5
44	Jumat	9-Mar-2012	3:00	0.47	28.0	65	2750.2	31.4	2909.8	36.0	2900.6	35.4
45	Jumat	9-Mar-2012	3:15	0.48	28.0	64	2750.9	32.4	2910.4	31.7	2901.3	35.6
46	Jumat	9-Mar-2012	3:30	0.49	28.0	64	2750.9	31.9	2910.4	31.7	2901.3	35.6
47	Jumat	9-Mar-2012	3:45	0.50	28.0	64	2751.1	32.5	2910.7	31.0	2901.6	35.0
48	Jumat	9-Mar-2012	4:00	0.51	28.0	63	2751.4	33.0	2911.0	31.3	2901.5	34.5
49	Jumat	9-Mar-2012	4:15	0.52	28.0	63	2752.2	33.6	2911.8	30.8	2902.7	35.2
50	Jumat	9-Mar-2012	4:30	0.53	28.0	63	2752.4	32.4	2912.2	31.5	2902.9	34.9
51	Jumat	9-Mar-2012	4:45	0.55	28.0	63	2753.1	31.3	2913.0	32.4	2903.5	33.0
52	Jumat	9-Mar-2012	5:00	0.56	28.0	63	2753.9	32.8	2914.2	33.0	2904.7	31.5
53	Jumat	9-Mar-2012	5:15	0.57	27.9	64	2754.4	32.0	2914.8	34.2	2905.2	29.7
54	Jumat	9-Mar-2012	5:30	0.58	27.9	64	2754.9	31.4	2915.3	30.7	2905.7	34.2
55	Jumat	9-Mar-2012	5:45	0.59	27.9	64	2755.2	34.1	2915.7	34.0	2906.0	33.7
56	Jumat	9-Mar-2012	6:00	0.60	27.9	64	2755.6	34.1	2916.2	34.1	2906.2	33.5
57	Jumat	9-Mar-2012	6:15	0.61	27.9	64	2755.9	31.0	2916.7	31.8	2907.0	27.1
58	Jumat	9-Mar-2012	6:30	0.62	27.9	65	2756.8	33.1	2917.8	32.8	2907.9	31.1
59	Jumat	9-Mar-2012	6:45	0.63	27.9	65	2757.2	33.3	2918.2	33.5	2908.2	29.7
60	Jumat	9-Mar-2012	7:00	0.64	27.9	64	2757.5	31.8	2918.6	32.8	2908.6	29.6
61	Jumat	9-Mar-2012	7:15	0.65	27.9	64	2757.8	27.2	2919.0	31.2	2909.1	31.5
62	Jumat	9-Mar-2012	7:30	0.66	27.9	64	2758.4	32.0	2919.7	32.6	2909.4	29.5
63	Jumat	9-Mar-2012	7:45	0.67	27.9	64	2759.0	27.7	2920.5	29.5	2910.2	30.9
64	Jumat	9-Mar-2012	8:00	0.68	28.0	63	2759.8	32.2	2921.4	27.6	2910.9	30.9
65	Jumat	9-Mar-2012	8:15	0.69	28.0	64	2760.1	31.9	2921.8	28.3	2911.3	31.5
66	Jumat	9-Mar-2012	8:30	0.70	28.0	64	2760.5	31.2	2922.0	32.1	2911.6	28.0
67	Jumat	9-Mar-2012	8:45	0.71	28.1	65	2760.6	30.2	2922.4	28.4	2911.9	28.2



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

68	Jumat	9-Mar-2012	9:00	0.72	28.1	66	2760.7	25.7	2922.6	30.8	2912.0	29.5
69	Jumat	9-Mar-2012	9:15	0.73	28.1	66	2760.8	27.2	2922.7	32.2	2912.1	30.6
70	Jumat	9-Mar-2012	9:30	0.74	28.1	66	2761.1	30.5	2923.2	30.3	2912.6	25.7
71	Jumat	9-Mar-2012	9:45	0.75	28.1	66	2761.3	30.0	2923.3	29.6	2912.8	29.0
72	Jumat	9-Mar-2012	10:00	0.76	28.1	66	2761.4	29.7	2923.5	27.3	2913.0	29.5
73	Jumat	9-Mar-2012	10:15	0.77	28.1	66	2761.6	28.2	2923.8	29.0	2913.2	30.4
74	Jumat	9-Mar-2012	10:30	0.78	28.2	67	2761.7	31.1	2924.0	26.4	2914.1	31.5
75	Jumat	9-Mar-2012	10:45	0.80	28.2	67	2761.8	31.7	2924.3	30.6	2914.7	28.9
76	Jumat	9-Mar-2012	11:00	0.81	28.3	66	2761.9	30.8	2924.5	28.8	2913.8	30.9
77	Jumat	9-Mar-2012	11:15	0.82	28.3	66	2762.1	30.6	2924.7	29.5	2914.0	27.5
78	Jumat	9-Mar-2012	11:30	0.83	28.3	66	2762.1	28.8	2924.9	29.7	2914.1	31.2
79	Jumat	9-Mar-2012	11:45	0.84	28.4	66	2762.3	30.0	2925.0	31.1	2914.1	31.4
80	Jumat	9-Mar-2012	12:00	0.85	28.4	65	2762.3	31.1	2925.1	30.4	2914.2	29.6
81	Jumat	9-Mar-2012	12:15	0.86	28.4	65	2762.3	31.2	2925.1	31.4	2914.3	26.6
82	Jumat	9-Mar-2012	12:30	0.87	28.5	64	2762.3	30.8	2925.2	31.0	2914.3	31.4
83	Jumat	9-Mar-2012	12:45	0.88	28.5	63	2762.4	30.9	2925.4	27.5	2914.4	28.2
84	Jumat	9-Mar-2012	13:00	0.89	28.5	64	2762.5	30.4	2925.6	31.4	2914.6	31.0
85	Jumat	9-Mar-2012	13:15	0.90	28.5	64	2762.5	30.5	2925.6	29.9	2914.6	30.2
86	Jumat	9-Mar-2012	13:30	0.91	28.6	65	2762.5	28.4	2925.7	29.0	2914.8	29.4
87	Jumat	9-Mar-2012	13:45	0.92	28.6	65	2762.6	29.9	2925.8	30.7	2914.7	30.5
88	Jumat	9-Mar-2012	14:00	0.93	28.6	64	2762.6	28.2	2925.8	30.0	2914.8	30.7
89	Jumat	9-Mar-2012	14:15	0.94	28.6	64	2762.6	30.6	2925.9	30.7	2914.8	28.3
90	Jumat	9-Mar-2012	14:30	0.95	28.7	64	2762.6	28.2	2926.0	31.1	2914.7	29.7
91	Jumat	9-Mar-2012	14:45	0.96	28.6	68	2761.4	27.6	2924.8	30.1	2913.7	27.3
92	Jumat	9-Mar-2012	15:00	0.97	28.3	70	2761.2	30.5	2924.9	27.2	2913.7	30.9



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

93	Jumat	9-Mar-2012	15:15	0.98	28.3	71	2760.5	30.6	2924.3	30.0	2913.1	30.5
94	Jumat	9-Mar-2012	15:30	0.99	28.1	74	2750.0	30.1	2923.8	30.7	2913.0	30.6
95	Jumat	9-Mar-2012	15:45	1.00	28.6	73	2746.3	29.0	2917.2	30.1	2910.0	30.1
96	Jumat	9-Mar-2012	16:00	1.01	27.1	77	2746.9	29.4	2918.8	29.3	2902.4	29.5
97	Jumat	9-Mar-2012	16:15	1.02	26.9	80	2749.6	27.8	2920.6	29.4	2901.9	29.7
98	Jumat	9-Mar-2012	16:30	1.03	26.6	81	2749.4	28.5	2921.9	28.0	2902.5	29.2
99	Jumat	9-Mar-2012	17:30	1.08	26.6	84	2753.4	26.6	2930.8	26.6	2909.2	27.0
100	Jumat	9-Mar-2012	18:30	1.12	25.3	86	2756.1	26.3	2935.5	26.0	2915.9	26.0
101	Jumat	9-Mar-2012	19:30	1.16	25.2	87	2758.8	29.9	2938.5	25.5	2918.6	25.5
102	Jumat	9-Mar-2012	20:30	1.20	25.1	88	2761.6	24.6	2941.3	24.9	2920.7	25.0
103	Jumat	9-Mar-2012	21:30	1.24	25.1	89	2762.9	25.1	2942.2	24.7	2921.4	25.0
104	Jumat	9-Mar-2012	22:30	1.28	25.0	90	2763.2	23.8	2942.4	25.0	2921.5	24.8
105	Jumat	9-Mar-2012	23:30	1.33	25.0	90	2763.8	21.0	2942.8	20.2	2921.7	24.3
106	Sabtu	10-Mar-2012	0:30	1.37	24.9	92	2764.6	19.8	2943.8	19.1	2922.7	24.5
107	Sabtu	10-Mar-2012	1:30	1.41	24.8	93	2765.3	24.4	2944.1	24.5	2922.9	24.7
108	Sabtu	10-Mar-2012	2:30	1.45	24.8	93	2765.8	23.5	2944.6	24.6	2922.5	24.5
109	Sabtu	10-Mar-2012	3:30	1.49	24.7	94	2766.1	24.7	2944.9	24.8	2922.1	24.7
110	Sabtu	10-Mar-2012	4:30	1.53	24.3	94	2766.1	24.8	2945.0	24.8	2921.9	24.7
111	Sabtu	10-Mar-2012	5:30	1.58	24.2	94	2766.2	24.9	2945.1	24.5	2921.8	24.7
112	Sabtu	10-Mar-2012	6:30	1.62	24.6	95	2766.3	24.9	2942.2	23.6	2921.8	24.3
113	Sabtu	10-Mar-2012	7:30	1.66	25.0	95	2766.9	25.0	2945.6	24.7	2921.9	24.5
114	Sabtu	10-Mar-2012	8:30	1.70	25.3	95	2766.4	26.7	2944.9	24.7	2921.4	22.6
115	Sabtu	10-Mar-2012	9:30	1.74	25.8	92	2766.5	24.8	2943.3	23.3	2920.4	25.3
116	Sabtu	10-Mar-2012	10:30	1.78	25.8	92	2763.7	25.3	2941.7	25.5	2918.4	25.1
117	Sabtu	10-Mar-2012	11:30	1.83	25.6	94	2763.2	25.7	2941.5	25.4	2918.2	25.6



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

118	Sabtu	10-Mar-2012	12:30	1.87	25.4	94	2762.7	25.7	2940.9	25.5	2917.4	25.2
119	Sabtu	10-Mar-2012	13:30	1.91	25.6	94	2763.4	25.6	2942.0	25.5	2918.2	25.1
120	Sabtu	10-Mar-2012	14:30	1.95	26.4	90	2762.6	25.7	2941.3	25.9	2917.7	25.7
121	Sabtu	10-Mar-2012	15:30	1.99	26.7	85	2762.2	25.5	2939.0	26.2	2918.0	25.9
122	Sabtu	10-Mar-2012	16:30	2.03	26.6	83	2753.2	25.4	2940.0	25.9	2907.1	25.6
123	Sabtu	10-Mar-2012	17:30	2.08	26.3	83	2758.9	25.5	2937.5	25.4	2913.8	25.3
124	Sabtu	10-Mar-2012	18:30	2.12	26.1	82	2758.5	25.5	2937.4	25.9	2913.2	25.5
125	Sabtu	10-Mar-2012	19:30	2.16	26.0	82	2758.4	25.5	2937.5	25.9	2913.3	25.6
126	Sabtu	10-Mar-2012	20:30	2.20	25.8	81	2758.2	25.5	2937.5	25.0	2913.1	24.2
127	Sabtu	10-Mar-2012	21:30	2.24	25.7	81	2758.4	25.2	2938.1	24.9	2913.8	24.5
128	Sabtu	10-Mar-2012	22:30	2.28	26.5	82	2758.8	24.6	2938.8	25.4	2914.1	24.8
129	Sabtu	10-Mar-2012	23:30	2.33	25.5	81	2758.3	25.6	2938.8	25.0	2914.2	24.5
130	Minggu	11-Mar-2012	0:30	2.37	25.5	81	2758.9	25.5	2939.4	25.1	2914.3	24.6
131	Minggu	11-Mar-2012	1:30	2.41	25.4	82	2758.0	25.1	2938.9	25.1	2914.3	24.7
132	Minggu	11-Mar-2012	2:30	2.45	25.2	83	2758.8	25.1	2939.5	25.0	2914.6	24.5
133	Minggu	11-Mar-2012	3:30	2.49	24.9	87	2759.4	25.2	2940.1	24.7	2915.0	24.2
134	Minggu	11-Mar-2012	4:30	2.53	24.8	87	2759.5	25.0	2940.7	24.3	2915.1	24.2
135	Minggu	11-Mar-2012	5:30	2.58	24.7	88	2759.6	24.9	2940.8	24.5	2915.2	24.1
136	Minggu	11-Mar-2012	6:30	2.62	24.7	87	2759.0	25.0	2940.9	24.3	2915.4	24.0
137	Minggu	11-Mar-2012	7:30	2.66	24.7	86	2760.2	24.5	2941.8	24.3	2915.5	23.0
138	Minggu	11-Mar-2012	8:30	2.70	25.0	84	2760.3	24.3	2941.9	23.7	2915.7	24.0
139	Minggu	11-Mar-2012	9:30	2.74	25.9	83	2760.3	22.9	2942.0	24.2	2915.8	24.6
140	Minggu	11-Mar-2012	10:30	2.78	26.5	81	2760.0	25.5	2940.9	24.0	2914.7	24.7
141	Minggu	11-Mar-2012	11:30	2.83	26.8	80	2758.4	25.5	2939.2	24.3	2912.8	24.3
142	Minggu	11-Mar-2012	12:30	2.87	27.3	76	2757.2	24.5	2938.0	24.5	2910.9	24.7



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

143	Minggu	11-Mar-2012	13:30	2.91	27.7	74	2756.5	25.4	2937.0	24.9	2909.5	24.0
144	Minggu	11-Mar-2012	14:30	2.95	28.0	70	2755.6	25.6	2935.9	24.6	2908.3	25.8
145	Minggu	11-Mar-2012	15:30	2.99	26.7	75	2753.9	25.4	2934.2	25.2	2907.0	25.5
146	Minggu	11-Mar-2012	17:30	3.08	26.8	72	2755.1	24.2	2935.8	24.8	2899.5	25.6
147	Minggu	11-Mar-2012	19:30	3.16	26.3	75	2754.4	24.6	2935.5	24.4	2908.0	24.9
148	Minggu	11-Mar-2012	21:30	3.24	26.1	77	2754.3	24.7	2936.0	24.6	2908.5	24.1
149	Minggu	11-Mar-2012	23:30	3.33	25.7	81	2753.7	24.5	2935.4	24.4	2907.9	24.8
150	Senin	12-Mar-2012	1:30	3.41	25.4	80	2754.5	24.8	2936.6	24.4	2908.3	22.0
151	Senin	12-Mar-2012	3:30	3.49	25.3	81	2754.6	23.9	2937.2	23.0	2908.0	22.5
152	Senin	12-Mar-2012	5:30	3.58	25.0	85	2754.8	23.0	2937.1	22.2	2909.1	23.0
153	Senin	12-Mar-2012	7:30	3.66	26.1	80	2756.6	23.3	2938.0	24.8	2910.7	24.1
154	Senin	12-Mar-2012	9:30	3.74	27.5	75	2754.4	24.0	2935.0	24.9	2908.5	24.0
155	Senin	12-Mar-2012	11:30	3.83	28.7	70	2753.5	25.4	2934.4	24.7	2906.9	23.9
156	Senin	12-Mar-2012	13:30	3.91	29.1	67	2752.2	25.8	2933.8	25.6	2905.4	26.2
157	Senin	12-Mar-2012	15:30	3.99	28.4	69	2751.3	24.6	2932.7	25.4	2904.2	24.3
158	Senin	12-Mar-2012	17:30	4.08	28.4	68	2751.2	22.9	2932.6	22.6	2903.8	24.4
159	Senin	12-Mar-2012	19:30	4.16	28.0	70	2750.0	25.0	2931.5	25.2	2902.8	25.0
160	Senin	12-Mar-2012	21:30	4.24	26.7	81	2749.6	26.5	2932.1	26.2	2902.7	25.5
161	Senin	12-Mar-2012	23:30	4.33	26.3	82	2749.8	26.1	2932.8	25.5	2902.6	25.7
162	Selasa	13-Mar-2012	1:30	4.41	25.9	81	2751.6	25.3	2935.1	25.0	2903.9	25.0
163	Selasa	13-Mar-2012	3:30	4.49	26.0	81	2751.9	25.5	2935.7	25.0	2904.3	24.8
164	Selasa	13-Mar-2012	5:30	4.58	25.6	79	2751.9	25.7	2938.5	25.3	2903.7	25.1
165	Selasa	13-Mar-2012	7:30	4.66	25.9	80	2752.1	25.8	2937.8	25.4	2904.1	25.0
166	Selasa	13-Mar-2012	9:30	4.74	26.7	75	2752.4	25.9	2936.9	25.6	2903.0	25.4
167	Selasa	13-Mar-2012	11:30	4.83	27.5	72	2752.7	26.0	2936.8	25.7	2904.9	25.5



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

168	Selasa	13-Mar-2012	13:30	4.91	27.8	70	2750.0	26.2	2933.6	25.9	2901.7	25.5
169	Selasa	13-Mar-2012	15:30	4.99	26.2	88	2750.9	26.2	2934.5	25.9	2902.7	25.6
170	Selasa	13-Mar-2012	17:30	5.08	26.0	85	2751.5	26.0	2935.0	25.7	2903.1	25.3
171	Selasa	13-Mar-2012	19:30	5.16	26.8	80	2750.0	26.3	2933.7	25.9	2902.5	25.4
172	Selasa	13-Mar-2012	21:30	5.24	27.2	72	2749.8	25.7	2933.8	25.5	2902.1	25.1
173	Selasa	13-Mar-2012	23:30	5.33	25.8	84	2750.3	25.6	2934.6	25.3	2903.0	24.9
174	Rabu	14-Mar-2012	1:30	5.41	25.6	86	2750.4	25.5	2934.6	25.3	2903.3	24.9
175	Rabu	14-Mar-2012	3:30	5.49	25.2	86	2750.4	25.1	2934.8	24.9	2903.0	24.4
176	Rabu	14-Mar-2012	5:30	5.58	25.1	86	2750.8	25.1	2935.4	24.7	2903.7	24.3
177	Rabu	14-Mar-2012	7:30	5.66	24.7	85	2751.7	24.6	2936.6	24.3	2904.2	23.9
178	Rabu	14-Mar-2012	9:30	5.74	26.1	81	2753.4	25.1	2938.5	24.8	2906.6	24.2
179	Rabu	14-Mar-2012	11:30	5.83	28.8	66	2750.8	26.2	2935.5	25.9	2904.0	25.6
180	Rabu	14-Mar-2012	13:30	5.91	29.3	59	2749.8	26.2	2934.3	26.0	2902.1	25.8
181	Rabu	14-Mar-2012	15:30	5.99	29.5	49	2747.6	26.0	2932.4	25.6	2898.5	25.5
182	Rabu	14-Mar-2012	17:30	6.08	28.4	58	2748.9	25.9	2933.5	25.5	2900.4	25.2
183	Rabu	14-Mar-2012	19:30	6.16	27.0	63	2748.5	25.7	2932.2	25.6	2898.4	25.1
184	Rabu	14-Mar-2012	21:30	6.24	26.5	70	2748.6	25.6	2932.8	25.5	2898.8	25.0
185	Rabu	14-Mar-2012	23:30	6.33	25.8	76	2748.4	23.0	2932.7	25.3	2899.1	24.8
186	Kamis	15-Mar-2012	1:30	6.41	26.1	75	2749.8	23.3	2933.4	25.2	2899.9	24.7
187	Kamis	15-Mar-2012	3:30	6.49	26.1	75	2749.2	25.3	2933.3	25.3	2900.1	24.9
188	Kamis	15-Mar-2012	5:30	6.58	25.5	79	2748.9	25.1	2933.0	25.2	2899.4	24.8
189	Kamis	15-Mar-2012	7:30	6.66	27.2	71	2750.2	25.0	2934.6	25.1	2901.0	24.6
190	Kamis	15-Mar-2012	9:30	6.74	27.5	72	2749.0	25.5	2932.8	26.0	2900.0	25.6
191	Kamis	15-Mar-2012	11:30	6.83	28.7	65	2748.3	26.2	2932.3	26.1	2889.1	25.9
192	Kamis	15-Mar-2012	13:30	6.91	29.3	62	2747.1	26.3	2931.3	26.4	2897.6	26.2



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

193	Kamis	15-Mar-2012	15:30	6.99	29.3	62	2746.6	26.5	2930.7	26.3	2896.1	26.3
194	Kamis	15-Mar-2012	17:30	7.08	28.6	64	2746.6	26.4	2930.5	26.4	2896.0	26.0
195	Senin	19-Mar-2012	9:45	10.75	28.2	74	2676.6	27.5	2865.4	27.4	2826.4	27.6
196	Selasa	20-Mar-2012	9:56	11.76	27.9	70	2663.4	27.8	2852.1	27.7	2812.8	27.9
197	Rabu	21-Mar-2012	10:06	12.77	28.3	69	2655.2	28.1	2843.8	28.0	2803.9	28.1
198	Kamis	22-Mar-2012	14:15	13.94	29.2	67	2643.7	28.8	2832.0	28.6	2791.6	28.8
199	Senin	26-Mar-2012	9:46	17.75	29.4	68	2619.1	29.4	2804.9	29.4	2764.2	29.5
200	Selasa	27-Mar-2012	9:50	18.76	29.3	69	2615.1	29.6	2798.9	29.5	2759.9	26.6
201	Rabu	28-Mar-2012	9:33	19.74	28.4	69	2609.1	29.4	2791.8	29.3	2753.0	29.4
202	Kamis	29-Mar-2012	9:52	20.76	28.9	70	2606.5	29.2	2788.4	29.2	2750.3	29.4
203	Jumat	30-Mar-2012	10:04	21.77	28.9	74	2605.0	29.2	2786.1	29.2	2748.2	29.2
204	Senin	2-Apr-2012	9:20	24.73	28.4	75	2600.3	28.7	2781.3	29.0	2742.7	29.0
205	Selasa	3-Apr-2012	9:32	25.74	27.9	75	2595.7	28.1	2773.9	28.0	2737.1	28.2
206	Rabu	4-Apr-2012	9:35	26.75	27.8	71	2592.9	27.9	2770.4	27.9	2733.9	28.0
207	Kamis	5-Apr-2012	9:52	27.76	27.6	71	2590.5	27.8	2767.4	27.8	2731.3	28.0
208	Senin	9-Apr-2012	9:48	31.75	26.6	78	2592.0	26.9	2767.0	26.8	2732.8	26.8
209	Selasa	10-Apr-2012	10:04	32.77	26.8	82	2591.4	27.3	2765.8	27.1	2731.2	27.2
210	Rabu	11-Apr-2012	9:33	33.74	27.3	74	2587.4	27.4	2760.6	27.3	2726.5	27.4
211	Kamis	12-Apr-2012	9:55	34.76	27.2	74	2585.6	27.5	2755.8	27.3	2722.3	27.5
212	Jumat	13-Apr-2012	9:59	35.76	27.7	71	2579.9	28.0	2751.1	27.8	2718.1	27.9
213	Senin	16-Apr-2012	9:35	38.75	28.5	71	2571.9	28.8	2740.6	28.6	2709.8	28.7
214	Selasa	17-Apr-2012	9:36	39.75	28.8	73	2569.3	28.9	2736.9	28.9	2706.0	28.9
215	Rabu	18-Apr-2012	9:38	40.75	28.5	71	2566.8	28.6	2733.8	28.5	2703.2	28.7
216	Kamis	19-Apr-2012	9:28	41.74	28.9	78	2564.8	29.0	2731.3	28.9	2701.2	29.0
217	Jumat	20-Apr-2012	9:54	42.76	28.3	74	2563.3	28.8	2730.6	28.7	2699.3	28.9



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

218	Senin	23-Apr-2012	9:24	45.74	28.3	74	2562.0	28.4	2728.3	28.4	2697.2	28.5
219	Selasa	24-Apr-2012	9:32	46.74	28.7	72	2558.5	28.8	2721.3	28.7	2693.3	28.9
220	Rabu	25-Apr-2012	9:43	47.75	28.7	73	2555.5	28.9	2717.8	28.9	2690.1	29.0
221	Kamis	26-Apr-2012	9:48	48.75	28.8	71	2551.8	29.0	2713.2	28.9	2685.9	29.0
222	Jumat	27-Apr-2012	9:28	49.74	28.9	68	2548.6	29.3	2709.1	29.2	2682.3	29.4
223	Senin	30-Apr-2012	9:32	52.74	28.7	67	2548.4	28.6	2707.8	28.6	2681.8	28.7
224	Selasa	1-May-2012	9:36	53.75	28.0	74	2546.4	28.2	2705.2	28.2	2679.4	28.3
225	Rabu	2-May-2012	9:48	54.75	28.4	73	2545.2	28.6	2703.1	28.5	2677.5	28.6
226	Kamis	3-May-2012	9:54	55.76	28.1	77	2544.5	28.6	2701.9	28.6	2677.0	28.6
227	Jumat	4-May-2012	9:34	56.75	28.3	68	2540.3	28.5	2696.5	28.4	2673.0	28.6
228	Senin	7-May-2012	10:00	59.76	27.5	75	2539.8	28.1	2695.1	28.0	2671.5	28.2
229	Selasa	8-May-2012	10:10	60.77	27.7	72	2540.4	27.5	2695.4	27.4	2672.1	27.6
230	Rabu	9-May-2012	10:24	61.78	27.8	75	2540.4	28.1	2694.8	28.0	2671.9	28.0
231	Kamis	10-May-2012	10:04	62.77	28.9	72	2539.8	28.5	2693.2	28.5	2671.1	28.6
232	Jumat	11-May-2012	10:18	63.78	28.8	72	2535.1	28.9	2687.2	28.7	2666.0	28.9
233	Senin	14-May-2012	9:38	66.80	28.8	74	2527.3	28.8	2677.1	28.8	2657.2	28.9
234	Selasa	15-May-2012	9:48	67.81	28.5	74	2527.7	28.6	2676.8	28.6	2657.5	28.7
235	Rabu	16-May-2012	9:43	68.81	28.7	74	2527.9	28.7	2676.8	28.7	2657.6	28.7
236	Senin	21-May-2012	9:48	73.81	28.5	72	2525.9	28.3	2672.4	28.4	2654.7	28.5
237	Selasa	22-May-2012	9:49	74.81	27.5	68	2521.5	28.5	2666.9	28.5	2649.9	28.6
238	Rabu	23-May-2012	10:00	75.82	27.3	74	2517.6	28.8	2662.4	28.7	2647.7	28.8
239	Kamis	24-May-2012	9:48	76.81	28.9	69	2516.7	29.1	2661.0	29.1	2646.1	28.2
240	Jumat	25-May-2012	9:58	77.82	28.5	68	2514.6	28.7	2656.4	28.6	2642.5	28.8
241	Senin	28-May-2012	9:36	80.80	28.3	70	2510.7	28.6	2651.9	28.6	2638.7	28.8
242	Selasa	29-May-2012	9:44	81.81	28.8	72	2511.4	28.9	2653.8	28.8	2638.6	28.9



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

243	Rabu	30-May-2012	9:38	82.80	28.9	69	2508.9	29.1	2649.5	29.0	2635.9	29.1
244	Kamis	31-May-2012	9:44	83.81	28.8	72	2507.8	29.1	2647.8	29.0	2633.0	29.1
245	Jumat	1-Jun-2012	9:28	84.80	27.9	71	2507.2	28.0	2646.7	28.0	2633.7	28.1
246	Senin	4-Jun-2012	9:38	87.80	28.3	71	2507.1	28.3	2647.1	28.2	2634.3	28.2
247	Selasa	5-Jun-2012	9:48	88.81	28.4	78	2507.1	28.4	2646.4	28.4	2635.3	28.5
248	Rabu	6-Jun-2012	9:48	89.81	28.2	76	2508.8	28.4	2645.5	28.3	2635.1	28.4
249	Kamis	7-Jun-2012	9:30	90.80	27.7	76	2507.9	27.7	2643.0	27.6	2633.0	27.8
250	Jumat	8-Jun-2012	9:26	91.80	25.1	77	2508.3	28.2	2644.0	28.1	2634.2	27.3
251	Senin	11-Jun-2012	9:34	94.80	27.8	79	2510.8	27.9	2644.5	27.9	2636.5	28.0
252	Selasa	12-Jun-2012	9:48	95.81	27.8	72	2508.7	27.8	2639.8	27.7	2632.7	27.8
253	Rabu	13-Jun-2012	9:40	96.82	28.0	76	2509.2	28.1	2638.2	28.0	2631.1	28.2
254	Kamis	14-Jun-2012	9:28	97.81	28.3	76	2508.4	28.5	2635.9	28.5	2629.5	28.6
255	Jumat	15-Jun-2012	9:34	98.81	28.7	72	2506.7	28.9	2632.5	28.9	2627.2	29.1
256	Senin	18-Jun-2012	9:24	101.82	27.9	69	2493.0	28.9	2620.6	28.8	2617.1	28.9
257	Selasa	19-Jun-2012	9:46	102.83	28.1	68	2490.0	29.1	2618.1	29.0	2614.1	29.1
258	Rabu	20-Jun-2012	9:47	103.84	28.3	67	2488.0	28.9	2614.1	28.9	2611.8	29.1
259	Kamis	21-Jun-2012	10:00	104.84	28.8	69	2487.6	29.2	2612.9	29.2	2611.2	29.2
260	Jumat	22-Jun-2012	10:15	105.85	28.4	74	2487.1	29.6	2611.9	29.5	2611.5	29.6
261	Senin	25-Jun-2012	9:55	108.84	28.7	67	2483.6	29.3	2605.8	29.1	2606.4	29.3
262	Selasa	26-Jun-2012	10:08	109.85	27.6	72	2481.2	29.4	2602.7	29.1	2603.9	29.4
263	Rabu	27-Jun-2012	10:06	110.85	27.7	75	2479.6	29.2	2600.3	29.1	2601.9	29.3
264	Kamis	18-Jun-2012	10:24	111.86	25.4	68	2477.2	29.1	2597.6	28.9	2599.7	29.1



LAMPIRAN C
PENGOLAHAN DATA UJI SUSUT BETON
(SAMPEL 1 DAN 2)

NO	SAMPEL1							SAMPEL 2						
	Beda regangan (R_1-R_0) ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{cor}$ (R_1-R_0)B ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{cor}$ cum ($\mu\epsilon$)	Beda suhu (T_1-T_2) ($^{\circ}C$)	$\mu\epsilon_{suhu}$ (T_1-T_2) (C_1-C_2) ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{suhu}$ cum ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{true} = \mu\epsilon_{cor} + \mu\epsilon_{suhu}$ cum ($\mu\epsilon$)	Beda regangan (R_1-R_0) ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{cor}$ (R_1-R_0)B ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{cor}$ cum ($\mu\epsilon$)	Beda suhu (T_1-T_2) ($^{\circ}C$)	$\mu\epsilon_{suhu}$ (T_1-T_2) (C_1-C_2) ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{suhu}$ cum ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{true} = \mu\epsilon_{cor} + \mu\epsilon_{suhu}$ cum ($\mu\epsilon$)
1	0.0	0.00	0.00	-0.6	-1.08	0.00	0.000000	0.0	0.00	0.00	-3.9	-7.02	0.00	0.000000
2	5.1	4.90	4.90	-1.2	-2.16	-2.16	-0.000003	19.1	18.34	18.34	-8.8	-15.84	-15.84	-0.000002
3	-3.1	-2.98	1.92	-6.1	-10.98	-13.14	0.000011	15.5	14.88	33.22	7.3	13.14	-2.70	-0.000031
4	-0.2	-0.19	1.73	-14.6	-26.28	-39.42	0.000038	-25.4	-24.38	8.83	3.0	5.40	2.70	-0.000012
5	0.2	0.19	1.92	-0.8	-1.44	-40.86	0.000039	-0.1	-0.10	8.74	-0.4	-0.72	1.98	-0.000011
6	0.0	0.00	1.92	7.8	14.04	-26.82	0.000025	0.5	0.48	9.22	-0.1	-0.18	1.80	-0.000011
7	0.0	0.00	1.92	-4.9	-8.82	-35.64	0.000034	0.2	0.19	9.41	2.8	5.04	6.84	-0.000016
8	-0.1	-0.10	1.82	-3.7	-6.66	-42.30	0.000040	0.1	0.10	9.50	-7.8	-14.04	-7.20	-0.000002
9	-0.1	-0.10	1.73	20.4	36.72	-5.58	0.000004	0.0	0.00	9.50	4.2	7.56	0.36	-0.000010
10	0.0	0.00	1.73	0.3	0.54	-5.04	0.000003	0.0	0.00	9.50	4.9	8.82	9.18	-0.000019
11	-0.1	-0.10	1.63	-5.4	-9.72	-14.76	0.000013	0.2	0.19	9.70	-3.3	-5.94	3.24	-0.000013



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

12	0.0	0.00	1.63	5.1	9.18	-5.58	0.000004	-0.1	-0.10	9.60	0.2	0.36	3.60	-0.000013
13	-0.1	-0.10	1.54	0.0	0.00	-5.58	0.000004	0.0	0.00	9.60	-1.5	-2.70	0.90	-0.000011
14	0.0	0.00	1.54	0.0	0.00	-5.58	0.000004	0.2	0.19	9.79	0.3	0.54	1.44	-0.000011
15	0.2	0.19	1.73	-20.8	-37.44	-43.02	0.000041	0.1	0.10	9.89	6.1	10.98	12.42	-0.000022
16	0.0	0.00	1.73	21.7	39.06	-3.96	0.000002	0.2	0.19	10.08	-7.0	-12.60	-0.18	-0.000010
17	0.1	0.10	1.82	-1.1	-1.98	-5.94	0.000004	0.4	0.38	10.46	-4.6	-8.28	-8.46	-0.000002
18	0.0	0.00	1.82	-11.1	-19.98	-25.92	0.000024	-0.2	-0.19	10.27	-4.1	-7.38	-15.84	0.000006
19	0.1	0.10	1.92	11.1	19.98	-5.94	0.000004	0.3	0.29	10.56	8.8	15.84	0.00	-0.000011
20	0.1	0.10	2.02	1.5	2.70	-3.24	0.000001	0.2	0.19	10.75	0.7	1.26	1.26	-0.000012
21	0.2	0.19	2.21	-1.5	-2.70	-5.94	0.000004	0.3	0.29	11.04	-0.8	-1.44	-0.18	-0.000011
22	0.0	0.00	2.21	-0.7	-1.26	-7.20	0.000005	0.3	0.29	11.33	0.5	0.90	0.72	-0.000012
23	-0.3	-0.29	1.92	-0.1	-0.18	-7.38	0.000005	0.1	0.10	11.42	0.0	0.00	0.72	-0.000012
24	0.0	0.00	1.92	3.2	5.76	-1.62	0.000000	0.0	0.00	11.42	-0.5	-0.90	-0.18	-0.000011
25	-0.6	-0.58	1.34	0.2	0.36	-1.26	0.000000	-0.1	-0.10	11.33	2.8	5.04	4.86	-0.000016
26	-0.5	-0.48	0.86	-4.5	-8.10	-9.36	0.000008	-0.2	-0.19	11.14	-4.0	-7.20	-2.34	-0.000009
27	-0.4	-0.38	0.48	0.2	0.36	-9.00	0.000009	-0.2	-0.19	10.94	-0.3	-0.54	-2.88	-0.000008
28	-0.5	-0.48	0.00	-1.0	-1.80	-10.80	0.000011	-0.4	-0.38	10.56	0.9	1.62	-1.26	-0.000009
29	-0.9	-0.86	-0.86	-0.3	-0.54	-11.34	0.000012	-0.6	-0.58	9.98	-1.6	-2.88	-4.14	-0.000006
30	-0.9	-0.86	-1.73	2.6	4.68	-6.66	0.000008	-0.7	-0.67	9.31	-0.1	-0.18	-4.32	-0.000005
31	-1.1	-1.06	-2.78	-2.7	-4.86	-11.52	0.000014	-0.8	-0.77	8.54	-0.7	-1.26	-5.58	-0.000003
32	-1.4	-1.34	-4.13	-1.9	-3.42	-14.94	0.000019	-0.8	-0.77	7.78	-0.6	-1.08	-6.66	-0.000001
33	-3.4	-3.26	-7.39	-0.4	-0.72	-15.66	0.000023	-2.0	-1.92	5.86	-0.6	-1.08	-7.74	0.000002
34	-3.9	-3.74	-11.14	3.2	5.76	-9.90	0.000021	-2.1	-2.02	3.84	2.8	5.04	-2.70	-0.000001
35	-1.3	-1.25	-12.38	-5.7	-10.26	-20.16	0.000033	-0.4	-0.38	3.46	-4.8	-8.64	-11.34	0.000008
36	-0.9	-0.86	-13.25	0.7	1.26	-18.90	0.000032	-2.5	-2.40	1.06	2.9	5.22	-6.12	0.000005



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

37	-1.3	-1.25	-14.50	3.2	5.76	-13.14	0.000028	-2.1	-2.02	-0.96	-3.6	-6.48	-12.60	0.000014
38	-1.3	-1.25	-15.74	0.0	0.00	-13.14	0.000029	-1.5	-1.44	-2.40	0.0	0.00	-12.60	0.000015
39	-0.1	-0.10	-15.84	-4.3	-7.74	-20.88	0.000037	0.0	0.00	-2.40	0.4	0.72	-11.88	0.000014
40	-0.7	-0.67	-16.51	-0.2	-0.36	-21.24	0.000038	-1.1	-1.06	-3.46	0.0	0.00	-11.88	0.000015
41	-0.1	-0.10	-16.61	4.0	7.20	-14.04	0.000031	0.0	0.00	-3.46	2.2	3.96	-7.92	0.000011
42	0.2	0.19	-16.42	1.8	3.24	-10.80	0.000027	-0.4	-0.38	-3.84	0.5	0.90	-7.02	0.000011
43	0.6	0.58	-15.84	0.0	0.00	-10.80	0.000027	0.3	0.29	-3.55	-3.5	-6.30	-13.32	0.000017
44	0.0	0.00	-15.84	-1.0	-1.80	-12.60	0.000028	-0.1	-0.10	-3.65	4.3	7.74	-5.58	0.000009
45	0.7	0.67	-15.17	0.5	0.90	-11.70	0.000027	0.6	0.58	-3.07	0.0	0.00	-5.58	0.000009
46	0.0	0.00	-15.17	-0.6	-1.08	-12.78	0.000028	0.0	0.00	-3.07	0.7	1.26	-4.32	0.000007
47	0.2	0.19	-14.98	-0.5	-0.90	-13.68	0.000029	0.3	0.29	-2.78	-0.3	-0.54	-4.86	0.000008
48	0.3	0.29	-14.69	-0.6	-1.08	-14.76	0.000029	0.3	0.29	-2.50	0.5	0.90	-3.96	0.000006
49	0.8	0.77	-13.92	1.2	2.16	-12.60	0.000027	0.8	0.77	-1.73	-0.7	-1.26	-5.22	0.000007
50	0.2	0.19	-13.73	1.1	1.98	-10.62	0.000024	0.4	0.38	-1.34	-0.9	-1.62	-6.84	0.000008
51	0.7	0.67	-13.06	-1.5	-2.70	-13.32	0.000026	0.8	0.77	-0.58	-0.6	-1.08	-7.92	0.000008
52	0.8	0.77	-12.29	0.8	1.44	-11.88	0.000024	1.2	1.15	0.58	-1.2	-2.16	-10.08	0.000010
53	0.5	0.48	-11.81	0.6	1.08	-10.80	0.000023	0.6	0.58	1.15	3.5	6.30	-3.78	0.000003
54	0.5	0.48	-11.33	-2.7	-4.86	-15.66	0.000027	0.5	0.48	1.63	-3.3	-5.94	-9.72	0.000008
55	0.3	0.29	-11.04	0.0	0.00	-15.66	0.000027	0.4	0.38	2.02	-0.1	-0.18	-9.90	0.000008
56	0.4	0.38	-10.66	3.1	5.58	-10.08	0.000021	0.5	0.48	2.50	2.3	4.14	-5.76	0.000003
57	0.3	0.29	-10.37	-2.1	-3.78	-13.86	0.000024	0.5	0.48	2.98	-1.0	-1.80	-7.56	0.000005
58	0.9	0.86	-9.50	-0.2	-0.36	-14.22	0.000024	1.1	1.06	4.03	-0.7	-1.26	-8.82	0.000005
59	0.4	0.38	-9.12	1.5	2.70	-11.52	0.000021	0.4	0.38	4.42	0.7	1.26	-7.56	0.000003
60	0.3	0.29	-8.83	4.6	8.28	-3.24	0.000012	0.4	0.38	4.80	1.6	2.88	-4.68	0.000000
61	0.3	0.29	-8.54	-4.8	-8.64	-11.88	0.000020	0.4	0.38	5.18	-1.4	-2.52	-7.20	0.000002



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

62	0.6	0.58	-7.97	4.3	7.74	-4.14	0.000012	0.7	0.67	5.86	3.1	5.58	-1.62	-0.000004
63	0.6	0.58	-7.39	-4.5	-8.10	-12.24	0.000020	0.8	0.77	6.62	1.9	3.42	1.80	-0.000008
64	0.8	0.77	-6.62	0.3	0.54	-11.70	0.000018	0.9	0.86	7.49	-0.7	-1.26	0.54	-0.000008
65	0.3	0.29	-6.34	0.7	1.26	-10.44	0.000017	0.4	0.38	7.87	-3.8	-6.84	-6.30	-0.000002
66	0.4	0.38	-5.95	1.0	1.80	-8.64	0.000015	0.2	0.19	8.06	3.7	6.66	0.36	-0.000008
67	0.1	0.10	-5.86	4.5	8.10	-0.54	0.000006	0.4	0.38	8.45	-2.4	-4.32	-3.96	-0.000004
68	0.1	0.10	-5.76	-1.5	-2.70	-3.24	0.000009	0.2	0.19	8.64	-1.4	-2.52	-6.48	-0.000002
69	0.1	0.10	-5.66	-3.3	-5.94	-9.18	0.000015	0.1	0.10	8.74	1.9	3.42	-3.06	-0.000006
70	0.3	0.29	-5.38	0.5	0.90	-8.28	0.000014	0.5	0.48	9.22	0.7	1.26	-1.80	-0.000007
71	0.2	0.19	-5.18	0.3	0.54	-7.74	0.000013	0.1	0.10	9.31	2.3	4.14	2.34	-0.000012
72	0.1	0.10	-5.09	1.5	2.70	-5.04	0.000010	0.2	0.19	9.50	-1.7	-3.06	-0.72	-0.000009
73	0.2	0.19	-4.90	-2.9	-5.22	-10.26	0.000015	0.3	0.29	9.79	2.6	4.68	3.96	-0.000014
74	0.1	0.10	-4.80	-0.6	-1.08	-11.34	0.000016	0.2	0.19	9.98	-4.2	-7.56	-3.60	-0.000006
75	0.1	0.10	-4.70	0.9	1.62	-9.72	0.000014	0.3	0.29	10.27	1.8	3.24	-0.36	-0.000010
76	0.1	0.10	-4.61	0.2	0.36	-9.36	0.000014	0.2	0.19	10.46	-0.7	-1.26	-1.62	-0.000009
77	0.2	0.19	-4.42	1.8	3.24	-6.12	0.000011	0.2	0.19	10.66	-0.2	-0.36	-1.98	-0.000009
78	0.0	0.00	-4.42	-1.2	-2.16	-8.28	0.000013	0.2	0.19	10.85	-1.4	-2.52	-4.50	-0.000006
79	0.2	0.19	-4.22	-1.1	-1.98	-10.26	0.000014	0.1	0.10	10.94	0.7	1.26	-3.24	-0.000008
80	0.0	0.00	-4.22	-0.1	-0.18	-10.44	0.000015	0.1	0.10	11.04	-1.0	-1.80	-5.04	-0.000006
81	0.0	0.00	-4.22	0.4	0.72	-9.72	0.000014	0.0	0.00	11.04	0.4	0.72	-4.32	-0.000007
82	0.0	0.00	-4.22	-0.1	-0.18	-9.90	0.000014	0.1	0.10	11.14	3.5	6.30	1.98	-0.000013
83	0.1	0.10	-4.13	0.5	0.90	-9.00	0.000013	0.2	0.19	11.33	-3.9	-7.02	-5.04	-0.000006
84	0.1	0.10	-4.03	-0.1	-0.18	-9.18	0.000013	0.2	0.19	11.52	1.5	2.70	-2.34	-0.000009
85	0.0	0.00	-4.03	2.1	3.78	-5.40	0.000009	0.0	0.00	11.52	0.9	1.62	-0.72	-0.000011
86	0.0	0.00	-4.03	-1.5	-2.70	-8.10	0.000012	0.1	0.10	11.62	-1.7	-3.06	-3.78	-0.000008



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

87	0.1	0.10	-3.94	1.7	3.06	-5.04	0.000009	0.1	0.10	11.71	0.7	1.26	-2.52	-0.000009
88	0.0	0.00	-3.94	-2.4	-4.32	-9.36	0.000013	0.0	0.00	11.71	-0.7	-1.26	-3.78	-0.000008
89	0.0	0.00	-3.94	2.4	4.32	-5.04	0.000009	0.1	0.10	11.81	-0.4	-0.72	-4.50	-0.000007
90	0.0	0.00	-3.94	0.6	1.08	-3.96	0.000008	0.1	0.10	11.90	1.0	1.80	-2.70	-0.000009
91	-1.2	-1.15	-5.09	-2.9	-5.22	-9.18	0.000014	-1.2	-1.15	10.75	2.9	5.22	2.52	-0.000013
92	-0.2	-0.19	-5.28	-0.1	-0.18	-9.36	0.000015	0.1	0.10	10.85	-2.8	-5.04	-2.52	-0.000008
93	-0.7	-0.67	-5.95	0.5	0.90	-8.46	0.000014	-0.6	-0.58	10.27	-0.7	-1.26	-3.78	-0.000006
94	-10.5	-10.08	-16.03	1.1	1.98	-6.48	0.000023	-0.5	-0.48	9.79	0.6	1.08	-2.70	-0.000007
95	-3.7	-3.55	-19.58	-0.4	-0.72	-7.20	0.000027	-6.6	-6.34	3.46	0.8	1.44	-1.26	-0.000002
96	0.6	0.58	-19.01	1.6	2.88	-4.32	0.000023	1.6	1.54	4.99	-0.1	-0.18	-1.44	-0.000004
97	2.7	2.59	-16.42	-0.7	-1.26	-5.58	0.000022	1.8	1.73	6.72	1.4	2.52	1.08	-0.000008
98	-0.2	-0.19	-16.61	1.9	3.42	-2.16	0.000019	1.3	1.25	7.97	1.4	2.52	3.60	-0.000012
99	4.0	3.84	-12.77	0.3	0.54	-1.62	0.000014	8.9	8.54	16.51	0.6	1.08	4.68	-0.000021
100	2.7	2.59	-10.18	-3.6	-6.48	-8.10	0.000018	4.7	4.51	21.02	0.5	0.90	5.58	-0.000027
101	2.7	2.59	-7.58	5.3	9.54	1.44	0.000006	3.0	2.88	23.90	0.6	1.08	6.66	-0.000031
102	2.8	2.69	-4.90	-0.5	-0.90	0.54	0.000004	2.8	2.69	26.59	0.2	0.36	7.02	-0.000034
103	1.3	1.25	-3.65	1.3	2.34	2.88	0.000001	0.9	0.86	27.46	-0.3	-0.54	6.48	-0.000034
104	0.3	0.29	-3.36	2.8	5.04	7.92	-0.000005	0.2	0.19	27.65	4.8	8.64	15.12	-0.000043
105	0.6	0.58	-2.78	1.2	2.16	10.08	-0.000007	0.4	0.38	28.03	1.1	1.98	17.10	-0.000045
106	0.8	0.77	-2.02	-4.6	-8.28	1.80	0.000000	1.0	0.96	28.99	-5.4	-9.72	7.38	-0.000036
107	0.7	0.67	-1.34	0.9	1.62	3.42	-0.000002	0.3	0.29	29.28	-0.1	-0.18	7.20	-0.000036
108	0.5	0.48	-0.86	-1.2	-2.16	1.26	0.000000	0.5	0.48	29.76	-0.2	-0.36	6.84	-0.000037
109	0.3	0.29	-0.58	-0.1	-0.18	1.08	-0.000001	0.3	0.29	30.05	0.0	0.00	6.84	-0.000037
110	0.0	0.00	-0.58	-0.1	-0.18	0.90	0.000000	0.1	0.10	30.14	0.3	0.54	7.38	-0.000038
111	0.1	0.10	-0.48	0.0	0.00	0.90	0.000000	0.1	0.10	30.24	0.9	1.62	9.00	-0.000039



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

112	0.1	0.10	-0.38	-0.1	-0.18	0.72	0.000000	-2.9	-2.78	27.46	-1.1	-1.98	7.02	-0.000034
113	0.6	0.58	0.19	-1.7	-3.06	-2.34	0.000002	3.4	3.26	30.72	0.0	0.00	7.02	-0.000038
114	-0.5	-0.48	-0.29	1.9	3.42	1.08	-0.000001	-0.7	-0.67	30.05	1.4	2.52	9.54	-0.000040
115	0.1	0.10	-0.19	-0.5	-0.90	0.18	0.000000	-1.6	-1.54	28.51	-2.2	-3.96	5.58	-0.000034
116	-2.8	-2.69	-2.88	-0.4	-0.72	-0.54	0.000003	-1.6	-1.54	26.98	0.1	0.18	5.76	-0.000033
117	-0.5	-0.48	-3.36	0.0	0.00	-0.54	0.000004	-0.2	-0.19	26.78	-0.1	-0.18	5.58	-0.000032
118	-0.5	-0.48	-3.84	0.1	0.18	-0.36	0.000004	-0.6	-0.58	26.21	0.0	0.00	5.58	-0.000032
119	0.7	0.67	-3.17	-0.1	-0.18	-0.54	0.000004	1.1	1.06	27.26	-0.4	-0.72	4.86	-0.000032
120	-0.8	-0.77	-3.94	0.2	0.36	-0.18	0.000004	-0.7	-0.67	26.59	-0.3	-0.54	4.32	-0.000031
121	-0.4	-0.38	-4.32	0.1	0.18	0.00	0.000004	-2.3	-2.21	24.38	0.3	0.54	4.86	-0.000029
122	-9.0	-8.64	-12.96	-0.1	-0.18	-0.18	0.000013	1.0	0.96	25.34	0.5	0.90	5.76	-0.000031
123	5.7	5.47	-7.49	0.0	0.00	-0.18	0.000008	-2.5	-2.40	22.94	-0.5	-0.90	4.86	-0.000028
124	-0.4	-0.38	-7.87	0.0	0.00	-0.18	0.000008	-0.1	-0.10	22.85	0.0	0.00	4.86	-0.000028
125	-0.1	-0.10	-7.97	0.0	0.00	-0.18	0.000008	0.1	0.10	22.94	0.9	1.62	6.48	-0.000029
126	-0.2	-0.19	-8.16	0.3	0.54	0.36	0.000008	0.0	0.00	22.94	0.1	0.18	6.66	-0.000030
127	0.2	0.19	-7.97	0.6	1.08	1.44	0.000007	0.6	0.58	23.52	-0.5	-0.90	5.76	-0.000029
128	0.4	0.38	-7.58	-1.0	-1.80	-0.36	0.000008	0.7	0.67	24.19	0.4	0.72	6.48	-0.000031
129	-0.5	-0.48	-8.06	0.1	0.18	-0.18	0.000008	0.0	0.00	24.19	-0.1	-0.18	6.30	-0.000030
130	0.6	0.58	-7.49	0.4	0.72	0.54	0.000007	0.6	0.58	24.77	0.0	0.00	6.30	-0.000031
131	-0.9	-0.86	-8.35	0.0	0.00	0.54	0.000008	-0.5	-0.48	24.29	0.1	0.18	6.48	-0.000031
132	0.8	0.77	-7.58	-0.1	-0.18	0.36	0.000007	0.6	0.58	24.86	0.3	0.54	7.02	-0.000032
133	0.6	0.58	-7.01	0.2	0.36	0.72	0.000006	0.6	0.58	25.44	0.4	0.72	7.74	-0.000033
134	0.1	0.10	-6.91	0.1	0.18	0.90	0.000006	0.6	0.58	26.02	-0.2	-0.36	7.38	-0.000033
135	0.1	0.10	-6.82	-0.1	-0.18	0.72	0.000006	0.1	0.10	26.11	0.2	0.36	7.74	-0.000034
136	-0.6	-0.58	-7.39	0.5	0.90	1.62	0.000006	0.1	0.10	26.21	0.0	0.00	7.74	-0.000034



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

137	1.2	1.15	-6.24	0.2	0.36	1.98	0.000004	0.9	0.86	27.07	0.6	1.08	8.82	-0.000036
138	0.1	0.10	-6.14	1.4	2.52	4.50	0.000002	0.1	0.10	27.17	-0.5	-0.90	7.92	-0.000035
139	0.0	0.00	-6.14	-2.6	-4.68	-0.18	0.000006	0.1	0.10	27.26	0.2	0.36	8.28	-0.000036
140	-0.3	-0.29	-6.43	0.0	0.00	-0.18	0.000007	-1.1	-1.06	26.21	-0.3	-0.54	7.74	-0.000034
141	-1.6	-1.54	-7.97	1.0	1.80	1.62	0.000006	-1.7	-1.63	24.58	-0.2	-0.36	7.38	-0.000032
142	-1.2	-1.15	-9.12	-0.9	-1.62	0.00	0.000009	-1.2	-1.15	23.42	-0.4	-0.72	6.66	-0.000030
143	-0.7	-0.67	-9.79	-0.2	-0.36	-0.36	0.000010	-1.0	-0.96	22.46	0.3	0.54	7.20	-0.000030
144	-0.9	-0.86	-10.66	0.2	0.36	0.00	0.000011	-1.1	-1.06	21.41	-0.6	-1.08	6.12	-0.000028
145	-1.7	-1.63	-12.29	1.2	2.16	2.16	0.000010	-1.7	-1.63	19.78	0.4	0.72	6.84	-0.000027
146	1.2	1.15	-11.14	-0.4	-0.72	1.44	0.000010	1.6	1.54	21.31	0.4	0.72	7.56	-0.000029
147	-0.7	-0.67	-11.81	-0.1	-0.18	1.26	0.000011	-0.3	-0.29	21.02	-0.2	-0.36	7.20	-0.000028
148	-0.1	-0.10	-11.90	0.2	0.36	1.62	0.000010	0.5	0.48	21.50	0.2	0.36	7.56	-0.000029
149	-0.6	-0.58	-12.48	-0.3	-0.54	1.08	0.000011	-0.6	-0.58	20.93	0.0	0.00	7.56	-0.000028
150	0.8	0.77	-11.71	0.9	1.62	2.70	0.000009	1.2	1.15	22.08	1.4	2.52	10.08	-0.000032
151	0.1	0.10	-11.62	0.9	1.62	4.32	0.000007	0.6	0.58	22.66	0.8	1.44	11.52	-0.000034
152	0.2	0.19	-11.42	-0.3	-0.54	3.78	0.000008	-0.1	-0.10	22.56	-2.6	-4.68	6.84	-0.000029
153	1.8	1.73	-9.70	-0.7	-1.26	2.52	0.000007	0.9	0.86	23.42	-0.1	-0.18	6.66	-0.000030
154	-2.2	-2.11	-11.81	-1.4	-2.52	0.00	0.000012	-3.0	-2.88	20.54	0.2	0.36	7.02	-0.000028
155	-0.9	-0.86	-12.67	-0.4	-0.72	-0.72	0.000013	-0.6	-0.58	19.97	-0.9	-1.62	5.40	-0.000025
156	-1.3	-1.25	-13.92	1.2	2.16	1.44	0.000012	-0.6	-0.58	19.39	0.2	0.36	5.76	-0.000025
157	-0.9	-0.86	-14.78	1.7	3.06	4.50	0.000010	-1.1	-1.06	18.34	2.8	5.04	10.80	-0.000029
158	-0.1	-0.10	-14.88	-2.1	-3.78	0.72	0.000014	-0.1	-0.10	18.24	-2.6	-4.68	6.12	-0.000024
159	-1.2	-1.15	-16.03	-1.5	-2.70	-1.98	0.000018	-1.1	-1.06	17.18	-1.0	-1.80	4.32	-0.000022
160	-0.4	-0.38	-16.42	0.4	0.72	-1.26	0.000018	0.6	0.58	17.76	0.7	1.26	5.58	-0.000023
161	0.2	0.19	-16.22	0.8	1.44	0.18	0.000016	0.7	0.67	18.43	0.5	0.90	6.48	-0.000025



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

162	1.8	1.73	-14.50	-0.2	-0.36	-0.18	0.000015	2.3	2.21	20.64	0.0	0.00	6.48	-0.000027
163	0.3	0.29	-14.21	-0.2	-0.36	-0.54	0.000015	0.6	0.58	21.22	-0.3	-0.54	5.94	-0.000027
164	0.0	0.00	-14.21	-0.1	-0.18	-0.72	0.000015	2.8	2.69	23.90	-0.1	-0.18	5.76	-0.000030
165	0.2	0.19	-14.02	-0.1	-0.18	-0.90	0.000015	-0.7	-0.67	23.23	-0.2	-0.36	5.40	-0.000029
166	0.3	0.29	-13.73	-0.1	-0.18	-1.08	0.000015	-0.9	-0.86	22.37	-0.1	-0.18	5.22	-0.000028
167	0.3	0.29	-13.44	-0.2	-0.36	-1.44	0.000015	-0.1	-0.10	22.27	-0.2	-0.36	4.86	-0.000027
168	-2.7	-2.59	-16.03	0.0	0.00	-1.44	0.000017	-3.2	-3.07	19.20	0.0	0.00	4.86	-0.000024
169	0.9	0.86	-15.17	0.2	0.36	-1.08	0.000016	0.9	0.86	20.06	0.2	0.36	5.22	-0.000025
170	0.6	0.58	-14.59	-0.3	-0.54	-1.62	0.000016	0.5	0.48	20.54	-0.2	-0.36	4.86	-0.000025
171	-1.5	-1.44	-16.03	0.6	1.08	-0.54	0.000017	-1.3	-1.25	19.30	0.4	0.72	5.58	-0.000025
172	-0.2	-0.19	-16.22	0.1	0.18	-0.36	0.000017	0.1	0.10	19.39	0.2	0.36	5.94	-0.000025
173	0.5	0.48	-15.74	0.1	0.18	-0.18	0.000016	0.8	0.77	20.16	0.0	0.00	5.94	-0.000026
174	0.1	0.10	-15.65	0.4	0.72	0.54	0.000015	0.0	0.00	20.16	0.4	0.72	6.66	-0.000027
175	0.0	0.00	-15.65	0.0	0.00	0.54	0.000015	0.2	0.19	20.35	0.2	0.36	7.02	-0.000027
176	0.4	0.38	-15.26	0.5	0.90	1.44	0.000014	0.6	0.58	20.93	0.4	0.72	7.74	-0.000029
177	0.9	0.86	-14.40	-0.5	-0.90	0.54	0.000014	1.2	1.15	22.08	-0.5	-0.90	6.84	-0.000029
178	1.7	1.63	-12.77	-1.1	-1.98	-1.44	0.000014	1.9	1.82	23.90	-1.1	-1.98	4.86	-0.000029
179	-2.6	-2.50	-15.26	0.0	0.00	-1.44	0.000017	-3.0	-2.88	21.02	-0.1	-0.18	4.68	-0.000026
180	-1.0	-0.96	-16.22	0.2	0.36	-1.08	0.000017	-1.2	-1.15	19.87	0.4	0.72	5.40	-0.000025
181	-2.2	-2.11	-18.34	0.1	0.18	-0.90	0.000019	-1.9	-1.82	18.05	0.1	0.18	5.58	-0.000024
182	1.3	1.25	-17.09	0.2	0.36	-0.54	0.000018	1.1	1.06	19.10	-0.1	-0.18	5.40	-0.000025
183	-0.4	-0.38	-17.47	0.1	0.18	-0.36	0.000018	-1.3	-1.25	17.86	0.1	0.18	5.58	-0.000023
184	0.1	0.10	-17.38	2.6	4.68	4.32	0.000013	0.6	0.58	18.43	0.2	0.36	5.94	-0.000024
185	-0.2	-0.19	-17.57	-0.3	-0.54	3.78	0.000014	-0.1	-0.10	18.34	0.1	0.18	6.12	-0.000024
186	1.4	1.34	-16.22	-2.0	-3.60	0.18	0.000016	0.7	0.67	19.01	-0.1	-0.18	5.94	-0.000025



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

187	-0.6	-0.58	-16.80	0.2	0.36	0.54	0.000016	-0.1	-0.10	18.91	0.1	0.18	6.12	-0.000025
188	-0.3	-0.29	-17.09	0.1	0.18	0.72	0.000016	-0.3	-0.29	18.62	0.1	0.18	6.30	-0.000025
189	1.3	1.25	-15.84	-0.5	-0.90	-0.18	0.000016	1.6	1.54	20.16	-0.9	-1.62	4.68	-0.000025
190	-1.2	-1.15	-16.99	-0.7	-1.26	-1.44	0.000018	-1.8	-1.73	18.43	-0.1	-0.18	4.50	-0.000023
191	-0.7	-0.67	-17.66	-0.1	-0.18	-1.62	0.000019	-0.5	-0.48	17.95	-0.3	-0.54	3.96	-0.000022
192	-1.2	-1.15	-18.82	-0.2	-0.36	-1.98	0.000021	-1.0	-0.96	16.99	0.1	0.18	4.14	-0.000021
193	-0.5	-0.48	-19.30	0.1	0.18	-1.80	0.000021	-0.6	-0.58	16.42	-0.1	-0.18	3.96	-0.000020
194	0.0	0.00	-19.30	-1.1	-1.98	-3.78	0.000023	-0.2	-0.19	16.22	-1.0	-1.80	2.16	-0.000018
195	-70.0	-67.20	-86.50	-0.3	-0.54	-4.32	0.000091	-65.1	-62.50	-46.27	-0.3	-0.54	1.62	0.000045
196	-13.2	-12.67	-99.17	-0.3	-0.54	-4.86	0.000104	-13.3	-12.77	-59.04	-0.3	-0.54	1.08	0.000058
197	-8.2	-7.87	-107.04	-0.7	-1.26	-6.12	0.000113	-8.3	-7.97	-67.01	-0.6	-1.08	0.00	0.000067
198	-11.5	-11.04	-118.08	-0.6	-1.08	-7.20	0.000125	-11.8	-11.33	-78.34	-0.8	-1.44	-1.44	0.000080
199	-24.6	-23.62	-141.70	-0.2	-0.36	-7.56	0.000149	-27.1	-26.02	-104.35	-0.1	-0.18	-1.62	0.000106
200	-4.0	-3.84	-145.54	0.2	0.36	-7.20	0.000153	-6.0	-5.76	-110.11	0.2	0.36	-1.26	0.000111
201	-6.0	-5.76	-151.30	0.2	0.36	-6.84	0.000158	-7.1	-6.82	-116.93	0.1	0.18	-1.08	0.000118
202	-2.6	-2.50	-153.79	0.0	0.00	-6.84	0.000161	-3.4	-3.26	-120.19	0.0	0.00	-1.08	0.000121
203	-1.5	-1.44	-155.23	0.5	0.90	-5.94	0.000161	-2.3	-2.21	-122.40	0.2	0.36	-0.72	0.000123
204	-4.7	-4.51	-159.74	0.6	1.08	-4.86	0.000165	-4.8	-4.61	-127.01	1.0	1.80	1.08	0.000126
205	-4.6	-4.42	-164.16	0.2	0.36	-4.50	0.000169	-7.4	-7.10	-134.11	0.1	0.18	1.26	0.000133
206	-2.8	-2.69	-166.85	0.1	0.18	-4.32	0.000171	-3.5	-3.36	-137.47	0.1	0.18	1.44	0.000136
207	-2.4	-2.30	-169.15	0.9	1.62	-2.70	0.000172	-3.0	-2.88	-140.35	1.0	1.80	3.24	0.000137
208	1.5	1.44	-167.71	-0.4	-0.72	-3.42	0.000171	-0.4	-0.38	-140.74	-0.3	-0.54	2.70	0.000138
209	-0.6	-0.58	-168.29	-0.1	-0.18	-3.60	0.000172	-1.2	-1.15	-141.89	-0.2	-0.36	2.34	0.000140
210	-4.0	-3.84	-172.13	-0.1	-0.18	-3.78	0.000176	-5.2	-4.99	-146.88	0.0	0.00	2.34	0.000145
211	-1.8	-1.73	-173.86	-0.5	-0.90	-4.68	0.000179	-4.8	-4.61	-151.49	-0.5	-0.90	1.44	0.000150



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

212	-5.7	-5.47	-179.33	-0.8	-1.44	-6.12	0.000185	-4.7	-4.51	-156.00	-0.8	-1.44	0.00	0.000156
213	-8.0	-7.68	-187.01	-0.1	-0.18	-6.30	0.000193	-10.5	-10.08	-166.08	-0.3	-0.54	-0.54	0.000167
214	-2.6	-2.50	-189.50	0.3	0.54	-5.76	0.000195	-3.7	-3.55	-169.63	0.4	0.72	0.18	0.000169
215	-2.5	-2.40	-191.90	-0.4	-0.72	-6.48	0.000198	-3.1	-2.98	-172.61	-0.4	-0.72	-0.54	0.000173
216	-2.0	-1.92	-193.82	0.2	0.36	-6.12	0.000200	-2.5	-2.40	-175.01	0.2	0.36	-0.18	0.000175
217	-1.5	-1.44	-195.26	0.4	0.72	-5.40	0.000201	-0.7	-0.67	-175.68	0.3	0.54	0.36	0.000175
218	-1.3	-1.25	-196.51	-0.4	-0.72	-6.12	0.000203	-2.3	-2.21	-177.89	-0.3	-0.54	-0.18	0.000178
219	-3.5	-3.36	-199.87	-0.1	-0.18	-6.30	0.000206	-7.0	-6.72	-184.61	-0.2	-0.36	-0.54	0.000185
220	-3.0	-2.88	-202.75	-0.1	-0.18	-6.48	0.000209	-3.5	-3.36	-187.97	0.0	0.00	-0.54	0.000189
221	-3.7	-3.55	-206.30	-0.3	-0.54	-7.02	0.000213	-4.6	-4.42	-192.38	-0.3	-0.54	-1.08	0.000193
222	-3.2	-3.07	-209.38	0.7	1.26	-5.76	0.000215	-4.1	-3.94	-196.32	0.6	1.08	0.00	0.000196
223	-0.2	-0.19	-209.57	0.4	0.72	-5.04	0.000215	-1.3	-1.25	-197.57	0.4	0.72	0.72	0.000197
224	-2.0	-1.92	-211.49	-0.4	-0.72	-5.76	0.000217	-2.6	-2.50	-200.06	-0.3	-0.54	0.18	0.000200
225	-1.2	-1.15	-212.64	0.0	0.00	-5.76	0.000218	-2.1	-2.02	-202.08	-0.1	-0.18	0.00	0.000202
226	-0.7	-0.67	-213.31	0.1	0.18	-5.58	0.000219	-1.2	-1.15	-203.23	0.2	0.36	0.36	0.000203
227	-4.2	-4.03	-217.34	0.4	0.72	-4.86	0.000222	-5.4	-5.18	-208.42	0.4	0.72	1.08	0.000207
228	-0.5	-0.48	-217.82	0.6	1.08	-3.78	0.000222	-1.4	-1.34	-209.76	0.6	1.08	2.16	0.000208
229	0.6	0.58	-217.25	-0.6	-1.08	-4.86	0.000222	0.3	0.29	-209.47	-0.6	-1.08	1.08	0.000208
230	0.0	0.00	-217.25	-0.4	-0.72	-5.58	0.000223	-0.6	-0.58	-210.05	-0.5	-0.90	0.18	0.000210
231	-0.6	-0.58	-217.82	-0.4	-0.72	-6.30	0.000224	-1.6	-1.54	-211.58	-0.2	-0.36	-0.18	0.000212
232	-4.7	-4.51	-222.34	0.1	0.18	-6.12	0.000228	-6.0	-5.76	-217.34	-0.1	-0.18	-0.36	0.000218
233	-7.8	-7.49	-229.82	0.2	0.36	-5.76	0.000236	-10.1	-9.70	-227.04	0.2	0.36	0.00	0.000227
234	0.4	0.38	-229.44	-0.1	-0.18	-5.94	0.000235	-0.3	-0.29	-227.33	-0.1	-0.18	-0.18	0.000228
235	0.2	0.19	-229.25	0.4	0.72	-5.22	0.000234	0.0	0.00	-227.33	0.3	0.54	0.36	0.000227
236	-2.0	-1.92	-231.17	-0.2	-0.36	-5.58	0.000237	-4.4	-4.22	-231.55	-0.1	-0.18	0.18	0.000231



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

237	-4.4	-4.22	-235.39	-0.3	-0.54	-6.12	0.000242	-5.5	-5.28	-236.83	-0.2	-0.36	-0.18	0.000237
238	-3.9	-3.74	-239.14	-0.3	-0.54	-6.66	0.000246	-4.5	-4.32	-241.15	-0.4	-0.72	-0.90	0.000242
239	-0.9	-0.86	-240.00	0.4	0.72	-5.94	0.000246	-1.4	-1.34	-242.50	0.5	0.90	0.00	0.000242
240	-2.1	-2.02	-242.02	0.1	0.18	-5.76	0.000248	-4.6	-4.42	-246.91	0.0	0.00	0.00	0.000247
241	-3.9	-3.74	-245.76	-0.3	-0.54	-6.30	0.000252	-4.5	-4.32	-251.23	-0.2	-0.36	-0.36	0.000252
242	0.7	0.67	-245.09	-0.2	-0.36	-6.66	0.000252	1.9	1.82	-249.41	-0.2	-0.36	-0.72	0.000250
243	-2.5	-2.40	-247.49	0.0	0.00	-6.66	0.000254	-4.3	-4.13	-253.54	0.0	0.00	-0.72	0.000254
244	-1.1	-1.06	-248.54	1.1	1.98	-4.68	0.000253	-1.7	-1.63	-255.17	1.0	1.80	1.08	0.000254
245	-0.6	-0.58	-249.12	-0.3	-0.54	-5.22	0.000254	-1.1	-1.06	-256.22	-0.2	-0.36	0.72	0.000256
246	-0.1	-0.10	-249.22	-0.1	-0.18	-5.40	0.000255	0.4	0.38	-255.84	-0.2	-0.36	0.36	0.000255
247	0.0	0.00	-249.22	0.0	0.00	-5.40	0.000255	-0.7	-0.67	-256.51	0.1	0.18	0.54	0.000256
248	1.7	1.63	-247.58	0.7	1.26	-4.14	0.000252	-0.9	-0.86	-257.38	0.7	1.26	1.80	0.000256
249	-0.9	-0.86	-248.45	-0.5	-0.90	-5.04	0.000253	-2.5	-2.40	-259.78	-0.5	-0.90	0.90	0.000259
250	0.4	0.38	-248.06	0.3	0.54	-4.50	0.000253	1.0	0.96	-258.82	0.2	0.36	1.26	0.000258
251	2.5	2.40	-245.66	0.1	0.18	-4.32	0.000250	0.5	0.48	-258.34	0.2	0.36	1.62	0.000257
252	-2.1	-2.02	-247.68	-0.3	-0.54	-4.86	0.000253	-4.7	-4.51	-262.85	-0.3	-0.54	1.08	0.000262
253	0.5	0.48	-247.20	-0.4	-0.72	-5.58	0.000253	-1.6	-1.54	-264.38	-0.5	-0.90	0.18	0.000264
254	-0.8	-0.77	-247.97	-0.4	-0.72	-6.30	0.000254	-2.3	-2.21	-266.59	-0.4	-0.72	-0.54	0.000267
255	-1.7	-1.63	-249.60	0.0	0.00	-6.30	0.000256	-3.4	-3.26	-269.86	0.1	0.18	-0.36	0.000270
256	-13.7	-13.15	-262.75	-0.2	-0.36	-6.66	0.000269	-11.9	-11.42	-281.28	-0.2	-0.36	-0.72	0.000282
257	-3.0	-2.88	-265.63	0.2	0.36	-6.30	0.000272	-2.5	-2.40	-283.68	0.1	0.18	-0.54	0.000284
258	-2.0	-1.92	-267.55	-0.3	-0.54	-6.84	0.000274	-4.0	-3.84	-287.52	-0.3	-0.54	-1.08	0.000289
259	-0.4	-0.38	-267.94	-0.4	-0.72	-7.56	0.000275	-1.2	-1.15	-288.67	-0.3	-0.54	-1.62	0.000290
260	-0.5	-0.48	-268.42	0.3	0.54	-7.02	0.000275	-1.0	-0.96	-289.63	0.4	0.72	-0.90	0.000291
261	-3.5	-3.36	-271.78	-0.1	-0.18	-7.20	0.000279	-6.1	-5.86	-295.49	0.0	0.00	-0.90	0.000296



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

262	-2.4	-2.30	-274.08	0.2	0.36	-6.84	0.000281	-3.1	-2.98	-298.46	0.0	0.00	-0.90	0.000299
263	-1.6	-1.54	-275.62	0.1	0.18	-6.66	0.000282	-2.4	-2.30	-300.77	0.2	0.36	-0.54	0.000301
264	-2.4	-2.30	-277.92	0.1	0.18	-6.48	0.000284	-2.7	-2.59	-303.36	-0.1	-0.18	-0.72	0.000304



LAMPIRAN C
PENGOLAHAN DATA UJI SUSUT BETON
SAMPEL 3

NO	SAMPEL 3						
	Beda regangan ($R_1 - R_0$) ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{cor}$ ($R_1 - R_0$)B ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{cor}$ cum ($\mu\epsilon$)	Beda suhu ($T_1 - T_2$) ($^{\circ}C$)	$\mu\epsilon_{suhu}$ ($T_1 - T_2$) ($C_1 - C_2$) ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{suhu}$ cum ($\mu\epsilon$)	$\mu\epsilon_{true} =$ $\mu\epsilon_{cor} +$ $\mu\epsilon_{suhu}$ cum ($\mu\epsilon$)
1	0.0	0.00	0.00	-1.9	-3.42	0.00	0.000000
2	4.0	3.84	3.84	-1.2	-2.16	-2.16	-0.000002
3	-4.8	-4.61	-0.77	1.1	1.98	-0.18	0.000001
4	-1.5	-1.44	-2.21	-1.5	-2.70	-2.88	0.000005
5	-3.0	-2.88	-5.09	-12.3	-22.14	-25.02	0.000030
6	-0.6	-0.58	-5.66	12.3	22.14	-2.88	0.000009
7	-0.4	-0.38	-6.05	-0.3	-0.54	-3.42	0.000009
8	0.0	0.00	-6.05	1.2	2.16	-1.26	0.000007
9	0.1	0.10	-5.95	-7.7	-13.86	-15.12	0.000021
10	0.0	0.00	-5.95	8.1	14.58	-0.54	0.000006
11	0.1	0.10	-5.86	0.7	1.26	0.72	0.000005



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

12	0.1	0.10	-5.76	1.8	3.24	3.96	0.000002
13	0.0	0.00	-5.76	-1.1	-1.98	1.98	0.000004
14	0.0	0.00	-5.76	-0.5	-0.90	1.08	0.000005
15	0.1	0.10	-5.66	-0.5	-0.90	0.18	0.000005
16	0.2	0.19	-5.47	1.0	1.80	1.98	0.000003
17	0.0	0.00	-5.47	0.8	1.44	3.42	0.000002
18	0.0	0.00	-5.47	-3.4	-6.12	-2.70	0.000008
19	0.1	0.10	-5.38	0.4	0.72	-1.98	0.000007
20	0.2	0.19	-5.18	-0.5	-0.90	-2.88	0.000008
21	0.2	0.19	-4.99	0.0	0.00	-2.88	0.000008
22	0.1	0.10	-4.90	0.8	1.44	-1.44	0.000006
23	0.0	0.00	-4.90	0.0	0.00	-1.44	0.000006
24	0.0	0.00	-4.90	1.9	3.42	1.98	0.000003
25	-0.1	-0.10	-4.99	-3.6	-6.48	-4.50	0.000009
26	-0.1	-0.10	-5.09	-0.1	-0.18	-4.68	0.000010
27	-0.1	-0.10	-5.18	-0.1	-0.18	-4.86	0.000010
28	-0.3	-0.29	-5.47	-0.2	-0.36	-5.22	0.000011
29	-0.5	-0.48	-5.95	0.9	1.62	-3.60	0.000010
30	-0.5	-0.48	-6.43	-1.4	-2.52	-6.12	0.000013
31	-0.6	-0.58	-7.01	0.1	0.18	-5.94	0.000013
32	-0.7	-0.67	-7.68	-0.8	-1.44	-7.38	0.000015
33	-1.8	-1.73	-9.41	0.0	0.00	-7.38	0.000017
34	-0.2	-0.19	-9.60	-1.2	-2.16	-9.54	0.000019
35	0.0	0.00	-9.60	0.1	0.18	-9.36	0.000019
36	-5.2	-4.99	-14.59	-1.9	-3.42	-12.78	0.000027



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

37	-2.0	-1.92	-16.51	-1.9	-3.42	-16.20	0.000033
38	-0.5	-0.48	-16.99	1.3	2.34	-13.86	0.000031
39	-0.9	-0.86	-17.86	-0.8	-1.44	-15.30	0.000033
40	-0.9	-0.86	-18.72	-0.8	-1.44	-16.74	0.000035
41	0.0	0.00	-18.72	1.1	1.98	-14.76	0.000033
42	-0.2	-0.19	-18.91	-0.2	-0.36	-15.12	0.000034
43	0.2	0.19	-18.72	0.1	0.18	-14.94	0.000034
44	0.0	0.00	-18.72	-0.2	-0.36	-15.30	0.000034
45	0.7	0.67	-18.05	0.0	0.00	-15.30	0.000033
46	0.0	0.00	-18.05	0.6	1.08	-14.22	0.000032
47	0.3	0.29	-17.76	0.5	0.90	-13.32	0.000031
48	-0.1	-0.10	-17.86	-0.7	-1.26	-14.58	0.000032
49	1.2	1.15	-16.70	0.3	0.54	-14.04	0.000031
50	0.2	0.19	-16.51	1.9	3.42	-10.62	0.000027
51	0.6	0.58	-15.94	1.5	2.70	-7.92	0.000024
52	1.2	1.15	-14.78	1.8	3.24	-4.68	0.000019
53	0.5	0.48	-14.30	-4.5	-8.10	-12.78	0.000027
54	0.5	0.48	-13.82	0.5	0.90	-11.88	0.000026
55	0.3	0.29	-13.54	0.2	0.36	-11.52	0.000025
56	0.2	0.19	-13.34	6.4	11.52	0.00	0.000013
57	0.8	0.77	-12.58	-4.0	-7.20	-7.20	0.000020
58	0.9	0.86	-11.71	1.4	2.52	-4.68	0.000016
59	0.3	0.29	-11.42	0.1	0.18	-4.50	0.000016
60	0.4	0.38	-11.04	-1.9	-3.42	-7.92	0.000019
61	0.5	0.48	-10.56	2.0	3.60	-4.32	0.000015



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

62	0.3	0.29	-10.27	-1.4	-2.52	-6.84	0.000017
63	0.8	0.77	-9.50	0.0	0.00	-6.84	0.000016
64	0.7	0.67	-8.83	-0.6	-1.08	-7.92	0.000017
65	0.4	0.38	-8.45	3.5	6.30	-1.62	0.000010
66	0.3	0.29	-8.16	-0.2	-0.36	-1.98	0.000010
67	0.3	0.29	-7.87	-1.3	-2.34	-4.32	0.000012
68	0.1	0.10	-7.78	-1.1	-1.98	-6.30	0.000014
69	0.1	0.10	-7.68	4.9	8.82	2.52	0.000005
70	0.5	0.48	-7.20	-3.3	-5.94	-3.42	0.000011
71	0.2	0.19	-7.01	-0.5	-0.90	-4.32	0.000011
72	0.2	0.19	-6.82	-0.9	-1.62	-5.94	0.000013
73	0.2	0.19	-6.62	-1.1	-1.98	-7.92	0.000015
74	0.9	0.86	-5.76	2.6	4.68	-3.24	0.000009
75	0.6	0.58	-5.18	-2.0	-3.60	-6.84	0.000012
76	-0.9	-0.86	-6.05	3.4	6.12	-0.72	0.000007
77	0.2	0.19	-5.86	-3.7	-6.66	-7.38	0.000013
78	0.1	0.10	-5.76	-0.2	-0.36	-7.74	0.000014
79	0.0	0.00	-5.76	1.8	3.24	-4.50	0.000010
80	0.1	0.10	-5.66	3.0	5.40	0.90	0.000005
81	0.1	0.10	-5.57	-4.8	-8.64	-7.74	0.000013
82	0.0	0.00	-5.57	3.2	5.76	-1.98	0.000008
83	0.1	0.10	-5.47	-2.8	-5.04	-7.02	0.000012
84	0.2	0.19	-5.28	0.8	1.44	-5.58	0.000011
85	0.0	0.00	-5.28	0.8	1.44	-4.14	0.000009
86	0.2	0.19	-5.09	-1.1	-1.98	-6.12	0.000011



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

87	-0.1	-0.10	-5.18	-0.2	-0.36	-6.48	0.000012
88	0.1	0.10	-5.09	2.4	4.32	-2.16	0.000007
89	0.0	0.00	-5.09	-1.4	-2.52	-4.68	0.000010
90	-0.1	-0.10	-5.18	2.4	4.32	-0.36	0.000006
91	-1.0	-0.96	-6.14	-3.6	-6.48	-6.84	0.000013
92	0.0	0.00	-6.14	0.4	0.72	-6.12	0.000012
93	-0.6	-0.58	-6.72	-0.1	-0.18	-6.30	0.000013
94	-0.1	-0.10	-6.82	0.5	0.90	-5.40	0.000012
95	-3.0	-2.88	-9.70	0.6	1.08	-4.32	0.000014
96	-7.6	-7.30	-16.99	-0.2	-0.36	-4.68	0.000022
97	-0.5	-0.48	-17.47	0.5	0.90	-3.78	0.000021
98	0.6	0.58	-16.90	2.2	3.96	0.18	0.000017
99	6.7	6.43	-10.46	1.0	1.80	1.98	0.000008
100	6.7	6.43	-4.03	0.5	0.90	2.88	0.000001
101	2.7	2.59	-1.44	0.5	0.90	3.78	-0.000002
102	2.1	2.02	0.58	0.0	0.00	3.78	-0.000004
103	0.7	0.67	1.25	0.2	0.36	4.14	-0.000005
104	0.1	0.10	1.34	0.5	0.90	5.04	-0.000006
105	0.2	0.19	1.54	-0.2	-0.36	4.68	-0.000006
106	1.0	0.96	2.50	-0.2	-0.36	4.32	-0.000007
107	0.2	0.19	2.69	0.2	0.36	4.68	-0.000007
108	-0.4	-0.38	2.30	-0.2	-0.36	4.32	-0.000007
109	-0.4	-0.38	1.92	0.0	0.00	4.32	-0.000006
110	-0.2	-0.19	1.73	0.0	0.00	4.32	-0.000006
111	-0.1	-0.10	1.63	0.4	0.72	5.04	-0.000007



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

112	0.0	0.00	1.63	-0.2	-0.36	4.68	-0.000006
113	0.1	0.10	1.73	1.9	3.42	8.10	-0.000010
114	-0.5	-0.48	1.25	-2.7	-4.86	3.24	-0.000004
115	-1.0	-0.96	0.29	0.2	0.36	3.60	-0.000004
116	-2.0	-1.92	-1.63	-0.5	-0.90	2.70	-0.000001
117	-0.2	-0.19	-1.82	0.4	0.72	3.42	-0.000002
118	-0.8	-0.77	-2.59	0.1	0.18	3.60	-0.000001
119	0.8	0.77	-1.82	-0.6	-1.08	2.52	-0.000001
120	-0.5	-0.48	-2.30	-0.2	-0.36	2.16	0.000000
121	0.3	0.29	-2.02	0.3	0.54	2.70	-0.000001
122	-10.9	-10.46	-12.48	0.3	0.54	3.24	0.000009
123	6.7	6.43	-6.05	-0.2	-0.36	2.88	0.000003
124	-0.6	-0.58	-6.62	-0.1	-0.18	2.70	0.000004
125	0.1	0.10	-6.53	1.4	2.52	5.22	0.000001
126	-0.2	-0.19	-6.72	-0.3	-0.54	4.68	0.000002
127	0.7	0.67	-6.05	-0.3	-0.54	4.14	0.000002
128	0.3	0.29	-5.76	0.3	0.54	4.68	0.000001
129	0.1	0.10	-5.66	-0.1	-0.18	4.50	0.000001
130	0.1	0.10	-5.57	-0.1	-0.18	4.32	0.000001
131	0.0	0.00	-5.57	0.2	0.36	4.68	0.000001
132	0.3	0.29	-5.28	0.3	0.54	5.22	0.000000
133	0.4	0.38	-4.90	0.0	0.00	5.22	0.000000
134	0.1	0.10	-4.80	0.1	0.18	5.40	-0.000001
135	0.1	0.10	-4.70	0.1	0.18	5.58	-0.000001
136	0.2	0.19	-4.51	1.0	1.80	7.38	-0.000003



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

137	0.1	0.10	-4.42	-1.0	-1.80	5.58	-0.000001
138	0.2	0.19	-4.22	-0.6	-1.08	4.50	0.000000
139	0.1	0.10	-4.13	-0.1	-0.18	4.32	0.000000
140	-1.1	-1.06	-5.18	0.4	0.72	5.04	0.000000
141	-1.9	-1.82	-7.01	-0.4	-0.72	4.32	0.000003
142	-1.9	-1.82	-8.83	0.7	1.26	5.58	0.000003
143	-1.4	-1.34	-10.18	-1.8	-3.24	2.34	0.000008
144	-1.2	-1.15	-11.33	0.3	0.54	2.88	0.000008
145	-1.3	-1.25	-12.58	-0.1	-0.18	2.70	0.000010
146	-7.5	-7.20	-19.78	0.7	1.26	3.96	0.000016
147	8.5	8.16	-11.62	0.8	1.44	5.40	0.000006
148	0.5	0.48	-11.14	-0.7	-1.26	4.14	0.000007
149	-0.6	-0.58	-11.71	2.8	5.04	9.18	0.000003
150	0.4	0.38	-11.33	-0.5	-0.90	8.28	0.000003
151	-0.3	-0.29	-11.62	-0.5	-0.90	7.38	0.000004
152	1.1	1.06	-10.56	-1.1	-1.98	5.40	0.000005
153	1.6	1.54	-9.02	0.1	0.18	5.58	0.000003
154	-2.2	-2.11	-11.14	0.1	0.18	5.76	0.000005
155	-1.6	-1.54	-12.67	-2.3	-4.14	1.62	0.000011
156	-1.5	-1.44	-14.11	1.9	3.42	5.04	0.000009
157	-1.2	-1.15	-15.26	-0.1	-0.18	4.86	0.000010
158	-0.4	-0.38	-15.65	-0.6	-1.08	3.78	0.000012
159	-1.0	-0.96	-16.61	-0.5	-0.90	2.88	0.000014
160	-0.1	-0.10	-16.70	-0.2	-0.36	2.52	0.000014
161	-0.1	-0.10	-16.80	0.7	1.26	3.78	0.000013



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

162	1.3	1.25	-15.55	0.2	0.36	4.14	0.000011
163	0.4	0.38	-15.17	-0.3	-0.54	3.60	0.000012
164	-0.6	-0.58	-15.74	0.1	0.18	3.78	0.000012
165	0.4	0.38	-15.36	-0.4	-0.72	3.06	0.000012
166	-1.1	-1.06	-16.42	-0.1	-0.18	2.88	0.000014
167	1.9	1.82	-14.59	0.0	0.00	2.88	0.000012
168	-3.2	-3.07	-17.66	-0.1	-0.18	2.70	0.000015
169	1.0	0.96	-16.70	0.3	0.54	3.24	0.000013
170	0.4	0.38	-16.32	-0.1	-0.18	3.06	0.000013
171	-0.6	-0.58	-16.90	0.3	0.54	3.60	0.000013
172	-0.4	-0.38	-17.28	0.2	0.36	3.96	0.000013
173	0.9	0.86	-16.42	0.0	0.00	3.96	0.000012
174	0.3	0.29	-16.13	0.5	0.90	4.86	0.000011
175	-0.3	-0.29	-16.42	0.1	0.18	5.04	0.000011
176	0.7	0.67	-15.74	0.4	0.72	5.76	0.000010
177	0.5	0.48	-15.26	-0.3	-0.54	5.22	0.000010
178	2.4	2.30	-12.96	-1.4	-2.52	2.70	0.000010
179	-2.6	-2.50	-15.46	-0.2	-0.36	2.34	0.000013
180	-1.9	-1.82	-17.28	0.3	0.54	2.88	0.000014
181	-3.6	-3.46	-20.74	0.3	0.54	3.42	0.000017
182	1.9	1.82	-18.91	0.1	0.18	3.60	0.000015
183	-2.0	-1.92	-20.83	0.1	0.18	3.78	0.000017
184	0.4	0.38	-20.45	0.2	0.36	4.14	0.000016
185	0.3	0.29	-20.16	0.1	0.18	4.32	0.000016
186	0.8	0.77	-19.39	-0.2	-0.36	3.96	0.000015



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

187	0.2	0.19	-19.20	0.1	0.18	4.14	0.000015
188	-0.7	-0.67	-19.87	0.2	0.36	4.50	0.000015
189	1.6	1.54	-18.34	-1.0	-1.80	2.70	0.000016
190	-1.0	-0.96	-19.30	-0.3	-0.54	2.16	0.000017
191	-10.9	-10.46	-29.76	-0.3	-0.54	1.62	0.000028
192	8.5	8.16	-21.60	-0.1	-0.18	1.44	0.000020
193	-1.5	-1.44	-23.04	0.3	0.54	1.98	0.000021
194	-0.1	-0.10	-23.14	-1.6	-2.88	-0.90	0.000024
195	-69.6	-66.82	-89.95	-0.3	-0.54	-1.44	0.000091
196	-13.6	-13.06	-103.01	-0.2	-0.36	-1.80	0.000105
197	-8.9	-8.54	-111.55	-0.7	-1.26	-3.06	0.000115
198	-12.3	-11.81	-123.36	-0.7	-1.26	-4.32	0.000128
199	-27.4	-26.30	-149.66	2.9	5.22	0.90	0.000149
200	-4.3	-4.13	-153.79	-2.8	-5.04	-4.14	0.000158
201	-6.9	-6.62	-160.42	0.0	0.00	-4.14	0.000165
202	-2.7	-2.59	-163.01	0.2	0.36	-3.78	0.000167
203	-2.1	-2.02	-165.02	0.2	0.36	-3.42	0.000168
204	-5.5	-5.28	-170.30	0.8	1.44	-1.98	0.000172
205	-5.6	-5.38	-175.68	0.2	0.36	-1.62	0.000177
206	-3.2	-3.07	-178.75	0.0	0.00	-1.62	0.000180
207	-2.6	-2.50	-181.25	1.2	2.16	0.54	0.000181
208	1.5	1.44	-179.81	-0.4	-0.72	-0.18	0.000180
209	-1.6	-1.54	-181.34	-0.2	-0.36	-0.54	0.000182
210	-4.7	-4.51	-185.86	-0.1	-0.18	-0.72	0.000187
211	-4.2	-4.03	-189.89	-0.4	-0.72	-1.44	0.000191



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

212	-4.2	-4.03	-193.92	-0.8	-1.44	-2.88	0.000197
213	-8.3	-7.97	-201.89	-0.2	-0.36	-3.24	0.000205
214	-3.8	-3.65	-205.54	0.2	0.36	-2.88	0.000208
215	-2.8	-2.69	-208.22	-0.3	-0.54	-3.42	0.000212
216	-2.0	-1.92	-210.14	0.1	0.18	-3.24	0.000213
217	-1.9	-1.82	-211.97	0.4	0.72	-2.52	0.000214
218	-2.1	-2.02	-213.98	-0.4	-0.72	-3.24	0.000217
219	-3.9	-3.74	-217.73	-0.1	-0.18	-3.42	0.000221
220	-3.2	-3.07	-220.80	0.0	0.00	-3.42	0.000224
221	-4.2	-4.03	-224.83	-0.4	-0.72	-4.14	0.000229
222	-3.6	-3.46	-228.29	0.7	1.26	-2.88	0.000231
223	-0.5	-0.48	-228.77	0.4	0.72	-2.16	0.000231
224	-2.4	-2.30	-231.07	-0.3	-0.54	-2.70	0.000234
225	-1.9	-1.82	-232.90	0.0	0.00	-2.70	0.000236
226	-0.5	-0.48	-233.38	0.0	0.00	-2.70	0.000236
227	-4.0	-3.84	-237.22	0.4	0.72	-1.98	0.000239
228	-1.5	-1.44	-238.66	0.6	1.08	-0.90	0.000240
229	0.6	0.58	-238.08	-0.4	-0.72	-1.62	0.000240
230	-0.2	-0.19	-238.27	-0.6	-1.08	-2.70	0.000241
231	-0.8	-0.77	-239.04	-0.3	-0.54	-3.24	0.000242
232	-5.1	-4.90	-243.94	0.0	0.00	-3.24	0.000247
233	-8.8	-8.45	-252.38	0.2	0.36	-2.88	0.000255
234	0.3	0.29	-252.10	0.0	0.00	-2.88	0.000255
235	0.1	0.10	-252.00	0.2	0.36	-2.52	0.000255
236	-2.9	-2.78	-254.78	-0.1	-0.18	-2.70	0.000257



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

237	-4.8	-4.61	-259.39	-0.2	-0.36	-3.06	0.000262
238	-2.2	-2.11	-261.50	0.6	1.08	-1.98	0.000263
239	-1.6	-1.54	-263.04	-0.6	-1.08	-3.06	0.000266
240	-3.6	-3.46	-266.50	0.0	0.00	-3.06	0.000270
241	-3.8	-3.65	-270.14	-0.1	-0.18	-3.24	0.000273
242	-0.1	-0.10	-270.24	-0.2	-0.36	-3.60	0.000274
243	-2.7	-2.59	-272.83	0.0	0.00	-3.60	0.000276
244	-2.9	-2.78	-275.62	1.0	1.80	-1.80	0.000277
245	0.7	0.67	-274.94	-0.1	-0.18	-1.98	0.000277
246	0.6	0.58	-274.37	-0.3	-0.54	-2.52	0.000277
247	1.0	0.96	-273.41	0.1	0.18	-2.34	0.000276
248	-0.2	-0.19	-273.60	0.6	1.08	-1.26	0.000275
249	-2.1	-2.02	-275.62	0.5	0.90	-0.36	0.000276
250	1.2	1.15	-274.46	-0.7	-1.26	-1.62	0.000276
251	2.3	2.21	-272.26	0.2	0.36	-1.26	0.000274
252	-3.8	-3.65	-275.90	-0.4	-0.72	-1.98	0.000278
253	-1.6	-1.54	-277.44	-0.4	-0.72	-2.70	0.000280
254	-1.6	-1.54	-278.98	-0.5	-0.90	-3.60	0.000283
255	-2.3	-2.21	-281.18	0.2	0.36	-3.24	0.000284
256	-10.1	-9.70	-290.88	-0.2	-0.36	-3.60	0.000294
257	-3.0	-2.88	-293.76	0.0	0.00	-3.60	0.000297
258	-2.3	-2.21	-295.97	-0.1	-0.18	-3.78	0.000300
259	-0.6	-0.58	-296.54	-0.4	-0.72	-4.50	0.000301
260	0.3	0.29	-296.26	0.3	0.54	-3.96	0.000300
261	-5.1	-4.90	-301.15	-0.1	-0.18	-4.14	0.000305



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

262	-2.5	-2.40	-303.55	0.1	0.18	-3.96	0.000308
263	-2.0	-1.92	-305.47	0.2	0.36	-3.60	0.000309
264	-2.2	-2.11	-307.58	0.1	0.18	-3.42	0.000311



LAMPIRAN D

HASIL PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS

(TES PUNDIT_{plus} MODEL PC1600)

Sampel	Berat (kg)	Volume (m³)	Density (kg/m³)	Transit Time (μs)	Velocity (m/s)	Modulus Elastisitas (GPa)
1	12.70	0.005	2395	69.2	4335	44.9
				68.5	4379	45.9
				68.0	4411	46.5
				68.8	4360	45.5
2	12.56	0.005	2368	67.6	4437	46.5
				65.2	4601	50.1
				66.1	4538	48.7
				67.9	4418	46.2
3	12.81	0.005	2415	69.3	4329	45.2
				67.9	4418	47.1
				67.3	4457	47.9
				66.8	4491	48.6



LAMPIRAN E
HASIL PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS
(Tes Strain Gage)

SAMPEL 1						SAMPEL 2						SAMPEL 3					
SG _{vert} ($\mu\epsilon$)	SG _{horz} ($\mu\epsilon$)	Load (tf)	ϵ_{vert}	σ (MPa)	ϵ_{horz}	SG _{vert} ($\mu\epsilon$)	SG _{horz} ($\mu\epsilon$)	Load (tf)	ϵ_{vert}	σ (MPa)	ϵ_{horz}	SG _{vert} ($\mu\epsilon$)	SG _{horz} ($\mu\epsilon$)	Load (tf)	ϵ_{vert}	σ (MPa)	ϵ_{horz}
0	0	0.56	0.0.E+00	0.310	0.0.E+00	0	0	0	0.00.E+00	0.000	0	7	2	0.59	-7.0.E-06	0.327	2E-06
1	2	1.06	-1.0.E-06	0.588	2.0.E-06	2	0	0.59	2.00.E-06	0.327	0	18	0	1.09	-1.8.E-05	0.604	0
0	6	1.56	0.0.E+00	0.865	6.0.E-06	0	1	1.03	0.00.E+00	0.571	1E-06	25	3	1.56	-2.5.E-05	0.865	3E-06
1	9	2.03	-1.0.E-06	1.125	9.0.E-06	6	5	1.59	6.00.E-06	0.881	5E-06	44	7	2.03	-4.4.E-05	1.125	7E-06
3	13	2.56	-3.0.E-06	1.419	1.3.E-05	17	10	2.06	1.70.E-05	1.142	0.00001	58	12	2.56	-5.8.E-05	1.419	1.2E-05
7	17	3.06	-7.0.E-06	1.696	1.7.E-05	24	14	2.56	2.40.E-05	1.419	1.4E-05	69	16	3.06	-6.9.E-05	1.696	1.6E-05
12	19	3.53	-1.2.E-05	1.957	1.9.E-05	33	18	3.03	3.30.E-05	1.680	1.8E-05	79	19	3.56	-7.9.E-05	1.973	1.9E-05
16	23	4.06	-1.6.E-05	2.251	2.3.E-05	42	22	3.56	4.20.E-05	1.973	2.2E-05	92	26	4.26	-9.2.E-05	2.362	2.6E-05
5	26	4.73	-5.0.E-06	2.622	2.6.E-05	52	26	4.06	5.20.E-05	2.251	2.6E-05	99	29	4.69	-9.9.E-05	2.600	2.9E-05
9	30	5.33	-9.0.E-06	2.955	3.0.E-05	59	30	4.63	5.90.E-05	2.567	0.00003	106	32	5.03	-1.1.E-04	2.788	3.2E-05
12	36	6.23	-1.2.E-05	3.454	3.6.E-05	66	33	5.16	6.60.E-05	2.860	3.3E-05	108	35	5.53	-1.1.E-04	3.066	3.5E-05
13	39	6.76	-1.3.E-05	3.747	3.9.E-05	72	36	5.56	7.20.E-05	3.082	3.6E-05	109	39	6.06	-1.1.E-04	3.359	3.9E-05
14	42	7.09	-1.4.E-05	3.930	4.2.E-05	82	40	6.13	8.20.E-05	3.398	0.00004	108	43	6.56	-1.1.E-04	3.636	4.3E-05
14	45	7.56	-1.4.E-05	4.191	4.5.E-05	89	43	6.59	8.90.E-05	3.653	4.3E-05	106	46	7.06	-1.1.E-04	3.914	4.6E-05
14	48	8.06	-1.4.E-05	4.468	4.8.E-05	95	47	7.06	9.50.E-05	3.914	4.7E-05	103	49	7.53	-1.0.E-04	4.174	4.9E-05
13	52	8.59	-1.3.E-05	4.762	5.2.E-05	104	50	7.53	1.04.E-04	4.174	0.00005	99	53	8.09	-9.9.E-05	4.485	5.3E-05



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

13	54	9.06	-1.3.E-05	5.022	5.4.E-05	113	54	8.06	1.13.E-04	4.468	5.4E-05	94	55	8.56	-9.4.E-05	4.745	5.5E-05
13	57	9.56	-1.3.E-05	5.300	5.7.E-05	121	56	8.56	1.21.E-04	4.745	5.6E-05	89	58	9.06	-8.9.E-05	5.022	5.8E-05
12	61	10.09	-1.2.E-05	5.593	6.1.E-05	136	60	9.06	1.36.E-04	5.022	0.00006	83	60	9.53	-8.3.E-05	5.283	0.00006
11	65	10.56	-1.1.E-05	5.854	6.5.E-05	156	63	9.53	1.56.E-04	5.283	6.3E-05	76	63	10.06	-7.6.E-05	5.577	6.3E-05
10	89	11.09	-1.0.E-05	6.148	8.9.E-05	166	67	10.06	1.66.E-04	5.577	6.7E-05	70	66	10.56	-7.0.E-05	5.854	6.6E-05
8	72	11.59	-8.0.E-06	6.425	7.2.E-05	176	71	10.59	1.76.E-04	5.870	7.1E-05	63	68	11.06	-6.3.E-05	6.131	6.8E-05
6	74	12.06	-6.0.E-06	6.685	7.4.E-05	182	73	11.09	1.82.E-04	6.148	7.3E-05	56	70	11.56	-5.6.E-05	6.408	0.00007
4	78	12.56	-4.0.E-06	6.963	7.8.E-05	188	76	11.56	1.88.E-04	6.408	7.6E-05	51	72	12.06	-5.1.E-05	6.685	7.2E-05
1	81	13.09	-1.0.E-06	7.256	8.1.E-05	193	80	12.06	1.93.E-04	6.685	0.00008	43	74	12.56	-4.3.E-05	6.963	7.4E-05
0	84	13.56	0.0.E+00	7.517	8.4.E-05	198	83	12.56	1.98.E-04	6.963	8.3E-05	37	76	13.06	-3.7.E-05	7.240	7.6E-05
-2	87	14.06	2.0.E-06	7.794	8.7.E-05	208	87	13.09	2.08.E-04	7.256	8.7E-05	31	78	13.56	-3.1.E-05	7.517	7.8E-05
-5	90	14.53	5.0.E-06	8.055	9.0.E-05	204	91	13.56	2.04.E-04	7.517	9.1E-05	24	80	14.06	-2.4.E-05	7.794	0.00008
-8	92	15.03	8.0.E-06	8.332	9.2.E-05	207	94	14.06	2.07.E-04	7.794	9.4E-05	18	83	14.56	-1.8.E-05	8.071	8.3E-05
-11	96	15.59	1.1.E-05	8.642	9.6.E-05	211	98	14.56	2.11.E-04	8.071	9.8E-05	11	85	15.06	-1.1.E-05	8.348	8.5E-05
-15	100	16.09	1.5.E-05	8.919	1.0.E-04	217	103	15.06	2.17.E-04	8.348	0.0001	3	87	15.56	-3.0.E-06	8.626	8.7E-05
-18	103	16.59	1.8.E-05	9.197	1.0.E-04	221	108	15.56	2.21.E-04	8.626	0.00011	-4	89	16.13	4.0.E-06	8.942	8.9E-05
-22	105	17.06	2.2.E-05	9.457	1.1.E-04	224	111	16.06	2.24.E-04	8.903	0.00011	-11	91	16.56	1.1.E-05	9.180	9.1E-05
-25	109	17.56	2.5.E-05	9.734	1.1.E-04	224	116	16.59	2.24.E-04	9.197	0.00012	-19	91	17.06	1.9.E-05	9.457	9.1E-05
-30	111	18.09	3.0.E-05	10.028	1.1.E-04	224	119	17.06	2.24.E-04	9.457	0.00012	-28	93	17.56	2.8.E-05	9.734	9.3E-05
-33	114	18.56	3.3.E-05	10.289	1.1.E-04	220	123	17.56	2.20.E-04	9.734	0.00012	-38	94	18.09	3.8.E-05	10.028	9.4E-05
-38	117	19.09	3.8.E-05	10.582	1.2.E-04	213	125	18.06	2.13.E-04	10.011	0.00013	-45	96	18.53	4.5.E-05	10.272	9.6E-05
-43	119	19.59	4.3.E-05	10.860	1.2.E-04	208	128	18.56	2.08.E-04	10.289	0.00013	-54	98	19.06	5.4.E-05	10.566	9.8E-05
-47	122	20.09	4.7.E-05	11.137	1.2.E-04	205	131	19.03	2.05.E-04	10.549	0.00013	-61	99	19.56	6.1.E-05	10.843	9.9E-05
-52	125	20.56	5.2.E-05	11.397	1.3.E-04	200	132	19.49	2.00.E-04	10.804	0.00013	-69	101	20.06	6.9.E-05	11.120	0.0001
-56	127	21.09	5.6.E-05	11.691	1.3.E-04	196	135	20.06	1.96.E-04	11.120	0.00014	-77	103	20.56	7.7.E-05	11.674	0.0001
-61	130	21.56	6.1.E-05	11.952	1.3.E-04	189	136	20.56	1.89.E-04	11.397	0.00014	-87	105	21.06	8.7.E-05	11.674	0.00011



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-66	133	22.06	6.6.E-05	12.229	1.3.E-04	185	137	21.06	1.85.E-04	11.674	0.00014	-93	107	21.53	9.3.E-05	11.935	0.00011
-71	136	22.56	7.1.E-05	12.506	1.4.E-04	181	136	21.56	1.81.E-04	11.952	0.00014	-102	109	22.06	1.0.E-04	12.229	0.00011
-75	139	23.03	7.5.E-05	12.767	1.4.E-04	174	134	22.03	1.74.E-04	12.212	0.00013	-110	109	22.56	1.1.E-04	12.506	0.00011
-81	142	23.56	8.1.E-05	13.060	1.4.E-04	166	132	22.56	1.66.E-04	12.506	0.00013	-118	111	23.06	1.2.E-04	12.783	0.00011
-86	145	24.06	8.6.E-05	13.338	1.5.E-04	152	125	23.59	1.52.E-04	13.077	0.00013	-127	113	23.56	1.3.E-04	13.060	0.00011
-91	148	24.56	9.1.E-05	13.615	1.5.E-04	148	125	24.09	1.48.E-04	13.354	0.00013	-136	115	24.09	1.4.E-04	13.354	0.00012
-97	150	25.06	9.7.E-05	13.892	1.5.E-04	144	125	24.53	1.44.E-04	13.598	0.00013	-145	117	24.56	1.5.E-04	13.615	0.00012
-102	154	25.56	1.0.E-04	14.169	1.5.E-04	140	126	25.09	1.40.E-04	13.908	0.00013	-154	118	25.06	1.5.E-04	13.892	0.00012
-108	157	26.06	1.1.E-04	14.446	1.6.E-04	130	130	26.06	1.30.E-04	14.446	0.00013	-163	120	25.53	1.6.E-04	14.152	0.00012
-113	159	26.56	1.1.E-04	14.723	1.6.E-04	125	131	26.59	1.25.E-04	14.740	0.00013	-172	122	26.06	1.7.E-04	14.446	0.00012
-118	161	27.03	1.2.E-04	14.984	1.6.E-04	120	134	27.03	1.20.E-04	14.984	0.00013	-181	123	26.56	1.8.E-04	14.723	0.00012
-125	164	27.56	1.3.E-04	15.278	1.6.E-04	113	140	27.56	1.13.E-04	15.278	0.00014	-189	125	27.06	1.9.E-04	15.001	0.00013
-131	167	28.03	1.3.E-04	15.538	1.7.E-04	110	156	28.03	1.10.E-04	15.538	0.00016	-199	127	27.56	2.0.E-04	15.278	0.00013
-138	170	28.59	1.4.E-04	15.849	1.7.E-04	111	139	25.26	1.11.E-04	14.003	0.00014	-208	127	28.06	2.1.E-04	15.555	0.00013
-144	173	29.09	1.4.E-04	16.126	1.7.E-04							-218	129	28.56	2.2.E-04	15.832	0.00013
-150	176	29.59	1.5.E-04	16.403	1.8.E-04							-227	130	29.06	2.3.E-04	16.109	0.00013
-157	179	30.09	1.6.E-04	16.680	1.8.E-04							-237	132	29.59	2.4.E-04	16.403	0.00013
-163	181	30.56	1.6.E-04	16.941	1.8.E-04							-245	134	30.06	2.5.E-04	16.664	0.00013
-169	184	31.03	1.7.E-04	17.201	1.8.E-04							-255	135	30.56	2.6.E-04	16.941	0.00014
-176	187	31.56	1.8.E-04	17.495	1.9.E-04							-264	137	31.06	2.6.E-04	17.218	0.00014
-182	190	32.09	1.8.E-04	17.789	1.9.E-04							-273	139	31.53	2.7.E-04	17.478	0.00014
-189	193	32.59	1.9.E-04	18.066	1.9.E-04							-283	140	32.09	2.8.E-04	17.789	0.00014
-196	196	33.13	2.0.E-04	18.365	2.0.E-04							-291	142	32.56	2.9.E-04	18.049	0.00014
-201	199	33.59	2.0.E-04	18.620	2.0.E-04							-302	143	33.09	3.0.E-04	18.343	0.00014
-208	201	34.06	2.1.E-04	18.881	2.0.E-04							-311	145	33.56	3.1.E-04	18.604	0.00015
-216	203	34.59	2.2.E-04	19.175	2.0.E-04							-321	146	34.06	3.2.E-04	18.881	0.00015



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-222	206	35.09	2.2.E-04	19.452	2.1.E-04							-331	147	34.59	3.3.E-04	19.175	0.00015
-229	209	35.56	2.3.E-04	19.712	2.1.E-04							-340	149	35.06	3.4.E-04	19.435	0.00015
-237	212	36.06	2.4.E-04	19.990	2.1.E-04							-350	151	35.56	3.5.E-04	19.712	0.00015
-244	214	36.56	2.4.E-04	20.267	2.1.E-04							-361	152	36.06	3.6.E-04	19.990	0.00015
-250	218	37.06	2.5.E-04	20.544	2.2.E-04							-371	154	36.59	3.7.E-04	20.283	0.00015
-259	220	37.59	2.6.E-04	20.838	2.2.E-04							-381	155	37.06	3.81.E-04	20.544	0.00016
-266	223	38.06	2.7.E-04	21.098	2.2.E-04							-390	157	37.56	3.90.E-04	20.821	0.00016
-273	225	38.56	2.7.E-04	21.375	2.3.E-04							-401	159	38.09	4.0.E-04	21.115	0.00016
-281	229	39.06	2.81.E-04	21.653	2.3.E-04							-410	160	38.56	4.1.E-04	21.375	0.00016
-288	231	39.56	2.9.E-04	21.930	2.3.E-04							-420	162	39.06	4.2.E-04	21.653	0.00016
-295	234	40.06	3.0.E-04	22.207	2.3.E-04							-429	163	39.52	4.3.E-04	21.908	0.00016
-303	237	40.56	3.0.E-04	22.484	2.4.E-04							-440	164	40.06	4.4.E-04	22.207	0.00016
-310	239	41.09	3.1.E-04	22.778	2.4.E-04							-450	165	40.56	4.5.E-04	22.484	0.00017
-318	242	41.52	3.2.E-04	23.016	2.4.E-04							-460	166	41.02	4.6.E-04	22.739	0.00017
-326	245	42.06	3.3.E-04	23.316	2.5.E-04							-472	167	41.59	4.7.E-04	23.055	0.00017
-333	248	42.59	3.3.E-04	23.609	2.5.E-04							-480	169	42.06	4.8.E-04	23.316	0.00017
-341	251	43.06	3.4.E-04	23.870	2.5.E-04							-491	170	42.56	4.9.E-04	23.593	0.00017
-348	255	43.56	3.5.E-04	24.147	2.6.E-04							-502	172	43.06	5.0.E-04	23.870	0.00017
-356	257	44.06	3.6.E-04	24.424	2.6.E-04							-511	174	43.56	5.1.E-04	24.147	0.00017
-364	260	44.59	3.6.E-04	24.718	2.6.E-04							-522	175	44.09	5.2.E-04	24.441	0.00018
-371	264	45.09	3.7.E-04	24.995	2.6.E-04							-532	177	44.59	5.3.E-04	24.718	0.00018
-380	266	45.59	3.8.E-04	25.273	2.7.E-04							-542	179	45.09	5.4.E-04	24.995	0.00018
-387	269	46.09	3.9.E-04	25.550	2.7.E-04							-552	181	45.56	5.5.E-04	25.256	0.00018
-397	273	46.59	4.0.E-04	25.827	2.7.E-04							-563	182	46.09	5.6.E-04	25.550	0.00018
-403	275	47.06	4.0.E-04	26.087	2.8.E-04							-572	183	46.56	5.7.E-04	25.810	0.00018
-411	278	47.56	4.1.E-04	26.365	2.8.E-04							-583	184	47.09	5.8.E-04	26.104	0.00018



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-419	281	48.06	4.2.E-04	26.642	2.8.E-04							-592	186	47.52	5.9.E-04	26.342	0.00019
-427	284	48.56	4.3.E-04	26.919	2.8.E-04							-601	187	48.02	6.0.E-04	26.620	0.00019
-435	287	49.06	4.4.E-04	27.196	2.9.E-04							-612	189	48.52	6.1.E-04	26.897	0.00019
-442	291	49.56	4.4.E-04	27.473	2.9.E-04							-622	191	49.09	6.2.E-04	27.213	0.00019
-451	293	50.06	4.5.E-04	27.750	2.9.E-04							-634	192	49.59	6.3.E-04	27.490	0.00019
-458	296	50.56	4.6.E-04	28.028	3.0.E-04							-644	194	50.09	6.4.E-04	27.767	0.00019
-466	300	51.06	4.7.E-04	28.305	3.0.E-04							-655	194	50.56	6.6.E-04	28.028	0.00019
-475	304	51.59	4.8.E-04	28.599	3.0.E-04							-666	196	51.06	6.7.E-04	28.305	0.0002
-482	307	52.06	4.8.E-04	28.859	3.1.E-04							-676	198	51.56	6.8.E-04	28.582	0.0002
-492	310	52.66	4.9.E-04	29.192	3.1.E-04							-688	200	52.06	6.9.E-04	28.859	0.0002
-498	313	53.09	5.0.E-04	29.430	3.1.E-04							-698	200	52.56	7.0.E-04	29.136	0.0002
-507	317	53.59	5.1.E-04	29.707	3.2.E-04							-708	201	53.02	7.1.E-04	29.391	0.0002
-514	320	54.06	5.1.E-04	29.968	3.2.E-04							-718	203	53.49	7.2.E-04	29.652	0.0002
-522	324	54.56	5.2.E-04	30.245	3.2.E-04							-729	205	54.09	7.3.E-04	29.984	0.00021
-531	328	55.09	5.3.E-04	30.539	3.3.E-04							-739	206	54.56	7.4.E-04	30.245	0.00021
-540	331	55.59	5.4.E-04	30.816	3.3.E-04							-748	207	54.99	7.5.E-04	30.483	0.00021
-548	335	56.09	5.5.E-04	31.093	3.4.E-04							-760	210	55.52	7.6.E-04	30.777	0.00021
-556	339	56.59	5.6.E-04	31.370	3.4.E-04							-770	211	56.06	7.7.E-04	31.076	0.00021
-565	342	57.09	5.7.E-04	31.647	3.4.E-04							-780	213	56.52	7.8.E-04	31.331	0.00021
-573	346	57.56	5.7.E-04	31.908	3.5.E-04							-791	214	57.09	7.9.E-04	31.647	0.00021
-581	349	58.06	5.8.E-04	32.185	3.5.E-04							-802	216	57.56	8.0.E-04	31.908	0.00022
-589	353	58.56	5.9.E-04	32.462	3.5.E-04							-812	218	58.09	8.1.E-04	32.202	0.00022
-598	357	59.02	6.0.E-04	32.717	3.6.E-04							-823	218	58.52	8.2.E-04	32.440	0.00022
-606	361	59.59	6.1.E-04	33.033	3.6.E-04							-834	220	59.06	8.3.E-04	32.740	0.00022
-614	364	60.06	6.1.E-04	33.294	3.6.E-04							-844	221	59.56	8.4.E-04	33.017	0.00022
-623	368	60.56	6.2.E-04	33.571	3.7.E-04							-855	223	60.06	8.6.E-04	33.294	0.00022



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-631	372	61.06	6.3.E-04	33.848	3.7.E-04							-865	224	60.56	8.7.E-04	33.571	0.00022
-639	376	61.56	6.4.E-04	34.125	3.8.E-04							-875	226	61.02	8.8.E-04	33.826	0.00023
-648	379	61.99	6.5.E-04	34.364	3.8.E-04							-886	228	61.56	8.9.E-04	34.125	0.00023
-656	384	62.56	6.6.E-04	34.680	3.8.E-04							-898	229	62.09	9.0.E-04	34.419	0.00023
-665	387	63.06	6.7.E-04	34.957	3.9.E-04							-907	231	62.52	9.1.E-04	34.658	0.00023
-674	392	63.62	6.7.E-04	35.267	3.9.E-04							-918	232	63.06	9.2.E-04	34.957	0.00023
-683	396	64.06	6.8.E-04	35.511	4.0.E-04							-929	235	63.59	9.3.E-04	35.251	0.00024
-693	401	64.62	6.9.E-04	35.822	4.0.E-04							-940	236	64.06	9.4.E-04	35.511	0.00024
-700	403	65.02	7.0.E-04	36.043	4.0.E-04							-950	237	64.56	9.5.E-04	35.788	0.00024
-710	407	65.56	7.1.E-04	36.343	4.1.E-04							-963	239	65.09	9.6.E-04	36.082	0.00024
-718	411	66.06	7.2.E-04	36.620	4.1.E-04							-973	241	65.56	9.7.E-04	36.343	0.00024
-727	416	66.56	7.3.E-04	36.897	4.2.E-04							-984	242	66.02	9.8.E-04	36.598	0.00024
-736	420	67.09	7.4.E-04	37.191	4.2.E-04							-996	244	66.56	1.0.E-03	36.897	0.00024
-745	424	67.59	7.5.E-04	37.468	4.2.E-04							-1006	247	67.05	1.0.E-03	37.169	0.00025
-752	430	68.05	7.5.E-04	37.723	4.3.E-04							-1017	249	67.55	1.0.E-03	37.446	0.00025
-762	434	68.59	7.6.E-04	38.022	4.3.E-04							-1029	251	68.09	1.0.E-03	37.745	0.00025
-771	437	69.09	7.7.E-04	38.300	4.4.E-04							-1039	252	68.52	1.0.E-03	37.984	0.00025
-781	443	69.65	7.8.E-04	38.610	4.4.E-04							-1051	254	69.09	1.1.E-03	38.300	0.00025
-786	446	69.99	7.9.E-04	38.798	4.5.E-04							-1064	255	69.59	1.1.E-03	38.577	0.00026
-797	452	70.59	8.0.E-04	39.131	4.5.E-04							-1075	255	70.05	1.1.E-03	38.832	0.00026
-806	455	71.09	8.1.E-04	39.408	4.6.E-04							-1087	258	70.59	1.1.E-03	39.131	0.00026
-816	460	71.62	8.2.E-04	39.702	4.6.E-04							-1097	258	71.05	1.1.E-03	39.386	0.00026
-824	465	72.09	8.2.E-04	39.963	4.7.E-04							-1111	261	71.59	1.1.E-03	39.685	0.00026
-843	473	73.09	8.4.E-04	40.517	4.7.E-04							-1123	262	72.09	1.1.E-03	39.963	0.00026
-852	478	73.59	8.5.E-04	40.794	4.8.E-04							-1136	263	72.59	1.1.E-03	40.240	0.00026
-861	483	74.09	8.6.E-04	41.071	4.8.E-04							-1148	265	73.09	1.1.E-03	40.517	0.00027



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-870	488	74.59	8.7.E-04	41.348	4.9.E-04							-1160	266	73.55	1.2.E-03	40.772	0.00027
-880	492	75.09	8.8.E-04	41.626	4.9.E-04							-1172	268	74.02	1.2.E-03	41.033	0.00027
-888	497	75.59	8.9.E-04	41.903	5.0.E-04							-1186	270	74.55	1.2.E-03	41.326	0.00027
-897	501	76.09	9.0.E-04	42.180	5.0.E-04							-1197	272	75.02	1.2.E-03	41.587	0.00027
-908	506	76.59	9.1.E-04	42.457	5.1.E-04							-1210	273	75.52	1.2.E-03	41.864	0.00027
-916	510	77.09	9.2.E-04	42.734	5.1.E-04							-1223	275	76.05	1.2.E-03	42.158	0.00028
-925	516	77.55	9.3.E-04	42.989	5.2.E-04							-1237	278	76.55	1.2.E-03	42.435	0.00028
-934	521	78.09	9.3.E-04	43.289	5.2.E-04							-1249	280	77.05	1.2.E-03	42.712	0.00028
-942	526	78.49	9.4.E-04	43.510	5.3.E-04							-1262	282	77.52	1.3.E-03	42.973	0.00028
-952	530	79.02	9.5.E-04	43.804	5.3.E-04							-1274	284	78.02	1.3.E-03	43.250	0.00028
-963	536	79.55	9.6.E-04	44.098	5.4.E-04							-1288	285	78.55	1.3.E-03	43.544	0.00029
-972	541	80.05	9.7.E-04	44.375	5.4.E-04							-1300	288	79.05	1.3.E-03	43.821	0.00029
-983	546	80.62	9.8.E-04	44.691	5.5.E-04							-1314	290	79.55	1.3.E-03	44.098	0.00029
-992	551	81.09	9.9.E-04	44.952	5.5.E-04							-1328	293	80.05	1.3.E-03	44.375	0.00029
-1002	557	81.55	1.0.E-03	45.207	5.6.E-04							-1340	295	80.52	1.3.E-03	44.636	0.0003
-1013	562	82.09	1.0.E-03	45.506	5.6.E-04							-1355	298	81.05	1.4.E-03	44.930	0.0003
-1021	567	82.59	1.0.E-03	45.783	5.7.E-04							-1368	300	81.55	1.4.E-03	45.207	0.0003
-1032	572	83.09	1.0.E-03	46.060	5.7.E-04							-1384	303	82.05	1.4.E-03	45.484	0.0003
-1040	578	83.55	1.0.E-03	46.315	5.8.E-04							-1398	305	82.55	1.4.E-03	45.761	0.00031
-1053	584	84.15	1.1.E-03	46.648	5.8.E-04							-1411	308	83.02	1.4.E-03	46.022	0.00031
-1060	590	84.59	1.1.E-03	46.892	5.9.E-04							-1428	310	83.59	1.4.E-03	46.338	0.00031
-1070	595	85.05	1.1.E-03	47.147	6.0.E-04							-1444	312	84.05	1.4.E-03	46.593	0.00031
-1080	601	85.59	1.1.E-03	47.446	6.0.E-04							-1463	316	84.52	1.5.E-03	46.853	0.00032
-1090	607	86.09	1.1.E-03	47.723	6.1.E-04							-1481	319	85.05	1.5.E-03	47.147	0.00032
-1100	613	86.59	1.1.E-03	48.001	6.1.E-04							-1501	322	85.55	1.5.E-03	47.424	0.00032
-1109	619	87.02	1.1.E-03	48.239	6.2.E-04							-1520	325	86.05	1.5.E-03	47.701	0.00033



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-1123	627	87.55	1.1.E-03	48.533	6.3.E-04							-1543	324	86.55	1.5.E-03	47.978	0.00032
-1136	636	88.05	1.1.E-03	48.810	6.4.E-04							-1566	327	87.05	1.6.E-03	48.256	0.00033
-1148	644	88.52	1.1.E-03	49.070	6.4.E-04							-1587	330	87.55	1.6.E-03	48.533	0.00033
-1162	652	89.05	1.2.E-03	49.364	6.5.E-04							-1610	336	88.05	1.6.E-03	48.810	0.00034
-1174	659	89.55	1.2.E-03	49.641	6.6.E-04							-1633	344	88.55	1.6.E-03	49.087	0.00034
-1186	666	90.05	1.2.E-03	49.919	6.7.E-04							-1659	361	89.05	1.7.E-03	49.364	0.00036
-1199	672	90.52	1.2.E-03	50.179	6.7.E-04							-1684	383	89.55	1.7.E-03	49.641	0.00038
-1211	678	91.05	1.2.E-03	50.473	6.8.E-04							-1711	414	90.05	1.7.E-03	49.919	0.00041
-1223	685	91.55	1.2.E-03	50.750	6.9.E-04							-1733	456	90.52	1.7.E-03	50.179	0.00046
-1236	691	92.05	1.2.E-03	51.027	6.9.E-04							-1757	503	91.02	1.8.E-03	50.456	0.0005
-1247	697	92.52	1.2.E-03	51.288	7.0.E-04							-1782	550	91.55	1.8.E-03	50.750	0.00055
-1261	703	93.05	1.3.E-03	51.582	7.0.E-04							-1805	565	92.05	1.8.E-03	51.027	0.00057
-1274	710	93.52	1.3.E-03	51.842	7.1.E-04							-1829	619	92.49	1.8.E-03	51.271	0.00062
-1287	716	94.05	1.3.E-03	52.136	7.2.E-04							-1865	836	92.82	1.9.E-03	51.454	0.00084
-1299	723	94.55	1.3.E-03	52.413	7.2.E-04												
-1313	729	95.05	1.3.E-03	52.690	7.3.E-04												
-1328	737	95.55	1.3.E-03	52.968	7.4.E-04												
-1341	747	96.05	1.3.E-03	53.245	7.5.E-04												
-1358	763	96.59	1.4.E-03	53.544	7.6.E-04												
-1370	785	97.05	1.4.E-03	53.799	7.9.E-04												



LAMPIRAN E
HASIL PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS
(Tes Strain Gage)

SAMPL 4						SAMPL 5					
SG _{vert} ($\mu\epsilon$)	SG _{horz} ($\mu\epsilon$)	Load (tf)	ϵ_{vert}	σ (MPa)	ϵ_{horz}	SG _{vert} ($\mu\epsilon$)	SG _{horz} ($\mu\epsilon$)	Load (tf)	ϵ_{vert}	σ (MPa)	ϵ_{horz}
-8	3	0.53	8.00.E-06	0.294	3E-06	0	0	0	0.0.E+00	0.000	0
-15	6	1.06	1.50.E-05	0.588	6E-06	-50	5	2.04	5.0.E-05	1.131	5E-06
-22	11	1.53	2.20.E-05	0.848	1.1E-05	-90	9	4.04	9.0.E-05	2.240	9E-06
-31	17	2.03	3.10.E-05	1.125	1.7E-05	-127	13	6.13	1.3.E-04	3.398	1.3E-05
-38	18	2.56	3.80.E-05	1.419	1.8E-05	-157	17	8.06	1.6.E-04	4.468	1.7E-05
-47	19	3.06	4.70.E-05	1.696	1.9E-05	-187	23	10.04	1.9.E-04	5.566	2.3E-05
-56	20	3.56	5.60.E-05	1.973	0.00002	-218	27	12.05	2.2.E-04	6.680	2.7E-05
-69	21	4.16	6.90.E-05	2.306	2.1E-05	-256	34	14.02	2.6.E-04	7.772	3.4E-05
-77	22	4.56	7.70.E-05	2.528	2.2E-05	-286	40	16.06	2.9.E-04	8.903	0.00004
-90	25	5.06	9.00.E-05	2.805	2.5E-05	-318	42	18.07	3.2.E-04	10.017	4.2E-05
-101	26	5.56	1.01.E-04	3.082	2.6E-05	-350	46	20.08	3.5.E-04	11.131	4.6E-05
-113	27	6.06	1.13.E-04	3.359	2.7E-05	-381	51	22.06	3.8.E-04	12.229	5.1E-05
-125	28	6.56	1.25.E-04	3.636	2.8E-05	-414	56	24.06	4.1.E-04	13.338	5.6E-05
-136	29	7.06	1.36.E-04	3.914	2.9E-05	-446	60	26.07	4.5.E-04	14.452	0.00006
-147	32	7.56	1.47.E-04	4.191	3.2E-05	-463	63	27.11	4.6.E-04	15.028	6.3E-05
-159	32	8.06	1.59.E-04	4.468	3.2E-05	-479	65	28.1	4.8.E-04	15.577	6.5E-05



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-169	34	8.53	1.69.E-04	4.729	3.4E-05	-510	70	30.08	5.1.E-04	16.675	0.00007
-181	36	9.03	1.81.E-04	5.006	3.6E-05	-544	76	32.15	5.4.E-04	17.822	7.6E-05
-192	37	9.53	1.92.E-04	5.283	3.7E-05	-576	80	34.07	5.8.E-04	18.886	0.00008
-203	38	10.06	2.03.E-04	5.577	3.8E-05	-610	85	36.03	6.1.E-04	19.973	8.5E-05
-215	39	10.53	2.15.E-04	5.837	3.9E-05	-644	90	38.06	6.4.E-04	21.098	0.00009
-227	40	11.06	2.27.E-04	6.131	0.00004	-679	98	40.1	6.8.E-04	22.229	9.8E-05
-237	41	11.53	2.37.E-04	6.392	4.1E-05	-713	101	42.1	7.1.E-04	23.338	0.0001
-250	42	12.06	2.50.E-04	6.685	4.2E-05	-747	107	44.06	7.5.E-04	24.424	0.00011
-262	43	12.56	2.62.E-04	6.963	4.3E-05	-781	113	46.06	7.8.E-04	25.533	0.00011
-273	44	13.06	2.73.E-04	7.240	0.00044	-818	119	48.1	8.2.E-04	26.664	0.00012
-283	46	13.53	2.83.E-04	7.500	4.6E-05	-853	124	50.13	8.5.E-04	27.789	0.00012
-295	45	14.09	2.95.E-04	7.811	4.5E-05	-890	129	52.08	8.9.E-04	28.870	0.00013
-306	50	14.59	3.06.E-04	8.088	0.00005	-926	136	54.09	9.3.E-04	29.984	0.00014
-316	51	15.06	3.16.E-04	8.348	5.1E-05	-963	141	56.13	9.6.E-04	31.115	0.00014
-328	51	15.56	3.28.E-04	8.626	5.1E-05	-998	147	58.08	1.0.E-03	32.196	0.00015
-344	51	16.09	3.44.E-04	8.919	5.1E-05	-1035	154	60.03	1.0.E-03	33.277	0.00015
-354	53	16.59	3.54.E-04	9.197	5.3E-05	-1074	159	62.07	1.1.E-03	34.408	0.00016
-364	54	17.09	3.64.E-04	9.474	5.4E-05	-1112	166	64.1	1.1.E-03	35.533	0.00017
-375	54	17.59	3.75.E-04	9.751	5.4E-05	-1152	172	66.08	1.2.E-03	36.631	0.00017
-384	55	18.06	3.84.E-04	10.011	5.5E-05	-1189	178	68.04	1.2.E-03	37.718	0.00018
-395	56	18.56	3.95.E-04	10.289	5.6E-05	-1229	185	70.01	1.2.E-03	38.810	0.00019
-408	58	19.09	4.08.E-04	10.582	5.8E-05	-1272	191	72.08	1.3.E-03	39.957	0.00019
-417	58	19.56	4.17.E-04	10.843	5.8E-05	-1311	196	74.03	1.3.E-03	41.038	0.0002
-429	60	20.09	4.29.E-04	11.137	0.00006	-1357	204	76.09	1.4.E-03	42.180	0.0002
-438	62	20.56	4.38.E-04	11.397	6.2E-05	-1403	213	78.07	1.4.E-03	43.278	0.00021
-451	63	21.09	4.51.E-04	11.691	6.3E-05	-1451	221	80.08	1.5.E-03	44.392	0.00022



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-459	63	21.49	4.59.E-04	11.913	6.3E-05	-1293	163	82.03	1.3.E-03	45.473	0.00016
-472	65	22.06	4.72.E-04	12.229	6.5E-05	-1252	160	84.07	1.3.E-03	46.604	0.00016
-485	66	22.63	4.85.E-04	12.545	6.6E-05	-1245	161	86.1	1.2.E-03	47.729	0.00016
-494	67	23.09	4.94.E-04	12.800	6.7E-05	-1227	159	88.19	1.2.E-03	48.888	0.00016
-505	67	23.56	5.05.E-04	13.060	6.7E-05	-1238	162	90.04	1.2.E-03	49.913	0.00016
-516	69	24.06	5.16.E-04	13.338	6.9E-05	-1246		105.1	1.2.E-03	58.261	0
-527	70	24.53	5.27.E-04	13.598	0.00007						
-540	72	25.13	5.40.E-04	13.931	7.2E-05						
-550	72	25.56	5.50.E-04	14.169	7.2E-05						
-561	72	26.09	5.61.E-04	14.463	7.2E-05						
-571	74	26.56	5.71.E-04	14.723	7.4E-05						
-584	74	27.09	5.84.E-04	15.017	7.4E-05						
-595	76	27.59	5.95.E-04	15.294	7.6E-05						
-607	78	28.09	6.07.E-04	15.572	7.8E-05						
-618	81	28.59	6.18.E-04	15.849	8.1E-05						
-629	81	29.06	6.29.E-04	16.109	8.1E-05						
-640	82	29.56	6.40.E-04	16.386	8.2E-05						
-654	82	30.16	6.54.E-04	16.719	8.2E-05						
-665	83	30.59	6.65.E-04	16.957	8.3E-05						
-677	84	31.13	6.77.E-04	17.257	8.4E-05						
-688	85	31.59	6.88.E-04	17.512	8.5E-05						
-696	85	31.99	6.96.E-04	17.733	8.5E-05						
-712	87	32.65	7.12.E-04	18.099	8.7E-05						
-725	88	33.13	7.25.E-04	18.365	8.8E-05						
-737	89	33.66	7.37.E-04	18.659	8.9E-05						
-747	90	34.09	7.47.E-04	18.898	0.00009						



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-760	90	34.59	7.60.E-04	19.175	0.00009						
-771	91	35.09	7.71.E-04	19.452	9.1E-05						
-783	91	35.62	7.83.E-04	19.746	9.1E-05						
-794	92	36.12	7.94.E-04	20.023	9.2E-05						
-806	93	36.59	8.06.E-04	20.283	9.3E-05						
-818	94	37.09	8.18.E-04	20.561	9.4E-05						
-829	95	37.56	8.29.E-04	20.821	9.5E-05						
-843	96	38.12	8.43.E-04	21.132	9.6E-05						
-856	96	38.62	8.56.E-04	21.409	9.6E-05						
-867	98	39.09	8.67.E-04	21.669	9.8E-05						
-877	98	39.56	8.77.E-04	21.930	9.8E-05						
-892	99	40.09	8.92.E-04	22.224	9.9E-05						
-904	100	40.52	9.04.E-04	22.462	0.0001						
-921	101	41.12	9.21.E-04	22.795	0.0001						
-934	102	41.56	9.34.E-04	23.039	0.0001						
-950	102	42.12	9.50.E-04	23.349	0.0001						
-964	103	42.56	9.64.E-04	23.593	0.0001						
-988	101	43.06	9.88.E-04	23.870	0.0001						
-1019	100	43.62	1.02.E-03	24.180	0.0001						
-1049	100	44.06	1.05.E-03	24.424	0.0001						
-1132	0	43.09	1.13.E-03	23.887	0						
-1211	0	43.09	1.21.E-03	23.887	0						
-1239	0	43.56	1.24.E-03	24.147	0						
-1233	0	44.12	1.23.E-03	24.458	0						
-1099	0	44.56	1.10.E-03	24.702	0						
-950	0	44.99	9.50.E-04	24.940	0						



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-950	0	45.56	9.50.E-04	25.256	0						
-966	0	46.19	9.66.E-04	25.605	0						
-994	0	47.06	9.94.E-04	26.087	0						
-1014	0	47.59	1.01.E-03	26.381	0						
-1030	0	48.16	1.03.E-03	26.697	0						
-1058	0	49.12	1.06.E-03	27.229	0						
-1072	0	49.69	1.07.E-03	27.545	0						
-1088	0	50.19	1.09.E-03	27.822	0						
-1102	0	50.66	1.10.E-03	28.083	0						
-1120	0	51.16	1.12.E-03	28.360	0						
-1141	0	51.59	1.14.E-03	28.599	0						
-1163	0	52.06	1.16.E-03	28.859	0						
-1191	0	52.52	1.19.E-03	29.114	0						
-1216	0	52.96	1.22.E-03	29.358	0						
-1246	0	53.09	1.25.E-03	29.430	0						
-1267	0	54.09	1.27.E-03	29.984	0						
-1289	0	54.66	1.29.E-03	30.300	0						
-1309	0	55.16	1.31.E-03	30.578	0						
-1324	0	55.49	1.32.E-03	30.761	0						
-1374	0	56.09	1.37.E-03	31.093	0						
-1395	0	56.52	1.40.E-03	31.331	0						
-1434	0	57.06	1.43.E-03	31.631	0						
-1466	0	57.56	1.47.E-03	31.908	0						
-1494	0	58.06	1.49.E-03	32.185	0						
-1542	0	58.59	1.54.E-03	32.479	0						
-1569	0	59.06	1.57.E-03	32.740	0						



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

-1601	0	59.56	1.60.E-03	33.017	0						
-1629	0	60.02	1.63.E-03	33.272	0						

Sampel	ϵ_2 (m/m)	S_2 (MPa)	S_1 (MPa)	E (GPa)
1	0.000515	13.309	0.774	25.331
2	0.000277	21.520	9.327	47.413
3	0.000184	6.215	1.261	30.292
4	0.000382	20.582	9.488	30.627
5	0.000610	19.965	0.452	33.086



LAMPIRAN F
HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN

Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengecoran	Umur Beton (Hari)	Massa (gr)	Luas Penampang (cm ²)	Beban (kg)	Tegangan		Konversi ke Silinder Besar (MPa)	Konversi 28 Hari (MPa)	Rata-rata (MPa)
						(kg/cm ²)	(MPa)			
12-Mar-12	16-Mar-12	3	3832	78.57	35500	451.82	45.18	43.44	94.44	74.22
12-Mar-12	16-Mar-12	3	3894	78.57	27250	346.82	34.68	33.35	72.50	
12-Mar-12	16-Mar-12	3	3767	78.57	27750	353.18	35.32	33.96	73.83	
12-Mar-12	16-Mar-12	3	3811	78.57	26000	330.91	33.09	31.82	69.17	
12-Mar-12	16-Mar-12	3	3863	78.57	23000	292.73	29.27	28.15	61.19	
14-Mar-12	21-Mar-12	7	3857	78.57	41250	525.00	52.50	50.48	72.12	66.26
14-Mar-12	21-Mar-12	7	4000	78.57	36500	464.55	46.45	44.67	63.81	
14-Mar-12	21-Mar-12	7	3921	78.57	33250	423.18	42.32	40.69	58.13	
14-Mar-12	21-Mar-12	7	3899	78.57	48500	617.27	61.73	59.35	84.79	
14-Mar-12	21-Mar-12	7	3954	78.57	30000	381.82	38.18	36.71	52.45	
21-Mar-12	10-Apr-12	14	3951	78.57	27500	350.00	35.00	33.65	38.24	44.43
21-Mar-12	10-Apr-12	14	3904	78.57	35500	451.82	45.18	43.44	49.37	
21-Mar-12	10-Apr-12	14	3887	78.57	40750	518.64	51.86	49.87	56.67	
21-Mar-12	10-Apr-12	14	3948	78.57	27500	350.00	35.00	33.65	38.24	
21-Mar-12	10-Apr-12	14	3975	78.57	28500	362.73	36.27	34.88	39.63	



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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

8-Mar-12	17-Apr-12	28	3917	78.57	48500	617.27	61.73	59.35	59.35	58.86
15-Mar-12	15-May-12	28	3901	78.57	56250	715.91	71.59	68.84	68.84	
15-Mar-12	15-May-12	28	3939	78.57	40000	509.09	50.91	48.95	48.95	
15-Mar-12	15-May-12	28	3887	78.57	47250	601.36	60.14	57.82	57.82	
15-Mar-12	15-May-12	28	3776	78.57	48500	617.27	61.73	59.35	59.35	



LAMPIRAN G
HASIL MIX DESIGN

Tabel G-1 Data Fisik Material

Kriteria	Nilai	Satuan
f_c'	60	MPa
MSA	1,9	cm
<i>Slump Flow</i>	30 ± 2	cm
Berat jenis agregat kasar	2,541	gr/cm ³
Berat jenis agregat halus	2,957	gr/cm ³
Berat jenis agregat semen	3,15	gr/cm ³
Kandungan Udara	2	%

Tabel G-2 Kebutuhan Material per m³

Material	Kebutuhan (kg/m³)
Agregat Kasar	935
Agregat Halus	800
Semen	454,3
Silica fume	40
<i>Fly Ash</i>	57,14
Air	146
Viscocrete	7,6



LAMPIRAN H
ALAT DAN MATERIAL





LAMPIRAN I
DOKUMENTASI PENGUJIAN





LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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



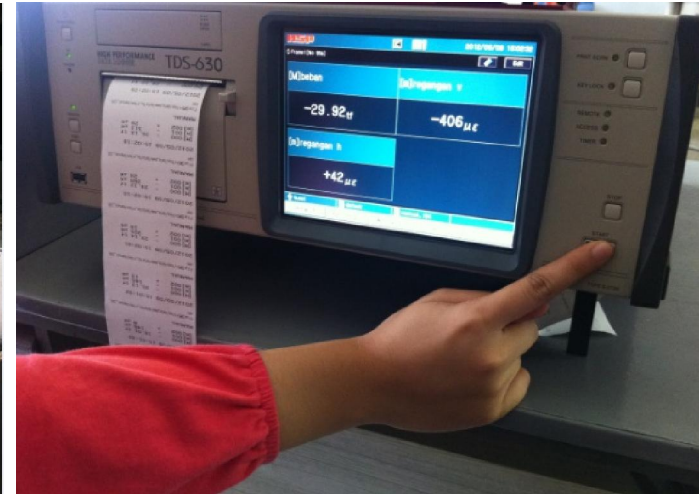


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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





LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil – Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

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