

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	29-3-2001 9/9/08
NO. JUDUL :	
NO. INV. :	177/TA/JTS
NO. INDUK. :	02000 316 3 001

TUGAS AKHIR

PENGUJIAN DAN KONTROL KUALITAS BETON KINERJA TINGGI PADA STRUKTUR KUBAH MASJID KAMPUS TERPADU UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

*(HIGH PERFORMANCE CONCRETE TEST AND QUALITY CONTROL
APPLIED TO THE DOME STRUCTURE OF INTEGRATED CAMPUS
MOSQUE OF ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA)*



MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

Disusun Oleh :

1. Nama : Eddy Susilo
No Mhs. : 95 310 144
N I R M : 950051013114120142
2. Nama : Yogi Satrio Prabowo
No Mhs. : 95 310 128
N I R M : 950051013114120126

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2000**

TUGAS AKHIR

PENGUJIAN DAN KONTROL KUALITAS BETON KINERJA TINGGI PADA STRUKTUR KUBAH MASJID KAMPUS TERPADU UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

*(HIGH PERFORMANCE CONCRETE TEST AND QUALITY CONTROL
APPLIED TO THE DOME STRUCTURE OF INTEGRATED CAMPUS
MOSQUE OF ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA)*

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil**

Disusun Oleh :

**Nama : Eddy Susilo
No. Mhs : 95 310 144
Nirm. : 950051013114120142**

**Nama : Yogi Satrio Prabowo
No. Mhs : 95 310 128
Nirm. : 950051013114120126**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2000**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENGUJIAN DAN KONTROL KUALITAS
BETON KINERJA TINGGI PADA STRUKTUR KUBAH
MASJID KAMPUS TERPADU
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
(HIGH PERFORMANCE CONCRETE TEST AND QUALITY CONTROL
APPLIED TO THE DOME STRUCTURE OF INTEGRATED CAMPUS
MOSQUE OF ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA)**

Disusun Oleh :

**Nama : Eddy Susilo
No. Mhs : 95 310 144
Nirm. : 950051013114120142**

**Nama : Yogi Satrio Prabowo
No. Mhs : 95 310 128
Nirm. : 950051013114120126**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Moch. Teguh, MSCE

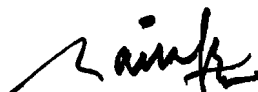
Dosen Pembimbing I

Ir. H. Faisol AM, MS

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 20-12-2000



Tanggal : 20-12-2000

PRAKATA

Assalamu'alaikum, Wr.Wb,

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala taufik dan hidayah-Nya yang telah dilimpahkan selama penyusunan tugas akhir ini. Tugas akhir merupakan persyaratan untuk menyelesaikan studi Strata-1 (tingkat sarjana) pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Selama penyusunan tugas akhir telah banyak bantuan yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu dengan kerendahan hati, diucapkan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Ir. H. Moch. Teguh, MSCE, selaku Dosen Pembimbing I dan Pimpinan Proyek Masjid Kampus Terpadu, UII,
2. Ir. H. Faisol AM. MS, selaku Dosen Pembimbing II,
3. Ir. H. Taddjudin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
4. Ir. H. Suwandojo Siddiq, M.Eng, atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan baik selama pelaksanaan penelitian di PUSLITBANGKIM, Bandung maupun selama penyusunan,
5. Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, atas bantuan dan dorongan selama pelaksanaan penelitian,

6. Seluruh tim lapangan Proyek Masjid Kampus Terpadu, UII (mas Budi, mas Sentot, mas Budi arsitek, Hanan, dan semuanya) atas segala bantuan dan dukungan selama pelaksanaan penelitian di lapangan,
7. Seluruh staf Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, jurusan Teknik Sipil, UII atas bantuan selama pelaksanaan pengujian,
8. Seluruh staf Laboratorium Bahan, PUSLITBANGKIM, terutama bapak Tumino dan bapak Ir. Agus atas bantuan yang diberikan selama pelaksanaan pengujian di Bandung,
9. Kedua orang tua yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik moril maupun materiil,
10. Teman-teman seperjuangan (Heru dan Seno) atas bantuan moril yang diberikan,
11. Rekan-rekan kelas F, angkatan 1995 atas dukungan moril dan dorongan semangat selama penyelesaian tugas akhir,
12. Semua pihak yang tidak dapat disebut satu persatu.

Semoga amal baik yang diberikan akan mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT.

Keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki menyebabkan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk meningkatkan mutu tugas akhir.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Oktober 2000

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Pokok Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kuat Beton Kinerja Tinggi.....	6
2.2 Ketahanan Beton Kinerja Tinggi.....	8
2.3 Workabilitas Beton Kinerja Tinggi.....	9
2.4 Modulus Elastisitas.....	9

BAB III LANDASAN TEORI.....	12
3.1 Tinjauan Umum Struktur Kubah	12
3.1.1 Pengertian Dasar.....	12
3.1.2 Perilaku Struktur	12
3.2 Beton Secara Umum	13
3.3 Beton Kinerja Tinggi	14
3.3.1 Persyaratan Bahan-Bahan Penyusun.....	16
1. Semen.....	16
2. Agregat Kasar (Kerikil)	17
3. Agregat Halus (Pasir).....	18
4. Air	18
5. Bahan-tambah	19
3.3.2 Kuat Tekan Beton Kinerja Tinggi.....	20
3.3.3 Nilai Slump Campuran di Lapangan.....	28
3.3.4 Modulus Elastisitas	29
3.3.5 Pelaksanaan dan Pengendalian Mutu.....	34
1. Pemilihan Material.....	34
2. Perancangan Campuran Beton dan Penyesuaiannya	35
3. Pelaksanaan Produksi (<i>Batching and Mixing</i>).....	37
4. Pengangkutan dan pengecoran.....	38
5. Koordinasi operasional	39
6. Rawatan	40

BAB IV METODE PENELITIAN.....	41
4.1 Bahan dan alat.....	41
4.1.1 Bahan.....	41
4.1.2 Peralatan.....	42
4.2 Pelaksanaan Penelitian.....	43
4.2.1 Rancangan campuran.....	43
4.2.2 Pelaksanaan penelitian lapangan.....	45
1. Pengamatan.....	45
2. Pengujian slump.....	46
3. Pembuatan benda uji.....	47
4. Rawatan benda uji.....	47
4.2.3 Pelaksanaan pengujian laboratorium.....	48
1. Pengujian kuat desak.....	48
2. Pengujian tegangan regangan.....	48
BAB V HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN.....	50
5.1 Hasil pengamatan pelaksanaan pencampuran di lapangan.....	50
5.2 Hasil dan analisis penelitian laboratorium.....	53
5.2.1 Pengujian kuat tekan.....	53
5.2.2 Pengujian slump.....	63
5.2.3 Pengujian tegangan regangan.....	64
BAB VI PEMBAHASAN.....	71
6.1 Kuat tekan beton.....	71

6.1.1 Pencapaian kuat tekan beton	71
6.1.2 Keseragaman kuat tekan beton.....	77
6.2 Slump dan workabilitas.....	79
6.3 Modulus elastisitas.....	80
6.4 Pelaksanaan pencampuran di lapangan.....	91
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	94
7.1 Kesimpulan	94
7.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA.....	xvi
LAMPIRAN	xviii

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pengaruh <i>silica fume</i> pada permeabilitas beton	9
Tabel 3.1	Faktor modifikasi standar deviasi	25
Tabel 3.2	Kuat tekan hasil pengujian jika data kurang dari 15 sampel.....	25
Tabel 3.3	Perkiraan kebutuhan air berdasarkan slump dan ukuran maksimum agregat	35
Tabel 3.4	Perkiraan kebutuhan agregat kasar berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus kehalusan butir	36
Tabel 3.5	Perkiraan berat satuan beton per meter kubik	37
Tabel 5.1	Hasil dan analisis pengujian awal kuat tekan.....	53
Tabel 5.2	Hasil dan analisis pengujian kuat tekan benda uji beton yang diproduksi di lapangan	54
Tabel 5.3	Perhitungan kuat tekan rata-rata dua silinder.....	58
Tabel 5.4	Perhitungan kuat tekan rerata 3 pasang hasil uji	60
Tabel 5.5	Perhitungan kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji	61
Tabel 5.6	Hasil pengujian slump	63
Tabel 5.7	Regangan pada tegangan maksimal	64
Tabel 5.8	Hasil pengujian tegangan regangan C 15-28/1.....	65
Tabel 5.9	Analisis Ec berdasarkan hubungan tegangan regangan.....	67
Tabel 5.10	Analisis Ec berdasarkan pendekatan ACI 318-95 dan ACI 363R-84 ...	67
Tabel 5.11	Perhitungan penyimpangan nilai modulus elastisitas hasil penelitian terregresi terhadap modulus elastisitas pendekatan ACI 318-95	69

Tabel 5.12 Perhitungan penyimpangan nilai modulus elastisitas hasil penelitian

terregresi terhadap modulus elastisitas pendekatan ACI 363R-84..... 69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Faktor air-semen terhadap kuat tekan.....	6
Gambar 2.2	Pengaruh ukuran butir agregat kasar terhadap kuat tekan.....	7
Gambar 2.3	Modulus elastisitas terhadap akar kuadrat kuat tekan	10
Gambar 3.1	Grafik frekuensi dan kuat tekan rata-rata	27
Gambar 3.2	Pengambilan nilai modulus elastisitas.....	31
Gambar 3.3	Perbandingan modulus elastisitas dengan berbagai metode.....	33
Gambar 3.4	Kurva hubungan kuat tekan dan faktor air semen	36
Gambar 6.1	Sebaran kuat tekan rerata dua silinder.....	73
Gambar 6.2	Sebaran kuat tekan rerata tiga pasang hasil uji.....	73
Gambar 6.3	Sebaran kuat tekan rerata empat pasang hasil uji	74
Gambar 6.4	Diagram frekuensi kuat tekan.....	77
Gambar 6.5	Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 31 hari.....	81
Gambar 6.6	Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 29 hari.....	81
Gambar 6.7	Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 28 hari.....	82
Gambar 6.8	Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 27 hari.....	82
Gambar 6.9	Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 26 hari.....	83
Gambar 6.10	Komparasi modulus elastisitas hasil penelitian dengan prediksi ACI 318-95	87
Gambar 6.11	Komparasi modulus elastisitas hasil penelitian dengan prediksi ACI 363R-84.....	89

DAFTAR NOTASI

- ε = regangan bahan, mm/mm.
- σ = tegangan, Mpa.
- $\varepsilon_{0,45}$ = regangan yang terjadi pada tegangan 45% dari tegangan maksimal, mm/mm.
- $\sigma_{0,45}$ = tegangan 45% dari tegangan maksimal, Mpa.
- ΔL_i = perpendekan akibat pembebanan, mm.
- A = luas permukaan silinder yang dibebani, cm².
- cv = koefisien variasi, %.
- D = diameter silinder, mm.
- E_c = modulus elastisitas beton, MPa.
- $E_{c,i}$ = modulus elastisitas beton menurut rumus pendekatan, MPa.
- f_c' = kuat tekan beton rencana, MPa.
- $f_{c',i}$ = kuat tekan beton hasil pengujian, MPa.
- $f_{c',r}$ = kuat tekan beton rata-rata hasil pengujian, MPa.
- k = tetapan statistik, dengan asumsi 5% kegagalan maka Indonesia menggunakan faktor k = 1,64 sedangkan ACI 318-95 menggunakan faktor k = 1,32.
- L_0 = panjang awal, mm.
- n = jumlah benda uji silinder beton.
- N = jumlah data uji slump.

- Pi = beban tekan maksimal, kg atau KN.
- pi = beban, kg atau KN.
- sd = standar deviasi.
- si = slump hasil pengujian lapangan, cm.
- sr = slump rata-rata, cm.
- Vi = volume silinder, m³.
- w = berat satuan, kg/m³.
- wr = berat satuan rata-rata, kg/m³
- Wi = berat silinder beton, kg.
- Yi = modulus elastisitas hasil penelitian yang terregresi, MPa.
- z = selisih antara modulus elastisitas hasil penelitian yang terregresi dengan modulus elastisitas berdasarkan pendekatan, %.

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil pengujian kuat tekan beton
- Lampiran 2 Hasil pengujian dan grafik hubungan tegangan-regangan
- Lampiran 3 Perhitungan standar deviasi kuat tekan beton
- Lampiran 4 Perhitungan analisis regresi dan korelasi modulus elastisitas
- Lampiran 5 Tabel analisis hasil pengujian slump
- Lampiran 6 Uji terhadap kelinearan regresi
- Lampiran 7 Tabel nilai kritik sebaran F
- Lampiran 6 Kartu peserta tugas akhir

ABSTRAK

Produksi beton kinerja tinggi di lapangan sering mengalami permasalahan yaitu tidak tercapainya kuat tekan beton yang ditargetkan terutama untuk kondisi cor di tempat, kurang seragamnya mutu beton dan slump campuran yang dihasilkan, serta terjadinya slump loose. Nilai modulus elastisitas beton dapat diprediksi menurut ACI 318-95 atau ACI 363R-84, namun nilai prediksi tersebut dapat berbeda dengan modulus elastisitas aktual. Untuk struktur khusus seperti kubah dan terowongan, modulus elastisitas sebaiknya dihitung dengan pengujian.

Penelitian dilakukan pada produksi beton kinerja tinggi untuk pembuatan kubah masjid kampus terpadu UII Yogyakarta, dengan metode cor di tempat. Penelitian bertujuan mengetahui pencapaian kuat tekan yang dihasilkan, tingkat keseragaman mutu beton, keseragaman slump campuran, modulus elastisitas beton dan pelaksanaan produksi di lapangan. Penelitian dilakukan dengan mengambil benda uji silinder beton dan menguji slump campuran secara acak di lapangan. Selain itu dilakukan pengamatan selama pelaksanaan produksi beton.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan metode cor di tempat seperti yang dilaksanakan pada pembuatan struktur kubah Masjid Kampus Terpadu UII, mampu dihasilkan beton berkinerja tinggi dengan kuat tekan rata-rata 46,591 MPa, dengan keseragaman mutu yang baik ditunjukkan dengan nilai $sd = 4,612$ MPa dan $cv = 9,899\%$. Selain itu beton yang dihasilkan juga memiliki tingkat keseragaman slump yang baik dengan slump rata-rata 17 cm dengan standar deviasi 1,3 cm. Modulus elastisitas beton rata-rata hasil penelitian 27480,795 MPa, sedangkan nilai prediksi modulus elastisitas rata-rata menurut ACI 318-95 sebesar 31297,079 MPa dan menurut ACI 363R-84 sebesar 28874,545 MPa. Prediksi modulus elastisitas rata-rata menurut ACI 363R-84 lebih mendekati hasil penelitian, dibanding prediksi menurut ACI 318-95. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa kinerja pelaksanaan produksi beton kinerja tinggi untuk struktur kubah cukup baik.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan bahan yang banyak digunakan dalam sistem konstruksi. Beton secara sederhana dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, dan agregat kasar, yang umumnya digunakan pada konstruksi kecil dan menengah. Beton memiliki keterbatasan baik dalam pelaksanaan maupun sifat mekanika, sehingga menjadi kendala penggunaan beton pada konstruksi tertentu.

Dengan perkembangan bahan-tambah (*admixtures*) dan *additives* untuk campuran beton, mampu meningkatkan kinerja beton menjadi material modern yang bermutu tinggi. Beton tersebut memiliki keunggulan berupa kekuatan yang tinggi selain memiliki kinerja yang lain seperti workabilitas dan kekedapan. Keunggulan ini mampu menjawab tuntutan pelaksanaan pekerjaan yang membutuhkan sifat spesifik. Beton kekuatan tinggi (*high strength concrete*) dan beton kinerja tinggi (*high performance concrete*) banyak digunakan untuk struktur gedung bertingkat tinggi, jembatan berbentangan panjang, dan bangunan bawah tanah dengan kandungan sulfat yang tinggi.

Pada pelaksanaan di lapangan, beton kekuatan tinggi dan beton kinerja tinggi masih menunjukkan banyak kendala dan permasalahan, terutama di Indonesia. Menurut Supartono, 1998, berdasarkan pengamatan di lapangan,

permasalahan tersebut pada umumnya dapat dikelompokkan dalam beberapa aspek sebagai berikut :

1. kegagalan mutu beton mencapai target kuat tekan yang sebagaimana disyaratkan, terutama untuk beton cor di tempat,
2. kekurangseragaman mutu beton yang dihasilkan untuk suatu kelompok elemen yang disyaratkan,
3. kekurangteraturan kelecakan beton yang dihasilkan untuk suatu kelompok elemen tertentu,
4. penurunan nilai slump selama tenggang waktu tertentu, antara saat pengadukan dan pengecoran beton.

Dengan adanya variasi bahan campuran beton (terutama agregat kasar) di lapangan, selain dapat mengakibatkan mutu beton bervariasi dapat pula mempengaruhi modulus elastisitas beton, sehingga nilai modulus elastisitas beton yang diproduksi di lapangan dapat berbeda dengan nilai modulus elastisitas hasil pendekatan teoritis.

Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, sedang melaksanakan pembangunan sebuah masjid tingkat tiga dengan memakai konstruksi beton bertulang. Atap masjid berupa kubah berbentuk setengah bola yang dibuat dari beton bertulang dengan diameter 21,6 meter, tebal slab kubah bervariasi dari 300 mm pada kaki hingga 150 mm pada puncak. Kubah didukung oleh delapan buah kolom utama dengan diameter 90 cm. Bangunan direncanakan monumental dengan umur pakai 50 sampai 75 tahun, maka kuat tekan karakteristik yang direncanakan untuk kubah 40 MPa, dan kolom 35 MPa. Penggunaan beton kinerja tinggi pada proyek masjid UII didasarkan atas

beberapa pertimbangan yaitu diperlukan kemudahan pengerjaan pada pengecoran (*workability*), kuat tekan yang tinggi, kekedapan terhadap air dan udara yang baik, sehingga mampu meningkatkan keawetan bangunan dalam jangka panjang.

Untuk mendapatkan seberapa besar pencapaian kuat tekan beton terhadap target yang disyaratkan, keseragaman nilai slump di lapangan, modulus elastisitas beton yang dihasilkan, serta pelaksanaan pengendalian mutu pada pembuatan struktur kubah proyek masjid UII, maka perlu dilakukan penelitian.

1.2 Pokok Permasalahan

Pokok permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Apakah kuat desak dan tingkat keseragaman beton di lapangan, sesuai dengan yang disyaratkan?
2. Bagaimanakah keseragaman nilai slump campuran beton di lapangan?
3. Apakah beton yang diproduksi di lapangan mempunyai nilai modulus elastisitas yang sesuai dengan nilai modulus elastisitas hasil pendekatan teoritis?
4. bagaimanakah pelaksanaan dan pengawasan mutu beton di lapangan?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian pada struktur kubah proyek masjid UII, dijelaskan di bawah ini.

1. Mendapatkan kuat tekan dan tingkat keseragaman mutu beton yang dibuat di lapangan.

2. Mendapatkan keseragaman nilai slump campuran beton selama pelaksanaan pengecoran.
3. Mendapatkan nilai modulus elastisitas beton berdasarkan pengujian tegangan-regangan.
4. Mengetahui pelaksanaan dan pengawasan produksi beton di lapangan.

1.4 Manfaat

Manfaat yang ingin diperoleh dari tugas akhir ini, adalah :

1. Sebagai dasar evaluasi terhadap pelaksanaan pengecoran struktur kubah proyek masjid UII secara umum.
2. Sebagai pertimbangan bagi pelaksanaan pencampuran beton kekuatan tinggi dan kinerja tinggi di lapangan, terutama untuk beton cor di tempat.
3. Sebagai tambahan pengetahuan tentang penggunaan beton kekuatan tinggi dan beton kinerja tinggi, baik untuk struktur kubah maupun struktur yang lain.

1.5 Batasan Masalah

Agar hasil yang diperoleh dapat lebih optimal, maka diperlukan batasan-batasan, antara lain :

1. Lokasi pengamatan pada proyek masjid kampus terpadu UII.
2. Objek pengamatan pada saat pekerjaan pengecoran struktur kubah.
3. Rancangan campuran beton kinerja tinggi menggunakan f_c' rencana 40 MPa, dengan nilai slump 140 mm.

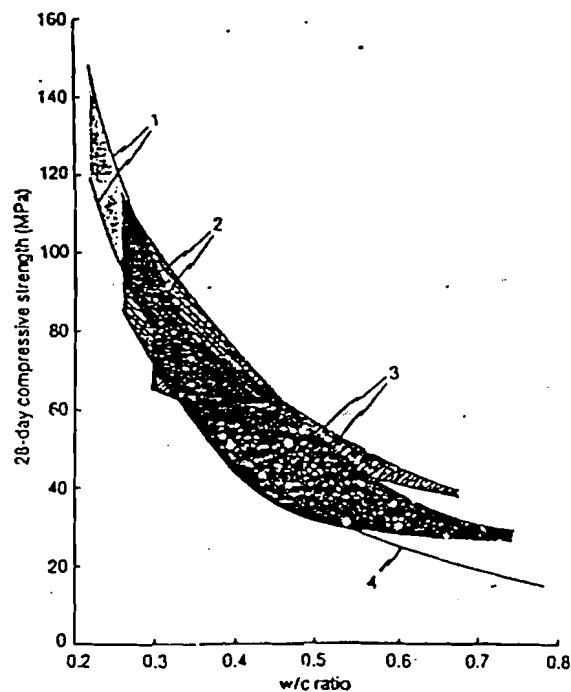
4. Metode pengecoran adalah metode cor di tempat, sesuai dengan pelaksanaan di lapangan.
5. Dalam penulisan tugas akhir ini penentuan tingkat pengendalian mutu beton dititikberatkan dari hasil pengujian kuat desak beton, dan keseragaman nilai slump.
6. Penurunan nilai slump antara pencampuran dan pengecoran (*slump loose*) tidak diteliti.
7. Nilai modulus elastisitas dihitung dari hasil pengujian tegangan-regangan dan membandingkannya dengan modulus elastisitas dari pendekatan teoritis, sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhinya tidak dibahas mendalam.
8. Perhitungan selain menggunakan rumus-rumus statistik juga berdasarkan SK-SNI-91, ACI 363R-84, ACI 318M-95, ACI 318RM-95, dan ACI Standart 214-65.
9. Nilai slump diukur pada adukan yang dibuat benda uji.
10. Pengujian tegangan-regangan dilakukan untuk 20 benda uji, dikarenakan keterbatasan dana dan peralatan.
11. Pengambilan benda uji dilakukan tiga kondisi setiap hari, yaitu pagi, siang dan sore, selama pengecoran kubah berlangsung.
12. Setiap kondisi diambil dua benda uji silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kuat Beton Kinerja Tinggi

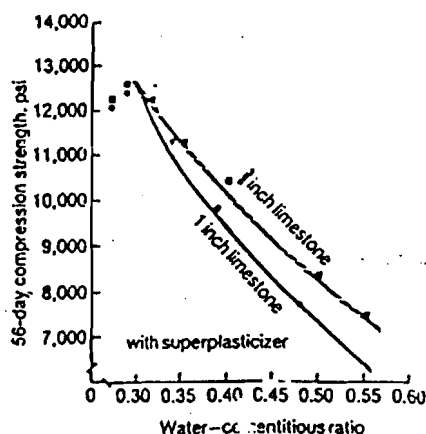
T.H. Wee, M.S. Chin, M.A. Mansur, pada tahun 1996, meneliti tentang pembuatan beton menggunakan bahan tambah *silica fume* dengan faktor air semen (w/c) yang berbeda. Penelitian ini menghasilkan kuat desak beton pada umur 28 hari mencapai 119,9 MPa dengan nilai w/c 0,20, pada w/c 0,3 adalah 85,9 MPa dan pada w/c 0,4 dicapai 70,2 MPa. Hasil dari beberapa penelitian lain tentang pengaruh faktor air semen terhadap beton kinerja tinggi ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Faktor air-semen terhadap kuat tekan
(Sumber : Shah, 1994)

Pada gambar 2.1 ditunjukkan hubungan kuat tekan yang dapat dicapai pada nilai w/c tertentu, kurva 1 diperoleh dari penelitian Aitcin (1992), kurva 2 dari Fiorato (1989), dan kurva 3 dari Cook (1989), serta sebagai perbandingan kurva 4 merupakan pengaruh w/c pada beton normal menurut CPCA (*Canadian Portland Cement Association*, 1991).

Pada tahun 1990, Aitcin dan Mehta melakukan penelitian tentang beton mutu tinggi dengan empat jenis agregat yang berbeda, penggunaan agregat pecah batuan *diabase* menghasilkan kuat desak yang tinggi. Penelitian Aykut Cetin dan Ramon L. Carrasquillo pada tahun 1998 menghasilkan beberapa kesimpulan antara lain penggunaan agregat pecah dengan diameter butir yang kecil mampu meningkatkan kuat desak. Hasil penelitian Cook, 1989 (dikutip dari Shah, 1994) dengan menggunakan agregat *limestone* diameter 3/8 in dan 1 in pada gambar 2.2, menunjukkan penggunaan agregat dengan ukuran butir lebih kecil menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi pada umur 56 hari untuk berbagai nilai w/c.



Gambar 2.2 Pengaruh ukuran butir agregat kasar terhadap kuat tekan (Sumber : Shah, 1994)

Aji Anna Agustiani dan Nanik Sri Bekti, pada tahun 1998 melakukan penelitian tentang pembuatan beton mutu tinggi dengan variasi bahan tambah *fly ash*, *silica fume*, dan *superplasticizer*. Penelitian tersebut menghasilkan penggunaan bahan-tambah *silica fume* dan *fly-ash* secara bersama-sama dengan prosentase masing-masing 50% dari kebutuhan bahan tambah total, mampu menghasilkan kekuatan beton yang lebih tinggi. Pada tahun 1993, Aman Subakti dan Suluh H.S. (dikutip dari Aji Anna, 1998) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa kandungan silikat pada *silica fume* mereduksi Ca(OH)_2 , sehingga meningkatkan kekuatan beton.

2.2 Ketahanan Beton Kinerja Tinggi

Aman Subakti dan Suluh H.S, pada tahun 1993 menyebutkan bahwa penggunaan *silica fume* pada campuran beton meningkatkan kekedapan terhadap rembesan air akibat terbentuknya C-H-S (dikutip dari Aji Anna, 1998). Hal ini didukung oleh penelitian Supartono pada tahun 1995, yang menghasilkan penggunaan *silica fume* pada umumnya meningkatkan kekedapan beton terhadap air dan udara. Peningkatan permeabilitas (kekedapan) beton akan meningkatkan ketahanan beton terhadap korosi bahan kimia yang dapat merusak beton atau tulangan. Hasil penelitian Safwan A. Khedr dan Ahmed F. Idriss (1995), menunjukkan penggunaan *silica fume* pada campuran beton sebesar 15 % dari kebutuhan semen, mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap korosi garam NaCl. Pengaruh penggunaan *silica fume* terhadap permeabilitas beton menurut GjØrv (1983) ditunjukkan pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Pengaruh *silica fume* pada permeabilitas beton
(Sumber : Shah, 1994)**

<i>Cement</i> (OPC) Lb/yd ³ (kg/m ³)	<i>Silica fume</i> Lb/yd ³ (kg/m ³)	<i>Permeability</i> m/s
168,6 (100)	0 (0)	1,6. 10 ⁻⁷
168,6 (100)	16,9 (10)	4,0. 10 ⁻¹⁰
168,6 (100)	33,7 (20)	5,7. 10 ⁻¹¹
421,5 (250)	0 (0)	4,8. 10 ⁻¹¹
421,5 (250)	42,1 (10)	1,8. 10 ⁻¹⁴

2.3 Workabilitas Beton Kinerja Tinggi

Dwi Brhata Aprianto dan Yadi Mulyadi dalam penelitiannya pada tahun 1994, menyebutkan bahwa nilai slump yang tinggi mempermudah pekerjaan beton, namun dapat menurunkan kekuatan beton dan menimbulkan *bleeding*, maka diperlukan bahan-tambah untuk mengurangi kandungan air bebas dalam campuran sehingga dapat meningkatkan workabilitas tanpa mengurangi kekuatan beton.

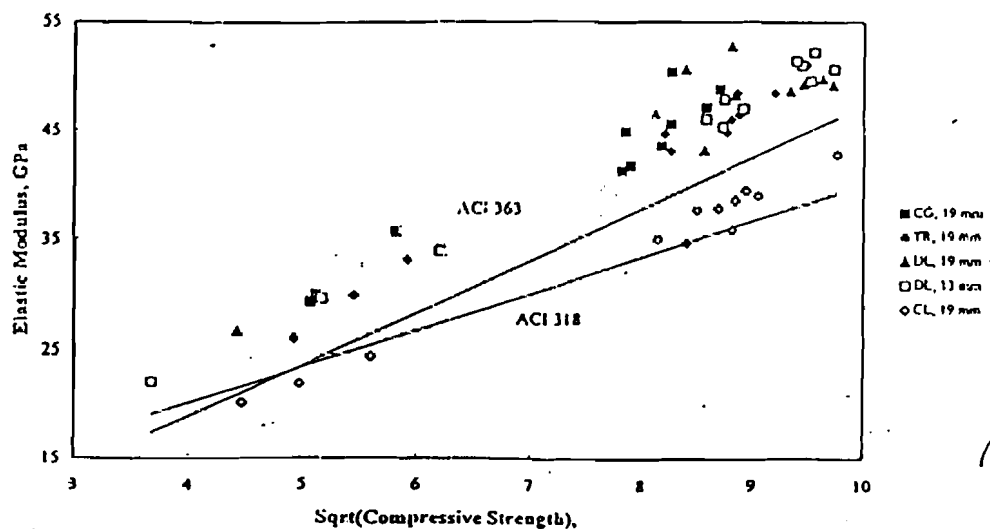
Penelitian Supartono pada tahun 1991, menunjukkan pada bahwa penggunaan *superplasticizer* (Sikament-163) dengan dosis 2% dari kebutuhan air, meningkatkan nilai slump pada kondisi w/c yang rendah (w/c = 0,28) dari slump awal 1,5 cm menjadi slump 18,5 cm, tanpa mengurangi mutu beton. Suwandojo (2000), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa penggunaan *superplasticizer* dapat mengurangi kandungan air sebanyak 30% sampai 35%, tanpa menurunkan workabilitas.

2.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton berdasarkan penelitian Aykut Cetin dan Ramon L. Carrasquillo pada tahun 1998, dipengaruhi oleh karakteristik agregat kasar yang

digunakan yaitu jumlah kandungan agregat, tekstur permukaan, dan ukuran butiran, serta umur pasta semen. Aitcin dan Mehta (1990), menyebutkan bahwa penggunaan agregat kasar batuan pecah *diabase* dan *limestone* akan meningkatkan modulus elastisitas beton. Penelitian yang dilakukan Baalbaki pada tahun 1991 (dikutip dari Carrasquillo, 1998), bahwa penggunaan agregat kasar *quartzite* akan meningkatkan modulus elastisitas namun akan mengurangi kuat tekan beton.

Carrasquillo (1998), membandingkan antara modulus elastisitas dari pengujian tegangan-regangan dengan hasil rumus pendekatan ACI 318-89 dan ACI 363-84 untuk berbagai jenis agregat kasar, hasil penelitian tersebut ditunjukkan pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3 Modulus elastisitas terhadap akar kuadrat kuat tekan
(Sumber : Carrasquillo, 1998)**

Said Iravani (1996), juga melakukan penelitian dengan membandingkan beberapa rumus pendekatan teoritis untuk nilai modulus elastisitas yang ada. Rumus-rumus pendekatan yang digunakan yaitu ACI 318-89, ACI 363-84, CAN3-A23.3-

M84 dan sebuah persamaan baru. Hasil penelitian tersebut, menunjukkan bahwa terjadi perbedaan antara modulus elastisitas berdasarkan rumus pendekatan teoritis dengan nilai modulus elastisitas berdasarkan pengujian. Nilai modulus elastisitas berdasarkan hasil penelitian cenderung lebih rendah dari modulus elastisitas pendekatan ACI 318-89 dengan batasan mencapai 30%. Moreno, 1990 (dikutip dari Shah, 1994) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa hasil pendekatan modulus elastisitas menurut ACI 318-89 untuk beton berkekuatan sangat tinggi (105 MPa) menjadi *overestimates*.

Pada pelaksanaan di lapangan dapat terjadi kondisi yang berbeda dengan yang direncanakan, hal tersebut dapat mempengaruhi mutu dan sifat beton yang dihasilkan terutama untuk beton cor di tempat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang produksi beton kinerja tinggi yang dilakukan di lapangan untuk kondisi cor di tempat. Penelitian tersebut diharapkan dapat mengetahui pelaksanaan produksi beton kinerja tinggi, faktor yang berpengaruh, dan sifat beton yang dihasilkan seperti slump, kuat tekan dan modulus elastisitas.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum Struktur Kubah

3.1.1 Pengertian Dasar

Bentuk lain dari atap lengkung tiga dimensi yang telah diterapkan secara luas adalah kubah setengah bola, yang dapat diperoleh dengan memutar suatu busur dari suatu lingkaran terhadap suatu sumbu vertikal yang melalui pusat lingkaran tersebut. Walaupun secara geometris permukaan struktur ini lebih mudah untuk dijelaskan dibandingkan permukaan hiperbolik paraboloid, tetapi pembuatan konstruksi kubah jauh lebih sulit karena pada kubah tidak ada garis-garis pembentuk konstruksi yang lurus. Joint-joint yang terbentuk seperti juga penutup kubah harus dilengkungkan untuk menyesuaikan dengan bentuk permukaannya, yang menyebabkan konstruksi tersebut menjadi sukar untuk dikerjakan disamping juga harganya menjadi mahal (Nilson, 1991).

3.1.2 Perilaku Struktur

Perilaku struktur yang ideal adalah memikul beban dengan gaya-gaya membran atau sebidang dan menyebarkan ke seluruh bagian secara merata. Struktur kubah yang memiliki kelengkungan positif akan menyalurkan beban ke tumpuan terutama dengan gaya busur tekan, jika struktur ditumpu di sepanjang tepi kubah.

Gaya luar yang bekerja pada tepi selaput akan diredam dengan cepat oleh tumpuan (Fintel, 1987).

3.2 Beton Secara Umum

Beton merupakan bahan konstruksi yang mengalami perkembangan pesat dalam penggunaan di lapangan. Produksi beton tidak sesederhana hanya dengan mencampurkan bahan-bahan dasar, namun harus memperhitungkan berbagai hal seperti pemilihan bahan, perbandingan bahan, cara pengadukan, pengerjaan, pemadatan dan rawatan untuk memperoleh beton segar dan beton keras yang baik. Kelebihan beton adalah memiliki kuat tekan yang tinggi, biaya produksi relatif murah, beton segar mudah diangkut maupun dicetak, dan biaya rawatan yang rendah. Namun, beton mempunyai beberapa kelemahan yaitu kuat tarik yang rendah dan dipengaruhi oleh faktor internal maupun eksternal yang menimbulkan kerusakan, antara lain (Nyoman Parka, 2000) :

1. penyusutan, apabila beton dibiarkan pada udara terbuka maka sebagian air akan menguap sehingga setelah kering volumenya akan menyusut dan menyebabkan keretakan yang sangat merugikan,
2. perubahan volume oleh perubahan sifat thermal antara agregat dan pasta semen,
3. reaksi alkali-silika, merupakan reaksi antara kandungan silika aktif dalam agregat dan alkali dalam semen, reaksi ini akan menimbulkan pemuaian yang dapat mengakibatkan retakan atau pecahnya pasta semen,
4. tidak kedap (*permeable*) beton,

5. serangan zat-zat kimia yang merusak beton seperti sulfat, klorida, asam, karbon dioksida dan soda,
6. proses karbonisasi yaitu bersenyawanya gas karbondioksida di udara dengan kapur pada beton berakibat turunnya pH beton dan mendorong terjadinya korosi.

Untuk meningkatkan kemampuan beton terhadap faktor-faktor yang menimbulkan kerusakan tersebut dan peningkatan tuntutan struktur modern yang memerlukan sifat maupun kekuatan yang khusus, maka dikembangkan beton kekuatan tinggi (*high strength concrete*) dan beton kinerja tinggi (*high performance concrete*).

Menurut ACI, beton kekuatan tinggi (*high strength concrete*) didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan silinder melebihi 41 MPa. Beton kinerja tinggi (*high performance concrete*) menurut Said Iravani sebagai beton yang mempunyai kinerja khusus, tidak selalu dapat terpenuhi dengan menggunakan bahan konvensional, dan membutuhkan pelaksanaan pencampuran serta perawatan yang baik.

3.3 Beton Kinerja Tinggi

Prosedur pembuatan campuran beton kinerja tinggi pada dasarnya hampir sama dengan beton normal, tetapi berbeda pada proses pemberian bahan-tambah (*admixture*) yang menggantikan sebagian dari kandungan semen dalam campuran tersebut. Untuk beton yang mempunyai kuat tekan sangat tinggi sering diperlukan agregat yang berbutir lebih kecil. Dalam *mix design* beton kinerja tinggi, dikenal beberapa tipe bahan tambahan untuk memodifikasi kekuatan beton, seperti

superplasticizer (pengurang kandungan air dalam campuran beton), *fly ash* (abu terbang), *polymers*, *silica fume*, dan debu kerak tungku (Suwandojo Siddiq, 2000).

Bahan-tambah tersebut memiliki keunggulan yang berbeda, namun dapat digunakan secara bersamaan tergantung pada kinerja beton yang diharapkan. *Superplasticizer* umumnya digunakan untuk meningkatkan workabilitas campuran, selain itu dapat meningkatkan kepadatan beton sehingga kekuatan beton juga meningkat. *Fly-ash* menguntungkan pada volume beton yang besar karena mampu mengurangi hidrasi thermal yang dapat menimbulkan keretakan. Penggunaan *silica fume* akan mengisi pori-pori pada daerah transisi (*transien zona*) antara pasta semen dengan agregat, sehingga meningkatkan kekuatan beton.

Penggunaan beton kinerja diharapkan memiliki kelebihan dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi modern, antara lain (Supartono, 1998) :

1. pada beton segar (*fresh concrete*),
 - a. kemudahan pengerjaan pengecoran (*workability*),
 - b. kemudahan pemompaan ke tingkat yang tinggi (*pumpability*),
 - c. panas hidrasi yang rendah (*low heat of hydration*),
 - d. mutu awal yang tinggi (*high early strength*),
 - e. penundaan waktu-ikat awal (*retardation*),
2. pada beton yang sudah mengeras (*hardened concrete*),
 - a. mutu kuat tekan yang tinggi (*high strength*),
 - b. keawetan yang tinggi secara jangka panjang (*durability*),
 - c. kedap air dan udara (*low water and air tightness*),
 - d. ketahanan terhadap korosi sulfat (*sulphate corrosion resistance*),

- e. penetrasi klorida yang rendah (*low chloride penetration*),
- f. ketahanan terhadap cuaca dingin beku (*frost resistance*),
- g. susut yang rendah (*low shrinkage*),
- h. deformasi dan rangkai yang rendah (*low deformation and creep*),

Beton kinerja tinggi tidak selalu mengharuskan semua kinerja tersebut dimiliki sekaligus, melainkan hanya kinerja yang sesuai dengan jenis pekerjaan. Untuk mencapai tujuan tersebut secara optimal, penggunaan beton kinerja tinggi pada umumnya menuntut mutu kuat tekan yang tinggi.

3.3.1 Persyaratan Bahan-Bahan Penyusun

1. Semen

Semen yang dihasilkan oleh suatu pabrik mungkin berbeda sifat fisik dan kimia dengan semen produk pabrik yang lain, beton kinerja tinggi memerlukan kandungan bahan pengikat yang bermutu tinggi. Kehalusan butiran bahan pengikat sangat menentukan dan mempengaruhi *workability* dari campuran beton saat masih segar dan kuat tekannya setelah mengeras (Suwandojo Siddiq, 2000). Jenis semen portland di Indonesia (PUBI 1982) berdasarkan standar ASTM, dibagi menjadi lima macam.

1. Tipe I, untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Tipe II, untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, untuk penggunaan yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.

4. Tipe IV, untuk penggunaan yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V, untuk penggunaan dengan persyaratan ketahanan terhadap sulfat yang tinggi.

Beton kinerja tinggi dapat diproduksi dengan baik menggunakan semen tipe I, II, dan III (Shah, 1994).

2. Agregat Kasar (Kerikil)

Pada beton kinerja tinggi digunakan agregat kasar dengan tingkat penyerapan air kurang dari 1%, sehingga kadar air total pada beton segar akan lebih mudah dikontrol. Hal ini dapat mengurangi terjadinya kekurangteraturan mutu dan nilai slump yang dihasilkan. Agregat kasar sebaiknya mempunyai bentuk fisik kubikal dan tajam untuk menghasilkan kuat tekan beton yang tinggi. Ukuran maksimum butiran agregat berdasarkan penelitian, menunjukkan bahwa agregat dengan ukuran butiran kurang dari 15 mm menghasilkan beton yang berkekuatan tinggi. Namun penggunaan agregat dengan ukuran maksimum butiran kurang dari 25 mm, masih mampu menghasilkan mutu beton yang tinggi. Kuat tekan agregat kasar tidak boleh lebih rendah dari kekuatan butir semen, dan harus bersih dari bahan organik yang merusak beton seperti lumpur maupun bahan kimia. Kandungan lumpur dan bahan organik untuk agregat kasar disyaratkan maksimum 1%, apabila lebih agregat harus dicuci. Selain itu gradasi yang baik dan teratur perlu diusahakan, dengan pengambilan dari sumber yang sama (Supartono, 1998).

3. Agregat Halus (Pasir)

Pasir merupakan bahan pengisi, dengan ukuran butir kurang dari 5 mm. Menurut standar ASTM (*American Society of Testing Materials*) ukuran butir pasir bervariasi antara saringan no. 4 sampai no. 100. Menurut PBBI 1971, agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 2,5% (ditentukan dari berat kering). Agregat halus yang digunakan disarankan mempunyai bentuk partikel bulat dengan tekstur permukaan halus. Untuk beton kinerja tinggi disarankan menggunakan pasir dengan nilai Modulus Kekalusan Butir di antara 2,5 sampai 3,2. Hal ini adalah untuk memenuhi persyaratan *workability*. Semakin rendah nilai modulus kehalusan butir makin rendah sifat *workability* beton sehingga memerlukan jumlah air yang lebih banyak (Suwandojo Siddiq, 2000). Nilai modulus kehalusan butir didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan kemudian dibagi seratus.

4. Air

Air merupakan komponen campuran beton yang berpengaruh pada faktor air-semen, sehingga dapat menentukan kekuatan dan kemudahan pekerjaan. Untuk mendapatkan campuran beton yang baik, maka air harus bersih dan bebas dari kandungan minyak, asam, alkali, bahan organik atau bahan lain yang dapat merusak beton atau baja tulangan. Pada dasarnya air yang layak sebagian air minum, baik untuk digunakan pada campuran beton (Suwandojo, 2000). Pemakaian air untuk campuran beton sebaiknya memenuhi persyaratan kandungan lumpur kurang dari 2 gram/liter, kandungan garam tidak lebih dari 15 garam/liter, kandungan khlorida

kurang dari 0,5 gram/liter, dan tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

5. Bahan-tambah

Bahan-tambah adalah bahan yang berfungsi meningkatkan dan memperbaiki sifat beton untuk mencapai kinerja yang baik. Bahan-tambah yang banyak digunakan adalah *fly-ash*, *silica fume*, dan *superplasticizer*.

Fly-ash atau abu terbang diperoleh dari sisa pembakaran batu bara, berupa serbuk yang sangat halus. *Fly-ash* bersifat pozzolan, yaitu mempunyai kandungan utama silika (SiO_2) dan alumina, berbutir halus berupa partikel bulat, tetapi tidak mempunyai sifat hidrasi seperti semen. Penggunaan *fly-ash* pada campuran beton memberikan keuntungan, butiran yang halus mengisi pori-pori beton, sehingga memperkecil porositas (Supartono, 1998).

Silica fume adalah abu pembakaran dari proses pembuatan *silicon metal* atau *silicon alloy* dalam tungku pembakaran listrik. Butiran partikel *silica fume* mempunyai ukuran antara 0,1 sampai 0,2 μ meter, dengan komposisi kimia sebagai berikut: SiO_2 : 93,3%, Al_2O_3 : 0,8%, Fe_2O_3 : 1,6%, CaO : 0,3%, SO_3 : 0,2%, MgO : 0,5%, L.O.I: 1,5%, Alkali: 0,17% (Said Iravani, 1996). Penggunaan *silica fume* lebih dari 5% dari kandungan semen akan meningkatkan kebutuhan air pada campuran, hal ini disebabkan besarnya luas total permukaan *silica fume* yang harus dibasahi. Beton segar dengan *silica fume* lebih kohesif akan memperkecil segregasi (ACI Committee 234). Kandungan SiO_2 dalam *silica fume* akan bereaksi dengan Ca(OH)_2 yang terbentuk dari reaksi semen dan air, reaksi ini menghasilkan C-S-H. Berkurangnya

Ca(OH)_2 dalam campuran akan meningkatkan kekedapan dan kekuatan beton (Subakti, 1993)

Superplasticizer diperlukan karena kondisi w/c yang rendah pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, untuk bisa mengontrol dan menghasilkan nilai slump yang optimal pada beton segar sehingga meningkatkan kinerja pengecoran. Penggunaan *superplasticizer* sesuai dengan standar ASTM-C.494-81 tipe F, yaitu bahan-tambah yang dapat mengurangi air 10% sampai 30% dengan waktu-ikat normal. Dosis yang sebaiknya digunakan adalah 6 oz sampai 20 oz setiap 100 lbs (177 mL sampai 591 mL setiap 45 kg) kandungan semen. Bahan ini selain mengurangi jumlah air yang digunakan, juga mempermudah pengaturan susunan partikel semen dalam campuran beton. Dengan penambahan *superplasticizer* gaya tarik permukaan semen dapat dihilangkan, sehingga pengelompokan partikel semen dapat dihindari.

3.3.2 Kuat Tekan Beton Kinerja Tinggi

Secara umum kuat tekan beton kinerja tinggi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti rasio air semen, umur beton, kualitas agregat dan bahan-tambah yang digunakan. Rasio air semen yang rendah $[\text{w}/(\text{c}+\text{p})]$ merupakan faktor yang paling menentukan, hal ini meminimalkan porositas beton yang terjadi. Pada beton kinerja tinggi biasanya digunakan $[\text{w}/(\text{c}+\text{p})]$ antara 0,35 sampai 0,45 sedangkan untuk beton kekuatan tinggi berkisar antara 0,2 sampai 0,35. Peningkatan kekuatan beton umumnya mencapai maksimal pada umur 28 hari, namun penggunaan bahan-tambah yang bersifat pozzolan memberikan peningkatan kekuatan sebesar 10% sampai 15% sampai umur 90 hari. Oleh karena itu, perlu mempertimbangkan kuat tekan beton

pada umur 56 hari atau 90 hari sebagai parameter kuat tekan beton. Penggunaan agregat kasar dengan bentuk kubikal dan tajam memberikan daya-lekat mekanik yang lebih baik antara agregat dengan mortar sehingga meningkatkan kuat tekan beton. Untuk meningkatkan kuat tekan beton digunakan ukuran maksimum butiran agregat kasar yang kecil, ukuran butir yang besar akan memperkecil luas permukaan agregat sehingga mengurangi lekatan antara pasta semen dengan agregat.

Sebelum pekerjaan pengecoran dilaksanakan, perlu dilakukan pembuatan dan pengujian awal terhadap benda uji dengan *mix design* yang akan digunakan di lapangan. Pengujian tersebut dimaksudkan untuk mengetahui kuat tekan beton yang tercapai menggunakan rancangan campuran yang ditentukan, terhadap kuat tekan yang diharapkan. Rawatan yang dilakukan adalah dengan merendam benda uji selama 28 hari sampai saat pengujian, sesuai standar rawatan di laboratorium.

Produksi beton di lapangan dipengaruhi oleh variasi bahan terutama agregat, cara pengadukan, ketrampilan dan stabilitas pekerja. Hal tersebut dapat mengakibatkan mutu beton tidak seragam bahkan memungkinkan tidak tercapainya mutu beton yang disyaratkan. Untuk dapat mengetahui mutu beton yang diproduksi di lapangan perlu dilakukan pengambilan sampel, menurut ACI 318M-95 sub bab 5.6.1.1 dan 5.6.1.2, frekuensi pengambilan sampel adalah sebagai berikut ini.

1. Persyaratan minimum frekuensi sampel benda uji beton diambil :
 - a. satu kali setiap hari pada satu kelas beton selama pengecoran,
 - b. tidak kurang dari satu kali setiap 120 m^3 setiap hari,

- c. tidak kurang dari satu kali setiap 500 m³ luas pengecoran *slab* atau *wall* setiap hari, jika rata-rata tebal *slab* atau *wall* kurang dari 250 mm maka disyaratkan pengambilan benda uji satu kali setiap 120 m³ pengecoran.
2. Jika dari volume total pengecoran dilakukan pengambilan sampel berdasarkan persyaratan nomor 1, diperoleh kurang dari 5 sampel kuat tekan. Maka harus diambil minimal 5 sampel secara acak pada pengecoran atau diambil sampel setiap adukan apabila pada pengecoran digunakan kurang dari 5 kali adukan.

Sampel selanjutnya diuji di laboratorium untuk kemudian dievaluasi.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut dihitung berat satuan beton dan kuat tekan beton

berdasarkan persamaan :

$$A_i = \frac{1}{4} (\pi \cdot D^2) \quad (3.1)$$

$$f_{c'i} = \frac{P_i}{A_i} \quad (3.2)$$

$$w_i = \frac{W_i}{V_i} \quad (3.3)$$

Dengan :

$f_{c'i}$ = kuat tekan beton (MPa)

P_i = beban maksimal (KN)

A_i = luas permukaan silinder yang ditekan (mm²)

D = diameter silinder (mm)

w_i = berat satuan beton (kg/m³)

W_i = berat silinder beton (kg)

V_i = volume silinder (m³).

Kuat tekan rata-rata dan berat satuan beton rata-rata dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$f_c'r = \frac{\sum f_c'i}{n} \quad (3.4)$$

$$w_r = \frac{\sum w_i}{n} \quad (3.5)$$

Dengan :

$f_c'r$ = kuat tekan rata-rata (MPa)

$f_c'i$ = kuat tekan beton hasil uji (MPa)

w_i = berat satuan beton (kg/m^3)

w_r = berat satuan beton rata-rata (kg/m^3)

n = jumlah benda uji

Nilai kuat tekan yang dicapai pada pengujian awal di laboratorium dapat digunakan sebagai evaluasi terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan di lapangan. Menurut peraturan ACI 318-95, sub bab 5.6.3 disebutkan bahwa kuat tekan benda uji beton yang dihasilkan di lapangan dengan metode rawatan lapangan (*field-cured specimens*) menurut ASTM C 31, tidak boleh kurang dari 0,85 kuat tekan beton yang diproduksi dan dirawat dengan standar laboratorium (*standart laboratory moist-cured specimens*).

Untuk mengetahui kuat tekan beton (f_c') riil dari hasil pengujian digunakan persamaan berikut :

$$f_c' = f_c'r - 1,64.S_d \quad (3.6)$$

Dengan menggunakan persamaan menurut ACI 318-95 sub bab 5.3.2, sebagai berikut

$$f_c' = f_c'r - 1,32.S_d \quad (3.7)$$

Dengan :

f_c' = kuat tekan riil dari hasil pengujian (MPa)

$f_c'r$ = kuat tekan rata-rata dari pengujian (MPa)

sd = standar deviasi data kuat tekan hasil pengujian (MPa).

Nilai standar deviasi dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (f_c'i - f_c'r)^2}{n - 1}} \quad (3.8)$$

Dengan:

$f_c'r$ = kuat tekan beton rata-rata hasil pengujian (MPa)

$f_c'i$ = kuat tekan beton hasil pengujian (MPa)

f_c' = kuat tekan beton rencana (MPa)

n = jumlah benda uji

sd = standar deviasi (MPa)

Pada peraturan ACI 318-95 sub bab 5.3.1.2, apabila jumlah data hasil pengujian kuat tekan kurang dari 30 buah, maka perlu dilakukan modifikasi terhadap nilai standar deviasi. Modifikasi tersebut ditunjukkan dalam tabel 3.1. Untuk pengujian dengan sampel kurang dari 15 benda uji, nilai f_c' dari hasil pengujian tidak dapat dihitung dengan persamaan 3.6 maupun 3.7. Hal tersebut dikarenakan secara statistik data tidak mencukupi untuk diambil standar deviasinya. Oleh karena itu, dalam ACI 318-95 sub bab 5.3.2.2 disebutkan apabila data pengujian kurang 15 sampel, maka nilai kuat tekan riil dari hasil pengujian adalah dihitung berdasarkan tabel 3.2.

**Tabel 3.1 Faktor modifikasi standar deviasi
(sumber: ACI 318-95, sub bab 5.3.1.2)**

Jumlah data uji	Faktor modifikasi
kurang dari 15	Menggunakan tabel 3.2
15	1,16
20	1,08
25	1,03
Lebih dari 30	1,00

Tabel 3.2 Kuat tekan hasil pengujian jika data kurang dari 15 sampel

f_c' spesifikasi	f_c' hasil pengujian, MPa
kurang dari 21	$f_c'r - 7,0$
21 sampai 25	$f_c'r - 8,5$
Lebih dari 35	$f_c'r - 10,0$

Berdasarkan ACI 318M-95 dan ACI 318RM-95 sub bab 5.6.2.3 dilakukan evaluasi secara individual terhadap hasil uji kuat tekan. Mutu beton yang dihasilkan dikatakan memenuhi syarat, apabila :

1. setiap rata-rata dari tiga pasang hasil pengujian berturut-turut (setiap pasang hasil pengujian adalah rata-rata dua silinder) lebih dari atau sama dengan nilai f_c' ,
2. tidak satupun dari rata-rata dua silinder kurang dari 3,5 MPa dari f_c' .

Persyaratan di atas memberikan hasil yang dapat diterima dan sesuai untuk semua jenis beton yang digunakan pada perancangan struktur. Jika persyaratan kedua tidak terpenuhi, maka selain memperbaiki adukan beton juga perlu dilakukan uji tidak merusak untuk memastikan daya dukung struktur aktual tidak membahayakan.

Selain diperlukan tercapainya mutu beton yang disyaratkan, keseragam mutu beton juga harus diperhatikan. ACI Committee 363R-92 memberikan kriteria

keseragaman mutu beton bila nilai standar deviasi antara 3,5 sampai 5 MPa. Penilaian terhadap tingkat keseragaman mutu pencampuran beton selain dengan standar deviasi, dapat menggunakan nilai koefisien variasi. Pekerjaan beton di lapangan dianggap baik dengan mutu pencampuran yang seragam, apabila nilai koefisien variasi kurang dari 20% (Suwandojo Siddiq), dihitung dengan persamaan berikut :

$$cv = \frac{Sd}{fc'r} \times 100 \% \quad (3.9)$$

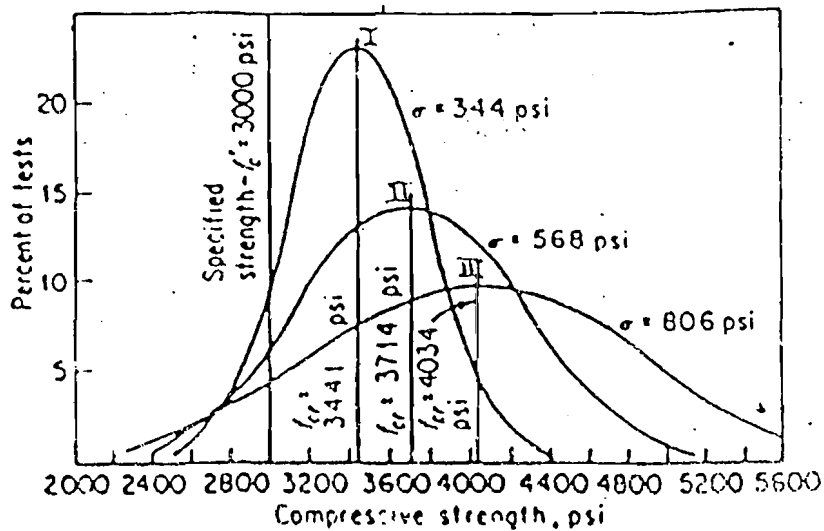
Dengan:

$fc'r$ = kuat tekan beton rata-rata hasil pengujian (MPa)

sd = standar deviasi (MPa)

cv = koefisien variasi (%)

Keseragaman mutu beton yang diproduksi di lapangan menunjukkan pengendalian pelaksanaannya. Semakin baik pengendalian pelaksanaan di lapangan maka mutu beton yang dihasilkan semakin seragam. Pengendalian pelaksanaan yang baik menjadikan pekerjaan beton lebih ekonomis. ACI Standart 214-65, *Evaluation of Compression Test Result of Field Concrete*, memberikan contoh sebuah grafik frekuensi dan kuat tekan rata-rata untuk tingkat pengawasan yang berbeda (gambar 3.1), dengan kuat tekan yang dibutuhkan $fc' = 3000$ psi ($1 \text{ psi} = 6,897 \cdot 10^{-3}$ MPa).



**Gambar 3.1 Grafik frekuensi dan kuat tekan rata-rata
(Sumber : Nilson, 1991)**

Dari gambar di atas diketahui kuat tekan rata-rata dan standar deviasi untuk masing-masing grafik frekuensi kuat tekan. Untuk menentukan pengendalian pelaksanaan berdasarkan tingkat keseragaman kuat tekan beton yang dihasilkan, maka dihitung koefisien variasi dari masing-masing grafik frekuensi kuat tekan. Nilai koefisien variasi dari masing-masing grafik frekuensi diatas adalah sebagai berikut :

1. Grafik I, standar deviasi = 344 psi dan $fc'r = 3441$ psi.

$$cv = \frac{sd}{fc'r} \times 100\% = \frac{344}{3441} \times 100\% = 9,997\%$$

2. Grafik II, standar deviasi = 568 psi dan $fc'r = 3714$ psi.

$$cv = \frac{sd}{fc'r} \times 100\% = \frac{568}{3714} \times 100\% = 15,294\%$$

3. Grafik III, standar deviasi = 806 psi dan $fc'r = 4034$ psi.

$$cv = \frac{sd}{fc'r} \times 100\% = \frac{806}{4034} \times 100\% = 19,98\%$$

Berdasarkan nilai koefisien variasi di atas, nampak pada kasus grafik I memiliki koefisien variasi yang terkecil. Hal ini menunjukkan grafik I memiliki

keseragaman mutu dan pelaksanaan yang paling baik dibanding grafik II dan grafik III. Jika dilihat berdasarkan pencapaian kuat tekan, grafik III adalah yang terbaik karena memiliki kuat tekan rata-rata yang tertinggi, namun keseragamannya rendah sehingga dapat diasumsikan pelaksanaan di lapangan kurang baik. Hal tersebut menunjukkan sifat kondisional, yaitu kondisi pada suatu proyek akan berbeda pada proyek lain. Tingkat keseragaman yang baik belum tentu diikuti oleh tingginya kuat tekan beton yang dihasilkan begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu diperlukan pengawasan yang baik terhadap pelaksanaan di lapangan agar diperoleh kuat tekan yang tinggi dengan keseragaman yang baik.

3.3.3 Nilai Slump Campuran di Lapangan

Dalam proses pengerjaan struktur beton, nilai slump merupakan faktor yang penting untuk memenuhi syarat workabilitas beton. Nilai slump berdasarkan beberapa penelitian dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jumlah air yang digunakan dalam campuran, porositas dan kandungan air agregat dan bahan-tambah.

Keseragaman nilai slump beton merupakan syarat agar keseluruhan elemen beton bisa dikerjakan dengan standar pelaksanaan yang sama, terutama untuk elemen-elemen struktur yang mempunyai tingkat kesulitan pengerjaan yang tinggi, misalnya pada kondisi tulangan yang sangat rapat (Supartono, 1998). Permasalahan ketidakseragaman ini diakibatkan oleh faktor produksi seperti penambahan air, bahan tambah, dan kondisi lingkungan. Untuk mengetahui tingkat keseragaman slump, dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$sr = \frac{\sum si}{N} \quad (3.10)$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (si - sr)^2}{N-1}} \quad (3.11)$$

$$cv = \frac{Sd}{sr} \times 100\% \quad (3.12)$$

Dengan :

sr = slump rata-rata (cm)

si = slump hasil pengujian lapangan (cm)

Sd = standar deviasi (cm)

cv = koefisien variasi (%)

N = jumlah data

3.3.4 Modulus Elastisitas

Hubungan tegangan-regangan perlu diketahui untuk menurunkan persamaan analisis dan desain pada struktur beton. Kurva hubungan tegangan-regangan diperoleh dari pengujian terhadap benda uji silinder yang diukur nilai perpendekan terhadap beban yang bekerja. Sampai sekitar 40% dari f_c' , untuk tujuan praktis penambahan tegangan-regangan yang terjadi dianggap linear. Mendekati 70% tegangan hancur, material kehilangan kekakuannya sehingga menambah ketidaklinearan kurva (Nawy, 1990). Tegangan dan regangan beton dari hasil pengujian dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{tegangan } (\sigma_i) = \frac{p_i}{A} \quad (3.13)$$

$$\text{regangan } (\epsilon_i) = \frac{\Delta L_i}{L_0} \quad (3.14)$$

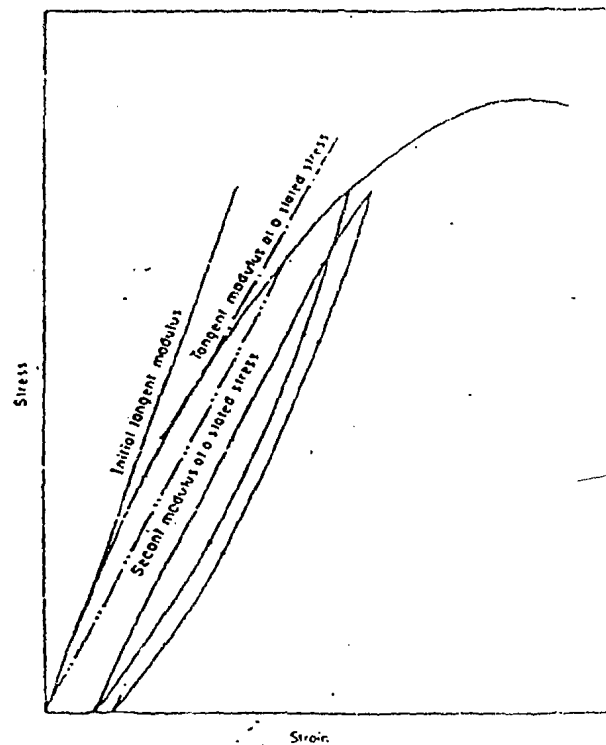
Dengan :

p_i = beban (kg)

A = luas permukaan (cm^2)

ΔL_i = perpendekan (mm)

L_0 = panjang awal (mm)



Gambar 3.2 Pengambilan nilai modulus elastisitas
(sumber : N. Jackson, 1983)

Pada gambar 3.2 menunjukkan pengambilan modulus awal, modulus tangen, dan modulus secant dari grafik hubungan tegangan regangan. Modulus awal berpengaruh kecil pada aplikasi struktur, sedangkan tangen modulus sulit untuk ditentukan dan penggunaannya terbatas pada tingkat tegangan tertentu. Nilai modulus secant lebih mudah untuk ditentukan, penggunaannya antara lain pada perhitungan deformasi, defleksi, atau tegangan yang terjadi pada beban kerja (Jackson, 1983). Nilai modulus secant pada suatu harga sekitar $0,4 f_c'$ diambil sebagai nilai modulus elastisitas, nilai ini memenuhi asumsi praktis bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan dapat dianggap elastis, dan regangan lainnya akibat beban dipandang sebagai rangkai (Nawy, 1985).

Modulus elastisitas dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu karakteristik agregat, umur beton, kondisi rawatan beton, dan metode pengukuran nilai modulus. Karakteristik agregat merupakan faktor yang sangat berpengaruh, penggunaan agregat yang berbutir kecil dengan tekstur yang tajam dapat meningkatkan modulus elastisitas. Modulus elastisitas beton akan meningkat dengan bertambahnya waktu. Peningkatan modulus elastisitas tergantung pada kelangsungan proses hidrasi semen, yang berhubungan dengan berkurangnya porositas beton dan peningkatan kekuatan. Penggunaan bahan-tambah pengganti semen untuk meningkatkan kepadatan beton selain meningkatkan kekuatan juga menaikkan modulus elastisitas beton. Rawatan dengan mempertahankan permukaan beton selalu lembab akan menghasilkan modulus elastisitas beton lebih tinggi 15 % dibanding rawatan kering.

Untuk struktur-struktur khusus seperti pelengkung, terowongan, dan tangki, nilai modulus elastisitas harus ditentukan dari hasil pengujian, hal ini untuk

mendapatkan modulus elastisitas aktual sebagai dasar perhitungan terutama *displacement* dan defleksi akibat tegangan membran (Nawy, 1985).

Modulus elastisitas beton berubah menurut kekuatan, sehingga diambil sebagai perbandingan tegangan terhadap regangan pada 25% sampai 50% dari f_c' (Wang, 1985). Menurut ASTM C469-65 diambil nilai modulus secant pada nilai 40% dari f_c' sebagai modulus elastisitas, ACI 318M-95 sub bab 8.5.1 memberikan definisi nilai modulus elastisitas yaitu kemiringan garis yang ditarik dari tegangan bernilai nol sampai tegangan bernilai $0,45 f_c'$ dari grafik hubungan tegangan-regangan. Modulus elastisitas dari pengujian dihitung dengan persamaan :

$$E_c = \frac{\sigma_{0,45}}{\epsilon_{0,45}} \quad (3.15)$$

Dengan :

$\sigma_{0,45}$ = tegangan (MPa)

$\epsilon_{0,45}$ = regangan (mm/mm)

E_c = modulus elastisitas (MPa)

ACI 318M-95 sub bab 8.5.1 menyatakan bahwa nilai modulus elastisitas ditentukan secara empiris dengan persamaan :

$$E_c = w^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f_c'} \quad (3.16)$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'} \quad (3.17)$$

Dengan :

E_c = modulus elastisitas (MPa) w = berat satuan beton (kg/m^3)

f_c' = kuat tekan (MPa).

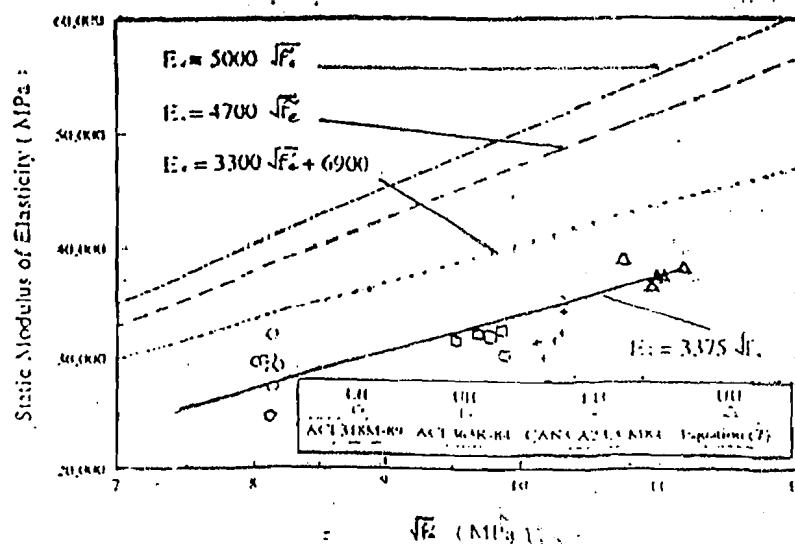
Modulus elastisitas beton hasil pengujian, menurut ACI 318RM-95 sub bab 8.5.1 dipengaruhi oleh agregat dan dapat berbeda dengan nilai pendekatan teoritis. Nilai hasil pengujian umumnya berkisar antara 80% sampai 120% dari nilai pendekatan teoritis.

Dalam peraturan ACI 363R-84, memberikan rekomendasi untuk menghitung nilai modulus elastisitas dengan persamaan pendekatan yaitu :

$$E_c = 3300 \times \sqrt{f_c'} + 6900 \quad \text{untuk } 21 \text{ MPa} < f_c' < 83 \text{ MPa} \quad (3.18)$$

Penyimpangan nilai modulus elastisitas riil terhadap nilai modulus elastisitas pendekatan teoritis untuk beton kinerja tinggi, berdasarkan penelitian Said Iravani (1996), untuk persamaan ACI 363R-84 memberikan nilai toleransi $\pm 15\%$.

Perbandingan beberapa persamaan pendekatan teoritis modulus elastisitas, dengan hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 3.3 (diambil dari penelitian Said Iravani, 1996).



Gambar 3.3 Perbandingan modulus elastisitas dengan berbagai metode (sumber: Said Iravani,1996)

Untuk menentukan penyimpangan modulus elastisitas hasil penelitian terhadap modulus elastisitas dari rumus pendekatan yang ada, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$z = \frac{E_{ci} - Y_i}{Y_i} \times 100 \% \quad (3.19)$$

Dengan :

z = selisih antara modulus elastisitas hasil penelitian yang terregresi dengan modulus elastisitas berdasarkan persamaan pendekatan yang digunakan (%)

E_{ci} = modulus elastisitas menurut persamaan pendekatan yang ada (MPa)

Y_i = modulus elastisitas hasil penelitian yang terregresi (MPa)

3.3.4 Pelaksanaan dan Pengendalian Mutu

Prosedur pelaksanaan yang tepat dan pengendalian mutu (*quality control*) yang ketat, merupakan kunci keberhasilan pelaksanaan beton kinerja tinggi (Supartono, 1998).

1. Pemilihan material

Mutu dan keseragaman material pembentuk beton, merupakan suatu kriteria penting bagi keberhasilan produksi beton kinerja tinggi. Untuk mencapai kinerja beton yang diharapkan memerlukan material yang baik seperti yang disyaratkan. Perubahan mutu dan keseragaman material dapat mengakibatkan perubahan campuran beton, sehingga diperlukan jaminan pengadaan material dari sumber yang sama dari awal hingga akhir proyek.

2. Perancangan campuran beton dan penyesuaian

Perancangan campuran beton (*mix design*) dapat menggunakan berbagai peraturan atau metode yang ada. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah menurut ACI (*American Concrete Institute*), yang memperhatikan nilai ekonomis, bahan yang tersedia, kemudahan pekerjaan, keawetan, dan kekuatan. Langkah-langkah perhitungan campuran yang dilakukan yaitu :

1. menentukan target kuat tekan rata-rata,

$$f_{c'r} = f_{c'} + k.s$$

Dengan:

$f_{c'}$ = kuat tekan yang disyaratkan

k = tetapan statistik, Indonesia memakai 5% kegagalan dengan faktor $k = 1,64$

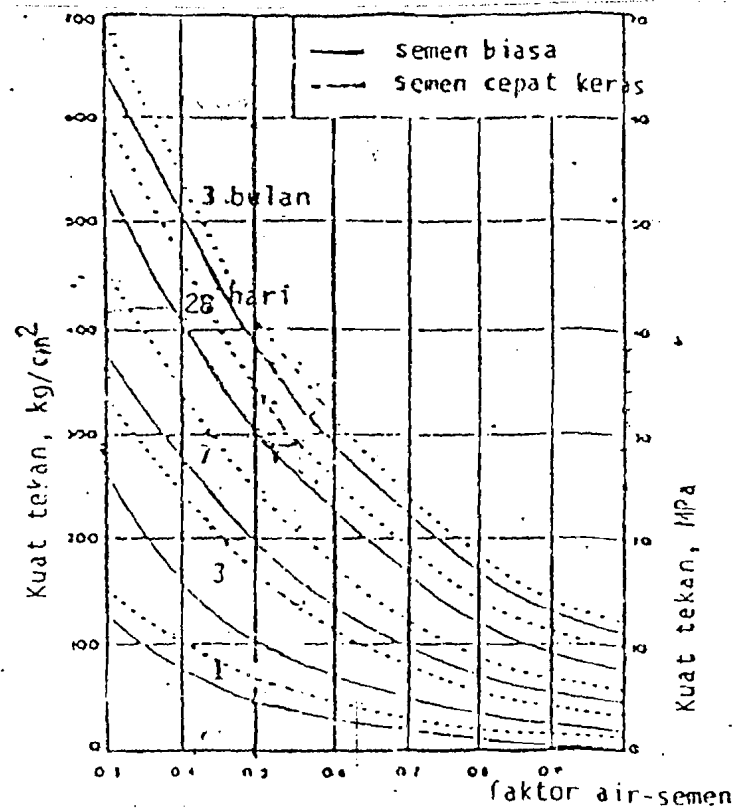
s = deviasi standar rencana yang besarnya didasarkan nilai yang diperoleh dari pengalaman memproduksi beton. Bila tidak tersedia data nilai s , maka diambil nilai tambah = 12 MPa

2. menentukan kebutuhan air,

Tabel 3.3 Perkiraan kebutuhan air berdasarkan slump dan ukuran maksimum agregat

Slump, mm	Ukuran maksimum agregat, mm		
	10	20	40
25 – 50	206	182	162
75 – 100	226	203	177
150 – 175	240	212	188
Udara terperangkap	3 %	2 %	1 %

3. menentukan faktor air-semen,



Gambar 3.4 Kurva hubungan kuat tekan dan faktor air-semen

4. menentukan kadar semen dan *silica fume*,
5. menentukan proporsi agregat,

Tabel 3.4 Perkiraan kebutuhan agregat kasar berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus kehalusan butir

Ukuran maksimum agregat, mm	Modulus halus butir agregat halus			
	2,4	2,6	2,8	3,0
10	0,46	0,44	0,42	0,40
20	0,65	0,63	0,61	0,59
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,84

6. menentukan berat satuan beton per meter kubik

Tabel 3.5 Perkiraan berat satuan beton per meter kubik

Ukuran maksimum agregat (mm)	Berat satuan beton segar (kg/m^3)	
	Beton non-air-entrained	Beton air-entrained
10	2274	2185
12	2304	2227
19	2345	2274
25	2375	2310
38	2410	2345
50	2340	2369
76	2464	2393
150	2505	2340

7. menentukan dosis *superplasticizer*.

Perubahan kondisi di lapangan baik kondisi alam maupun material, memungkinkan terjadinya penyesuaian terhadap *mix design* yang telah ditetapkan sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk menjamin tercapainya kinerja beton seperti yang disyaratkan.

3. Pelaksanaan produksi beton (*batching and mixing*)

Penakaran (*batching*) material harus dilakukan secara tepat dan konsisten mengikuti hasil rancangan campuran beton yang sudah ada terutama komponen material yang memerlukan dosis yang tepat seperti semen, bahan tambah, dan air. Campuran beton yang homogen diperoleh dengan pengisian dan pengadukan bahan yang baik. Untuk menghasilkan beton dengan kinerja yang baik maka perlu ditetapkan suatu prosedur pencampuran yang seharusnya diikuti dalam pelaksanaan. Prosedur pencampuran tersebut meliputi (dikutip dari Parka, 2000) :

1. drum dibasahi,
2. dimasukkan air $\pm 60\%$ dari *mix design*,
3. *superplasticizer* $\pm 50\%$ dari *mix design*,
4. dimasukkan batu pecah $\pm 40-50\%$ dari *mix design*,
5. dimasukkan *silica fume* 100%,
6. diaduk 2 menit sampai semua bahan tercampur,
7. dimasukkan semen 100%,
8. dimasukkan 50 % batu pecah dari *mix design*,
9. diaduk 2 menit,
10. dimasukkan pasir, sisa air dan *superplasticizer*,
11. diaduk 2 menit.

Apabila pengecoran dihentikan untuk waktu yang lama (lebih dari 24 jam) maka :

1. pada beton yang sudah dicor permukaannya dikasarkan,
2. acuan bagian terakhir yang sudah dicor dilubangi agar tidak terjadi genangan saat hujan,
3. pada pengecoran pertama, nilai slump beton sekitar 12 cm,
4. pemadatan diperlama agar dapat lebih padat dan pada bagian sambungan beton lama dan baru dilapisi *bounding agent*.

4. Pengangkutan dan pengecoran beton

Bahaya yang timbul selama pengangkutan adalah segregasi, yaitu pemisahan bahan campuran beton yang disebabkan oleh ukuran partikel dari berat jenis yang berbeda, dan penurunan kelecakan beton. Kedua hal tersebut dapat mengakibatkan

penurunan beberapa kinerja beton seperti berkurangnya workabilitas, turunnya kuat tekan beton akibat berkurangnya kepadatan beton, dan berkurangnya kekedapan beton terhadap korosi. Oleh karena itu, sebaiknya tidak digunakan beberapa cara pengangkutan seperti saluran curam atau ban-ban pengangkut dan digantikan dengan metode yang dapat mengurangi kecenderungan pemisahan sekecil-kecilnya, misalnya dengan menggunakan *lift*.

Pada saat pengecoran adukan beton harus dituang secara terus-menerus untuk menghindari hubungan yang buruk pada lapisan pengecoran. Penuangan adukan tidak boleh dijatuhkan dari ketinggian lebih dari satu meter untuk menghindari terjadinya pemisahan antar material, selain itu harus dijaga agar acuan tidak bergeser.

Pemadatan diperlukan untuk memastikan kontak yang baik dengan baja dan mencegah terjadinya keropos (Nilson, 1993). Pemadatan dapat dilakukan dengan bantuan alat pemadat getar (*vibrator*), namun penggetaran terlalu lama dapat menyebabkan terjadinya pemisahan.

5. Koordinasi operasional

Faktor lain yang penting untuk menjamin keberhasilan pelaksanaan beton kinerja tinggi adalah adanya komunikasi yang baik antara *supplier*, kontraktor pelaksana dan konsultan pengawas, agar dapat berkoordinasi dengan baik terutama untuk koordinasi tetap tersedianya material yang mempunyai mutu dan keseragaman yang sama selama pelaksanaan pekerjaan.

6. Rawatan

FIP (*Federation Internationale de la Precontrainte*) menyebutkan bahwa rawatan dengan suhu sekitar 50° C untuk beton dengan kandungan *silica fume*, akan mendapatkan kekuatan awal yang memadai. Carrasquillo, 1981 menyatakan bahwa rawatan dengan membasahi selama 7 hari akan mengurangi kekuatan beton, sekitar 0,88 – 0,91 dari kekuatan benda uji dengan rawatan untuk waktu 28 hari. Cara rawatan yang biasa digunakan adalah menempatkan beton dalam air atau ruangan yang lembab, menyelimuti permukaan dengan karung basah, menggenangi permukaan dengan air, dan menyiram permukaan secara terus menerus (Murdock, 1979).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Bahan dan Alat

4.1.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan selama pelaksanaan meliputi :

1. Semen Portland, jenis I diproduksi oleh PT. Semen Gresik dengan berat jenis 3,15.
2. Pasir asal Merapi, dengan sifat :
 - a. modulus halus butir 2,9,
 - b. berat jenis 2,65,
 - c. absorsi 2,85%.
3. Agregat kasar batu pecah asal Kulonprogo, dengan sifat :
 - a. ukuran butir maksimal 20 mm,
 - b. berat jenis 2,7,
 - c. absorsi 1,95%,
 - d. berat satuan 1,7 t/m³.
4. Bahan-tambah meliputi :
 - a. *Silica fume* produksi PT. Sika Pratama dengan berat jenis 2,2,
 - b. *Superplasticizer* merk Sikament-163.

5. Air pencampur dari sumur.

4.1.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk menunjang penelitian di lapangan dan laboratorium adalah sebagai berikut :

1. Peralatan di lapangan

- a. *mixer*, alat pencampur adukan beton dengan kapasitas 0,25 m³,
- b. cetakan silinder, ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm,
- c. drum air, untuk menyimpan benda uji,
- d. kerucut Abrahams, untuk uji slump,
- e. tongkat penumbuk, untuk memadatkan benda uji,
- f. pengaris, untuk mengukur tinggi nilai slump,
- g. timbangan,
- h. ember,
- i. alat tulis.

2. Peralatan di laboratorium

- a. mesin uji kuat desak merk Controls kapasitas 2000 KN,
- b. timbangan,
- c. kaliper, untuk mengukur dimensi benda uji,
- d. *tranduser*, untuk mengukur regangan beton,
- e. alat-alat tulis yang diperlukan,
- f. *capping*, untuk meratakan beban.

4.2 Pelaksanaan Penelitian

4.2.1 Rancangan Campuran

Metode perancangan campuran yang digunakan mengacu pada metode ACI, dengan modifikasi sehubungan dengan penggunaan bahan-tambah dan sifat khusus beton yang diinginkan. Langkah-langkah perhitungan rancangan campuran (dikutip dari Parka, 2000) :

1. Menentukan target kuat tekan rata-rata ($f_c'r$)

untuk $f_c' = 40$ MPa dan s rencana = 6 MPa, maka target kuat tekan rata-rata :

$$f_c'r = 40 + 1,64 \times 6 = 49,8 \text{ MPa}$$

2. Menentukan kebutuhan air pencampur

Kebutuhan air pencampur untuk slump rencana 120 – 140 mm, maksimum besar butir agregat 20 mm, berdasarkan tabel 3.3 dan tanpa bahan-tambah jumlah air pencampur $\pm 205 - 210 \text{ l/m}^3$. Dengan penggunaan bahan-tambah *superplasticizer* dapat mengurangi air pencampur 25% sesuai dosis penambahannya, maka jumlah air = $210 - (0,25 \times 210) = 157 \text{ l/m}^3$. Penggunaan *silica fume* akan menambah kebutuhan air pencampur $\pm 10 \text{ l/m}^3$ dengan penambahan *silica fume* $\pm 5\%$, sehingga perkiraan jumlah air pencampur $(157 + 10) \text{ l/m}^3 = 167 \text{ l/m}^3$. *Superplasticizer* ditambahkan = $\pm 5 \text{ l/m}^3$.

3. Menentukan faktor air-semen

Mengacu pada gambar 3.4 kurva hubungan antara kuat tekan dan faktor air-semen, maka diperoleh faktor air-semen $\pm 0,37$ untuk $f_c'r = 49,8$ MPa.

4. Menentukan kadar semen dan *silica fume*

Kadar semen + *silica fume* = (jumlah air + *superplasticizer*) : faktor air-semen.

$$\text{Kadar semen + silica fume} = (167 + 5) : 0,37 = 465 \text{ kg/ m}^3$$

Jika digunakan satu kantong 20 kg *silica fume*, maka jumlah semen yang digunakan = $465 - 20 = 445 \text{ kg/ m}^3$.

5. Menentukan proporsi agregat

Berdasarkan tabel 3.4, volume agregat kasar = $0,61 \times 1700 = 1037 \text{ kg/ m}^3$, berat beton segar per meter kubik = 2345 kg.

Agregat batu pecah biasanya dengan ukuran butir 20 – 25 mm, perkiraan berat beton per meter kubik = 2360 kg.

$$\text{Berat agregat halus} = 2360 - 465 - 172 - 1037 = 686 \text{ kg.}$$

6. Menentukan dosis *superplasticizer*

Untuk beton dengan *silica fume*, slump beton sebaiknya ditinggikan 50 – 100 mm dari rencana untuk mengatasi *slump loose*. Dosis *superplasticizer* sekitar 1,0 % sampai 1,2% dari berat semen. Volume *superplasticizer* $\pm 0,012 \times 445 = 5,34 \text{ kg}$ atau 4,6 liter.

7. Proporsi campuran yang sudah dibuat perlu dikoreksi atas kandungan air agregat untuk mendapatkan susunan campuran coba pada kondisi saat melakukan percobaan. Rancangan campuran ini mempertimbangkan jumlah air pencampur, slump yang dihasilkan bila ada penambahan air atau *superplasticizer*. Rancangan campuran yang terkoreksi per meter kubik beton :

Semen = 410 kg,

Pasir = 792 kg,

Kerikil	= 998 kg,
<i>Slica fume</i>	= 20 kg,
<i>Superplasticizer</i>	= 5 liter,
Air	= 168 liter.

Dari rancangan campuran terkoreksi tersebut kemudian dibuat benda uji, untuk diuji kuat tekan di laboratorium. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap benda uji yang menggunakan rancangan campuran terkoreksi menunjukkan bahwa rancangan campuran tersebut memenuhi syarat untuk digunakan di lapangan.

Rancangan campuran dibuat untuk setiap 1m^3 beton. Pencampuran di lapangan dilakukan menggunakan *mixer* dengan kapasitas terbatas, maka rancangan campuran harus dirubah menjadi rancangan campuran untuk satu kali adukan (sekitar $0,125\text{ m}^3$), sebagai berikut :

Semen	= 50 kg,
Pasir	= 94 kg,
Kerikil	= 125 kg,
<i>Silica fume</i>	= 2,5 kg,
<i>Superplasticizer</i>	= 0,63 liter,
Air	= 21 liter.

4.2.2 Pelaksanaan penelitian lapangan

1. Pengamatan

Pelaksanaan pengecoran diamati untuk mengetahui kondisi riil yang ada di lapangan, mulai dari *batching*, *mixing*, pengangkutan, pengecoran hingga pematatan.



2. Pengujian slump

- a. Pengujian slump dilakukan bersamaan dengan pengambilan benda uji, atau pada kondisi tertentu yang memerlukan pengontrolan terhadap slump campuran seperti pada saat agregat basah atau ada penambahan air pencampur
- b. Untuk pengujian slump digunakan kerucut Abrams berdiameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan tinggi 30 cm, dilengkapi penumbuk dari baja diameter 16 mm dan panjang 60 cm. Pelaksanaan pengujian slump dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :
 - 1) Kerucut diletakkan pada tempat yang rata dan tidak menghisap air, dengan lobang berdiameter besar di sebelah bawah.
 - 2) Kaki-kaki penyokong kerucut diinjak dan pegangan dipegang erat agar kerucut tidak bergerak, kemudian adukan beton dimasukkan ke dalam kerucut.
 - 3) Pengisian pertama, adukan dimasukkan ke dalam kerucut kurang lebih sampai sepertiga tinggi kerucut, kemudian adukan ditusuk-tusuk dengan tongkat penumbuk sebanyak 25 kali. Hal ini dilakukan terus pada pengisian kedua dan ketiga, namun penusukan lapisan atas tidak boleh sampai menusuk lapisan di bawahnya.
 - 4) Setelah kerucut penuh, permukaan adukan diratakan dan ditunggu sekitar 30 sampai 60 detik.
 - 5) Kerucut ditarik lurus ke atas, penurunan permukaan adukan beton diukur sebagai nilai slump.
 - 6) Setelah pengujian selesai kerucut dicuci dan dibersihkan.

- c. Nilai slump yang diukur kemudian dicatat.

3. Pembuatan benda uji

- a. Dari *mixer* adukan dituang ke dalam bak penampung, lalu adukan diambil sekitar tiga ember untuk membuat satu sampel (dua benda uji).
- b. Permukaan dalam cetakan silinder dibasahi dengan solar sampai merata.
- c. Adukan beton dimasukkan ke dalam cetakan secara bertahap. Pertama adukan dimasukkan kurang lebih sepertiga cetakan, kemudian ditusuk-tusuk dengan besi penumbuk sampai terasa padat. Setelah itu adukan dimasukkan lagi sampai sekitar duapertiga cetakan, kemudian dipadatkan. Terakhir adukan dimasukkan sampai cetakan penuh kemudian dilakukan pemadatan. Pada saat pemadatan penusukan lapisan atas tidak boleh mengenai lapisan di bawahnya.
- d. Setelah penuh, permukaan adukan diratakan dan ditunggu sampai sekitar 1jam.
- e. Permukaan adukan beton dilapisi dan diratakan dengan pasta semen.
- f. Setelah 24 jam cetakan dibuka, benda uji dikeluarkan dan cetakan dibersihkan.

4. Rawatan benda uji

- a. Benda uji beton yang sudah dikeluarkan dari cetakan, kemudian direndam dalam drum air.
- b. Setelah direndam selama 7 hari, benda uji dikeluarkan dari drum air dan disimpan di tempat kering yang terlindung sinar matahari sampai umur 28 hari.

4.2.3 Pelaksanaan pengujian laboratorium

1. Pengujian kuat desak

Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP UII dengan alat uji merk "control" pada umur kurang lebih 28 hari. Langkah-langkah pengujian sebagai berikut ini :

- a. Benda uji diukur diameter dan tingginya menggunakan kaliper dengan ketelitian 0,1 mm, kemudian ditimbang.
- b. Benda uji diberi *capping* pada permukaan yang ditekan untuk meratakan beban. Digunakan *capping* dari baja karena *capping* biasa tidak mampu menahan beban sehingga pecah.
- c. Mesin uji tekan dihidupkan, pembebanan diberikan secara berangsur-angsur sampai benda uji tersebut hancur pada pembebanan maksimal. Kemudian mesin dimatikan dan besar beban dicatat sesuai jarum penunjuk pembebanan.
- d. Tegangan tekan beton dihitung dengan membagi beban dengan luas alas beton.

2. Pengujian tegangan-regangan

Pengujian tegangan-regangan dilaksanakan pada umur benda uji kurang lebih 28 hari. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan, PUSLITBANGKIM, Bandung. Langkah-langkah pengujian tegangan-regangan adalah sebagai berikut ini :

- a. Benda uji diukur diameter dan tingginya menggunakan kaliper dengan ketelitian 0,1 mm, lalu ditimbang.
- b. Belerang dibakar kemudian setelah cair dimasukkan ke dalam cetakan *capping*.

- c. Benda uji secepatnya dipasangkan pada cetakan sebelum belerang mengeras, setelah satu menit cetakan dibuka.
- d. *Tranduser* dihubungkan dengan jarum pada cincin *compresometer* yang dipasang pada benda uji dan disetel dengan ketelitian 0,001 mm.
- e. Mesin uji tekan dihidupkan dan pembebanan diberikan secara berangsur-angsur. Setiap kelipatan pembebanan 5 ton, perpindahan dicetak dari *tranduser*. Ini terus dilakukan sampai beban 65 ton, kemudian perpindahan dicetak setiap kelipatan beban 2,5 ton sampai beban maksimal (benda uji hancur). Beban maksimal dan perpindahan saat hancur dicatat.
- f. Hasil cetakan perpindahan dari *tranduser* disusun dan ditempel pada kertas untuk kemudian difotokopi.

Dari hasil pengujian dapat dibuat grafik tegangan-regangan dan dihitung nilai modulus elastisitas.

BAB V

HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

5.1 Hasil Pengamatan Pelaksanaan Pencampuran di Lapangan

Setelah dilakukan pengamatan di lapangan, maka dapat diketahui tahap-tahap pelaksanaan produksi beton. Tahapan pelaksanaan pencampuran di lapangan adalah sebagai berikut ini.

1. Seleksi material

Seleksi material di lapangan terhadap kerikil dan pasir dilakukan dari kenampakkan fisik material yang dikirim dari *supplier*. Material di lapangan terutama kerikil kurang bersih dan tercampur dengan batu kapur. Penyiraman dilaksanakan untuk mengurangi kandungan lumpur, dan batu kapur sedapat mungkin dihilangkan dari campuran.

2. *Batching* dan *mixing*

Batching dilakukan dengan menggunakan ember yang telah ditandai untuk memudahkan bagi para pekerja menakar komposisi campuran. Setelah semua bahan penyusun ditakar kemudian dimasukkan ke dalam *mixer* dengan urutan :

- a. dimasukkan air pencampur 50 %,
- b. *superplasticizer* 50%,
- c. kerikil 50%,
- d. *silica fume* 100%,

- e. diaduk sampai tercampur,
- f. semen 100%,
- g. dimasukkan air dan *superplasticizer* yang tersisa,
- h. diaduk sampai terlihat semen, air, *silica fume* dan *superplasticizer* tercampur,
- i. dimasukkan kerikil 50% dan pasir 100%,
- j. diaduk sampai semua bahan tercampur.

Setelah proses *mixing* adukan beton dari *mixer* dituang ke dalam bak penampung adukan. Selama proses pencampuran dapat terjadi penambahan atau pengurangan jumlah air campuran, pada kondisi normal dengan cuaca yang tidak terlalu panas, pemberian air pencampur sesuai dengan *mix design* akan memberikan nilai slump berkisar pada 13-14 cm. Jika pada kondisi ini dilakukan penyiraman terhadap kerikil untuk mengurangi kandungan lumpur, maka nilai slump akan meningkat menjadi 14-15 cm.

Pada awal pengecoran yaitu bagian bawah kubah, dengan posisi pengecoran hampir vertikal dan tulangan tidak terlalu rapat digunakan nilai slump antara 13 –16 cm. Nilai slump campuran harus dijaga tetap pada batasan tersebut agar tidak mengganggu *workabilitas* pengecoran. Pada kondisi cuaca sangat panas dilakukan penambahan air pencampur untuk meningkatkan nilai slump. Penambahan air sekitar 1–2 liter per adukan untuk mencapai slump pada saat pencampuran 16-18 cm dengan kondisi kerikil yang dicuci. Kandungan air material pasir dan kerikil akan bertambah pada kondisi hujan, sehingga dilakukan pengurangan jumlah air pencampur sekitar 0,5–1,5 liter per adukan.

Pada bagian tengah atas kubah, posisi pengecoran cenderung melengkung dan penulangan semakin rapat. Kondisi tersebut membutuhkan nilai slump sekitar 16–19 cm agar campuran beton dapat mengisi antar tulangan dan acuan. Untuk menjaga nilai slump tersebut dilakukan penambahan air pada kondisi cuaca kering sekitar 1-2,5 liter dan pengurangan air pencampur sekitar 1,0 liter pada waktu hujan.

3. Pengangkutan dan pengecoran

Adukan beton dari bak penampung dimasukkan ke dalam ember. Ember berisi adukan beton kemudian diangkat menggunakan *lift* menuju ke lantai atap masjid, dan ditempatkan pada gerobak dorong untuk dibawa ke tempat pengecoran. Di tempat pengecoran ember tersebut dibawa ke atas dengan tenaga manusia untuk dituang ke dalam acuan kubah.

Sebelum adukan beton dituang, pada permukaan pengecoran yang lama dilapisi dengan *bounding agent* merk Sikabound. Pematatan dilakukan dengan menggunakan pemadat mekanis (*vibrator*) sampai semua rongga tulangan terisi.

4. Rawatan

Satu minggu setelah pengecoran, acuan sebelah luar sudah dapat dibuka. Untuk menutup permukaan beton yang keropos digunakan bahan *aditive* Sikatop 122 yang terdiri dua komposisi A dan B dengan perbandingan campuran untuk penggunaan adalah 1: 6,3. Bahan ini dipoleskan pada bagian yang kasar atau keropos seperti melakukan pekerjaan plesteran biasa. Sebelumnya permukaan beton harus bersih dari debu, lapisan kerak semen, karat dan minyak, kemudian permukaan beton dibasahi dengan air secara merata. Pencampuran komponen A dengan komponen B dilakukan sedikit demi sedikit dan penggunaannya tidak boleh ditambah dengan

bahan lain seperti semen atau air. Tebal setiap lapisan maksimal 20 mm, dan dianjurkan tidak melakukan perataan yang berlebihan. Setelah mengeras bahan ini memiliki kekuatan yang besar daripada beton. Permukaan beton yang kasar dan tidak rata digerenda, dengan tujuan untuk memperhalus dan meratakan permukaan beton.

5.2 Hasil dan Analisis Pengujian

5.2.1 Pengujian kuat tekan beton

Data yang diperoleh dari pengujian kuat tekan yaitu tinggi, berat, dan diameter silinder beton serta beban tekan maksimum yang dapat ditahan. Berdasarkan data tersebut dihitung berat satuan beton dan kuat tekan beton menggunakan persamaan 3.1, 3.2 dan 3.3. Selanjutnya dihitung kuat tekan rata-rata dan berat satuan beton rata-rata menggunakan persamaan 3.4 dan 3.5.

Hasil dan analisis pengujian awal kuat tekan terhadap benda uji yang dibuat dan dirawat dengan standar laboratorium ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil dan analisis pengujian awal kuat tekan

No	Diameter mm	Tinggi mm	Luas mm ²	Berat Kg	Berat satuan t/m ³	Beban maks KN	Kuat desak Mpa
1	150,65	300,90	17815,907	13,220	2,466	890	49,955
2	150,15	300,25	17697,843	13,045	2,455	790	44,638
3	152,30	299,50	18208,303	13,140	2,410	1030	56,568
4	150,75	300,00	17839,567	13,013	2,431	1025	57,457
5	149,85	301,75	17627,193	12,964	2,437	935	53,043
6	151,50	301,80	18017,516	13,172	2,422	920	51,061
7	150,20	301,75	17709,631	13,113	2,454	1015	57,313
8	149,80	299,75	17615,431	12,879	2,439	1020	57,904
9	150,00	300,85	17662,500	13,037	2,454	1025	58,033
Rata-rata						961,111	53,997

Tabel 5.1 memberikan hasil kuat tekan rata-rata yang dicapai dari pengujian adalah 53,997 MPa. Menurut peraturan ACI 318-95 sub bab 5.3.2.2, jika jumlah sampel pengujian kurang dari 15 untuk f_c' spesifikasi lebih dari 35 MPa (f_c' spesifikasi pada penelitian adalah 40 MPa), maka f_c' dari hasil pengujian awal di atas adalah $f_c' = f_c'r - 10$ MPa, berarti $f_c' = 53,997 - 10 = 43,997$ MPa.

ACI 318-95 sub bab 5.6.3.4 menyebutkan bahwa hasil uji kuat tekan benda uji beton yang dibuat dan dirawat di lapangan tidak boleh kurang dari 0,85 kuat tekan hasil pengujian daripada benda uji yang dibuat dan dirawat dengan standar laboratorium. Dari analisis pada tabel 5.1 di atas, maka 0,85 f_c' hasil uji standar laboratorium adalah $0,85 \times 43,977 = 37,381$ Mpa.

Analisis data hasil pengujian kuat tekan beton terhadap benda uji yang diambil selama pelaksanaan di lapangan, secara keseluruhan ditampilkan pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil dan analisis pengujian kuat tekan benda uji beton yang diproduksi di lapangan

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm ²)	Berat (kg)	P (kn)	w (kg/m ³)	f_c' (Mpa)
1	12-Feb	34	149,28	301,8	17502,22	12,684	805	2402,878	45,9942
2	12-Feb	34	150,13	303,1	17702,1	12,7	845	2366,971	47,7344
3	12-Feb	34	152,27	304,9	18210,36	12,944	865	2331,27	47,5004
4	12-Feb	34	151,2	303,7	17955,33	12,776	835	2342,916	46,5043
5	12-Feb	34	148,83	301,4	17396,86	12,647	815	2411,978	46,8475
6	12-Feb	34	150,2	302,45	17718,61	12,769	810	2382,723	45,7146
7	14-Feb	32	150,9	300,6	17884,15	12,747	920	2371,104	51,4422
8	14-Feb	32	150,6	302,9	17813,11	12,831	845	2378,052	47,437
9	14-Feb	32	150,55	298,7	17801,29	12,315	780	2316,049	43,8171
10	14-Feb	32	150,75	295,9	17848,62	12,263	1010	2321,92	56,587
11	15-Feb	31	149,83	303,4	17631,43	12,639	795	2362,706	45,0899
12	15-Feb	31	150,78	305,25	17855,72	12,858	760	2359,068	42,5634
13	15-Feb	31	150,55	305,4	17801,29	12,746	865	2344,518	48,592
14	15-Feb	31	150,53	305,45	17796,56	12,699	890	2336,111	50,0097

Lanjutan tabel 5.2

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm ²)	Berat (kg)	P (kn)	w (kg/m ³)	fc'i (Mpa)
15	15-Feb	31	150,35	300,95	17754,02	12,797	890	2395,064	50,1295
16	15-Feb	31	150,5	301,4	17789,46	12,817	870	2390,453	48,9053
17	17-Feb	29	149,88	299,55	17643,2	12,638	880	2391,287	49,8776
18	17-Feb	29	149,43	300,35	17537,41	12,699	835	2410,885	47,6125
19	17-Feb	29	149,63	300,7	17584,39	12,746	700	2410,534	39,808
20	17-Feb	29	149,9	302,5	17647,9	12,578	825	2356,096	46,7478
21	18-Feb	28	150,3	299,9	17742,22	12,796	975	2404,861	54,9537
22	18-Feb	28	149,68	300,3	17596,14	12,739	955	2410,808	54,2733
23	18-Feb	28	150,25	300,55	17730,41	12,653	860	2374,422	48,5042
24	18-Feb	28	149,25	300,5	17495,19	12,563	835	2389,628	47,7274
25	18-Feb	28	149,93	301,01	17654,97	12,678	940	2385,629	53,2428
26	18-Feb	28	150	299,95	17671,46	12,686	915	2393,335	51,7784
27	19-Feb	28	150,25	301,35	17730,41	12,817	665	2398,813	37,5062
28	19-Feb	28	149,47	300,65	17546,8	12,689	760	2405,294	43,3127
29	19-Feb	28	149,68	300	17596,14	12,659	840	2398,064	47,7377
30	19-Feb	28	149,33	299,85	17513,95	12,6	845	2399,289	48,2473
31	19-Feb	28	149,2	300,25	17483,47	12,612	855	2402,555	48,9033
32	19-Feb	28	149,9	300,65	17647,9	12,696	870	2392,834	49,2976
33	21-Feb	28	149,6	300	17577,34	12,627	795	2394,561	45,2287
34	21-Feb	28	150,25	299,85	17730,41	12,605	790	2370,937	44,5562
35	21-Feb	28	150,53	299,6	17796,56	12,728	945	2387,165	53,1002
36	21-Feb	28	149,33	300,1	17513,95	12,599	780	2397,1	44,5359
37	21-Feb	28	149,53	299,1	17560,89	12,437	745	2367,842	42,4238
38	21-Feb	28	149,6	300,5	17577,34	12,482	845	2363,125	48,0733
39	22-Feb	28	150,25	299,6	17730,41	12,352	660	2325,287	37,2242
40	22-Feb	28	149,4	300,2	17530,37	12,312	695	2339,52	39,6455
41	22-Feb	28	149,8	300,35	17624,37	12,514	795	2364,041	45,108
42	22-Feb	28	150,4	299,8	17765,83	12,61	755	2367,543	42,4973
43	22-Feb	28	149,35	300	17518,64	12,447	890	2368,335	50,803
44	22-Feb	28	150,75	299	17848,62	12,549	910	2351,437	50,9843
45	24-Feb	28	150,28	299,45	17737,49	12,775	855	2405,162	48,203
46	24-Feb	28	149,38	301,3	17525,68	12,808	800	2425,534	45,6473
47	24-Feb	28	150,18	299,6	17713,9	12,638	940	2381,346	53,0657
48	24-Feb	28	149,25	299,45	17495,19	12,561	930	2397,625	53,1575
49	24-Feb	28	149,9	298,2	17647,9	12,63	1010	2399,952	57,2306
50	24-Feb	28	149,23	299,85	17490,5	12,633	1060	2408,797	60,6043
51	25-Feb	31	149,2	300	17483,47	12,583	852	2399,029	48,7318
52	25-Feb	31	149,23	300,6	17490,5	12,588	851	2394,229	48,655
53	25-Feb	31	150,5	301	17789,46	12,638	880	2360,201	49,4675
54	25-Feb	31	149,23	302,45	17490,5	12,586	800	2379,206	45,7391
55	25-Feb	28	150,5	300	17789,46	12,581	860	2357,388	48,3432

Lanjutan tabel 5.2

No	Dibuat	Umur	Diameter	Tinggi	Luas	Berat	P	w	fc'i
	Tgl	Hari	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kg)	(kn)	(kg/m ³)	(Mpa)
56	25-Feb	28	149,28	299,9	17502,22	12,528	920	2386,779	52,5648
57	27-Feb	29	149,23	299,85	17490,5	12,612	589	2404,793	33,6754
58	27-Feb	29	149,4	300,85	17530,37	12,594	830	2387,936	47,3464
59	27-Feb	29	150	299,15	17671,46	12,608	807	2384,98	45,6669
60	27-Feb	29	149,83	299,65	17631,43	12,526	667	2370,886	37,8302
61	27-Feb	27	148,68	300	17361,81	12,561	825	2411,615	47,5181
62	27-Feb	27	149,65	299,7	17589,09	12,737	830	2416,223	47,1883
63	28-Feb	28	149,33	300,65	17513,95	12,535	841	2380,56	48,0189
64	28-Feb	28	150,95	299,65	17896,01	12,587	885	2347,209	49,4524
65	28-Feb	28	149,63	300	17584,39	12,498	709	2369,147	40,3199
66	28-Feb	28	150,2	298,85	17718,61	12,506	796	2361,758	44,9245
67	28-Feb	28	149,6	297,3	17577,34	12,421	830	2376,887	47,2199
68	28-Feb	28	149,28	297,65	17502,22	12,377	835	2375,836	47,7082
69	29-Feb	27	149,28	299,85	17502,22	12,469	739	2375,934	42,2232
70	29-Feb	27	149,83	299,65	17631,43	12,5	812	2365,965	46,0541
71	29-Feb	27	150,8	299,45	17860,46	12,382	762	2315,122	42,6641
72	29-Feb	27	149,08	299,15	17455,35	12,375	745	2369,887	42,6803
73	29-Feb	28	150,15	297,3	17706,82	12,428	835	2360,836	47,157
74	29-Feb	28	149,65	298,3	17589,09	12,374	845	2358,379	48,0411
75	1-Mar	26	149,18	299,55	17478,78	12,345	717	2357,82	41,0212
76	1-Mar	26	150	299,85	17671,46	12,461	706	2351,67	39,9514
77	1-Mar	26	150,1	300	17695,03	12,58	806	2369,78	45,5495
78	1-Mar	26	148,98	299,65	17431,94	12,488	831	2390,742	47,6711
79	1-Mar	28	149,25	300	17495,19	12,362	690	2355,315	39,4394
80	1-Mar	28	149,68	300,7	17596,14	12,421	710	2347,501	40,3498
81	2-Mar	28	149,5	300,35	17553,85	12,527	840	2376,004	47,8528
82	2-Mar	28	150,23	299,7	17725,69	12,552	860	2362,778	48,5171
83	2-Mar	28	149,58	300,9	17572,64	12,562	760	2375,744	43,2491
84	2-Mar	28	149,35	300,25	17518,64	12,517	750	2379,671	42,8115
85	3-Mar	28	150,13	300,9	17702,1	12,58	860	2361,748	48,5818
86	3-Mar	28	149,13	300,9	17467,06	12,562	855	2390,103	48,9493
87	3-Mar	28	152,3	299,85	18217,54	12,614	875	2309,187	48,0306
88	3-Mar	28	149,85	302	17636,13	12,603	915	2366,266	51,8821
89	3-Mar	28	149,43	298,6	17537,41	12,438	875	2375,173	49,8933
90	3-Mar	28	149,45	299	17542,11	12,333	795	2351,342	45,3195
91	4-Mar	28	149,35	299,75	17518,64	12,247	715	2332,224	40,8137
92	4-Mar	28	149,68	300	17596,14	12,44	795	2356,577	45,1804
93	4-Mar	28	148,7	302,7	17366,48	12,481	730	2374,243	42,035
94	4-Mar	28	149,68	301,3	17596,14	12,576	800	2372,062	45,4645
95	6-Mar	28	149,73	300,2	17607,9	12,437	835	2352,867	47,4219
96	6-Mar	28	150,4	301	17765,83	12,397	845	2318,273	47,5632

Lanjutan tabel 5.2

No	Dibuat	Umur	Diameter	Tinggi	Luas	Berat	P	w	fc'i
	Tgl	Hari	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kg)	(kn)	(kg/m ³)	(Mpa)
97	6-Mar	28	149,55	300,1	17565,59	12,527	675	2376,394	38,4274
98	6-Mar	28	149,93	300,9	17654,97	12,642	660	2379,724	37,3832
99	6-Mar	28	149,23	300,25	17490,5	12,4	825	2361,22	47,1685
100	6-Mar	28	149,6	299,65	17577,34	12,433	755	2360,525	42,953
Rata-rata			149,8484	300,4011			821,8	2373,692	46,59159

Tabel 5.2 dihitung nilai standar deviasi dan koefisien variasi menggunakan persamaan 3.8 dan 3.9, perhitungan selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran 4. Nilai standar deviasi yang didapatkan adalah 4,61230 MPa dengan koefisien variasi 9,8994 %. Setelah nilai standar deviasi diperoleh, didapat kuat tekan beton dari hasil pengujian terhadap benda uji yang dibuat di lapangan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.6 sebagai berikut :

$$fc' = fc'r - 1,64sd = 46,59159 - 1,64(4,6123) = 39,02742 \text{ MPa,}$$

dan menggunakan persamaan 3.7 menurut ACI 318-95 sub bab 5.3.2 sebagai berikut :

$$fc' = fc'r - 1,34sd = 46,59159 - 1,34(4,6123) = 40,41111 \text{ MPa.}$$

Evaluasi pencapaian mutu juga dilakukan terhadap hasil uji kuat tekan secara individual, untuk benda uji yang diambil di lapangan. Menurut ACI 318-95 sub bab 5.6.2.3, hasil uji harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. setiap rata-rata dari tiga pasang hasil pengujian (setiap pasang hasil pengujian adalah rata-rata dua silinder) berturut-turut lebih dari atau sama dengan nilai fc' spesifikasi yaitu 40 Mpa,

2. tidak satupun dari rata-rata dua silinder kurang dari kuat tekan syarat minimal yaitu $3,5 \text{ MPa}$ dari f_c' spesifikasi, berarti f_c' syarat minimal = $40 - 3,5 = 36,5 \text{ MPa}$.

Hasil uji kuat tekan beton yang diproduksi di lapangan menurut SK-SNI dinyatakan memenuhi syarat jika :

1. Nilai rata-rata dari 4 pasangan hasil uji (setiap pasangan hasil uji adalah rata-rata dari dua silinder) tidak kurang dari $f_c' + 0,82sd$, berarti $40 + 0,82(4,6123) = 43,782 \text{ MPa}$.
2. Tidak satu pun dari rata-rata dua silinder kurang dari $0,85f_c'$, berarti $0,85 \times 40 = 34 \text{ MPa}$.

Untuk melakukan evaluasi hasil uji kuat tekan secara individual menurut ACI 318-95 dan SK-SNI persyaratan kedua, pada tabel 5.3 ditunjukkan perhitungan rata-rata dua silinder.

Tabel 5.3 Perhitungan kuat tekan rata-rata dua silinder

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan, f_c' (MPa)		Kuat tekan Rerata silinder (MPa)
			Silinder I	Silinder II	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	12-Feb	34	45,9941658	47,7344429	46,8643043
2	12-Feb	34	47,5004288	46,5042893	47,0023591
3	12-Feb	34	46,8475371	45,7146366	46,2810869
4	14-Feb	32	51,442192	47,4369638	49,4395779
5	14-Feb	32	43,8170567	56,5870235	50,2020401
6	15-Feb	31	45,0899432	42,5633922	43,8266677
7	15-Feb	31	48,5919924	50,0096715	49,3008319
8	15-Feb	31	50,129487	48,90535	49,5174185
9	17-Feb	29	49,8775855	47,6125017	48,7450436
10	17-Feb	29	39,8080411	46,7477595	43,2779003
11	18-Feb	28	54,9536791	54,273264	54,6134716

Lanjutan tabel 5.3.

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan, f_c' (MPa)		Kuat tekan Rerata 2 silinder (MPa)
			Silinder I	Silinder II	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
12	18-Feb	28	48,5042293	47,7274152	48,1158222
13	18-Feb	28	53,2428004	51,7784081	52,5106043
14	19-Feb	28	37,5061773	43,3127383	40,4094578
15	19-Feb	28	47,7377401	48,2472648	47,9925024
16	19-Feb	28	48,9033474	49,2976373	49,1004924
17	21-Feb	28	45,2286953	44,5562107	44,892453
18	21-Feb	28	53,1001568	44,5359367	48,8180468
19	21-Feb	28	42,4238154	48,0732674	45,2485414
20	22-Feb	28	37,224176	39,6454844	38,4348302
21	22-Feb	28	45,1080051	42,4973058	43,8026554
22	22-Feb	28	50,8030366	50,9843479	50,8936922
23	24-Feb	28	48,202977	45,6473106	46,9251438
24	24-Feb	28	53,0656847	53,1574804	53,1115825
25	24-Feb	28	57,2305905	60,6043372	58,9174638
26	25-Feb	31	48,7317567	48,6549915	48,6933741
27	25-Feb	31	49,4674805	45,7391224	47,6033014
28	25-Feb	28	48,3432195	52,5647609	50,4539902
29	27-Feb	29	33,6754289	47,3464058	40,5109173
30	27-Feb	29	45,6668583	37,8301788	41,7485185
31	27-Feb	27	47,5180885	47,1883475	47,353218
32	28-Feb	28	48,0188753	49,4523751	48,7356252
33	28-Feb	28	40,3198587	44,9245071	42,6221829
34	28-Feb	28	47,2198957	47,7082341	47,4640649
35	29-Feb	27	42,2232155	46,0541307	44,1386731
36	29-Feb	27	42,6640821	42,6803157	42,6721989
37	29-Feb	28	47,1569731	48,0411489	47,599061
38	1-Mar	26	41,0211724	39,9514275	40,4862999
39	1-Mar	26	45,549517	47,6711032	46,6103101
40	1-Mar	28	39,4394209	40,3497565	39,8945887
41	2-Mar	28	47,8527631	48,5171448	48,1849539
42	2-Mar	28	43,249058	42,8115477	43,0303029
43	3-Mar	28	48,5817999	48,9492675	48,7655337
44	3-Mar	28	48,030639	51,8821205	49,9563798
45	3-Mar	28	49,8933401	45,3195312	47,6064356
46	4-Mar	28	40,8136754	45,1803612	42,9970183
47	4-Mar	28	42,034999	45,4645144	43,7497567
48	6-Mar	28	47,4218994	47,5632098	47,4925546
49	6-Mar	28	38,4274049	37,3832429	37,9053239
50	6-Mar	28	47,16847	42,9530377	45,0607538

Perhitungan evaluasi hasil uji kuat tekan menurut persyaratan pertama dari ACI 318-95 yaitu dengan menggunakan rerata tiga hasil uji ditampilkan pada tabel 5.4, dan SK-SNI dengan menggunakan rerata 4 hasil uji ditampilkan pada tabel 5.5.

Tabel 5.4 Perhitungan kuat tekan rerata 3 pasang hasil uji

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan Rerata 2 silinder (MPa)	Rerata dari 3 pasang hasil uji (MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	12-Feb	34	46,8643043	
	12-Feb	34	47,0023591	
1	12-Feb	34	46,2810869	46,71591676
2	14-Feb	32	49,4395779	47,57434128
3	14-Feb	32	50,2020401	48,64090163
4	15-Feb	31	43,8266677	47,8227619
5	15-Feb	31	49,3008319	47,77651325
6	15-Feb	31	49,5174185	47,54830605
7	17-Feb	29	48,7450436	49,18776468
8	17-Feb	29	43,2779003	47,1801208
9	18-Feb	28	54,6134716	48,87880515
10	18-Feb	28	48,1158222	48,6690647
11	18-Feb	28	52,5106043	51,7466327
12	19-Feb	28	40,4094578	47,01196146
13	19-Feb	28	47,9925024	46,97085485
14	19-Feb	28	49,1004924	45,83415087
15	21-Feb	28	44,892453	47,32848259
16	21-Feb	28	48,8180468	47,60366404
17	21-Feb	28	45,2485414	46,31968038
18	22-Feb	28	38,4348302	44,16713945
19	22-Feb	28	43,8026554	42,49534233
20	22-Feb	28	50,8936922	44,37705928
21	24-Feb	28	46,9251438	47,20716381
22	24-Feb	28	53,1115825	50,31013952
23	24-Feb	28	58,9174638	52,98473005
24	25-Feb	31	48,6933741	53,57414014
25	25-Feb	31	47,6033014	51,73804644
26	25-Feb	28	50,4539902	48,91688857
27	27-Feb	29	40,5109173	46,18940299
28	27-Feb	29	41,7485185	44,2378087
29	27-Feb	27	47,353218	43,20421796

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan Rerata 2 silinder (MPa)	Rerata dari 3 pasang hasil uji (MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
30	28-Feb	28	48,7356252	45,94578725
31	28-Feb	28	42,6221829	46,23700871
32	28-Feb	28	47,4640649	46,27395768
33	29-Feb	27	44,1386731	44,74164031
34	29-Feb	27	42,6721989	44,75831231
35	29-Feb	28	47,599061	44,80331101
36	1-Mar	26	40,4862999	43,58585329
37	1-Mar	26	46,6103101	44,89855702
38	1-Mar	28	39,8945887	42,33039958
39	2-Mar	28	48,1849539	44,89661758
40	2-Mar	28	43,0303029	43,70328184
41	3-Mar	28	48,7655337	46,6602635
42	3-Mar	28	49,9563798	47,25073878
43	3-Mar	28	47,6064356	48,77611637
44	4-Mar	28	42,9970183	46,8532779
45	4-Mar	28	43,7497567	44,78440355
46	6-Mar	28	47,4925546	44,74644319
47	6-Mar	28	37,9053239	43,04921173
48	6-Mar	28	45,0607538	43,48621077

Tabel 5.5 Perhitungan kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan Rerata 2 silinder (MPa)	Rerata dari 4 pasang hasil Uji (MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	12-Feb	34	46,8643043	
	12-Feb	34	47,0023591	
	12-Feb	34	46,2810869	
1	14-Feb	32	49,4395779	47,39683204
2	14-Feb	32	50,2020401	48,23126599
3	15-Feb	31	43,8266677	47,43734315
4	15-Feb	31	49,3008319	48,19227941
5	15-Feb	31	49,5174185	48,21173957
6	17-Feb	29	48,7450436	47,84749044
7	17-Feb	29	43,2779003	47,71029859
8	18-Feb	28	54,6134716	49,03845849
9	18-Feb	28	48,1158222	48,68805943

Lanjutan tabel 5.5.

No	Dibuat Tgl	Umur Hari	Kuat tekan Rerata 2 silinder (MPa)	Rerata dari 4 pasang hasil Uji (MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(6)
10	18-Feb	28	52,5106043	49,6294496
11	19-Feb	28	40,4094578	48,91233898
12	19-Feb	28	47,9925024	47,2570967
13	19-Feb	28	49,1004924	47,50326423
14	21-Feb	28	44,892453	45,5987264
15	21-Feb	28	48,8180468	47,70087363
16	21-Feb	28	45,2485414	47,01488338
17	22-Feb	28	38,4348302	44,34846783
18	22-Feb	28	43,8026554	44,07601844
19	22-Feb	28	50,8936922	44,59492981
20	24-Feb	28	46,9251438	45,01408041
21	24-Feb	28	53,1115825	48,68326849
22	24-Feb	28	58,9174638	52,4619706
23	25-Feb	31	48,6933741	51,91189105
24	25-Feb	31	47,6033014	52,08143047
25	25-Feb	28	50,4539902	51,41703238
26	27-Feb	29	40,5109173	46,81539576
27	27-Feb	29	41,7485185	45,07918188
28	27-Feb	27	47,353218	45,01666102
29	28-Feb	28	48,7356252	44,58706977
30	28-Feb	28	42,6221829	45,11488617
31	28-Feb	28	47,4640649	46,54377276
32	29-Feb	27	44,1386731	45,74013653
33	29-Feb	27	42,6721989	44,22427998
34	29-Feb	28	47,599061	45,46849948
35	1-Mar	26	40,4862999	43,72405825
36	1-Mar	26	46,6103101	44,34196749
37	1-Mar	28	39,8945887	43,64756494
38	2-Mar	28	48,1849539	43,79403817
39	2-Mar	28	43,0303029	44,4300389
40	3-Mar	28	48,7655337	44,96884481
41	3-Mar	28	49,9563798	47,48429257
42	3-Mar	28	47,6064356	47,33966299
43	4-Mar	28	42,9970183	47,33134185
44	4-Mar	28	43,7497567	46,0773976
45	6-Mar	28	47,4925546	45,46144131
46	6-Mar	28	37,9053239	43,03616337
47	6-Mar	28	45,0607538	43,55209725

5.2.2 Pengujian slump

Pengujian slump di lapangan dilakukan untuk mendapatkan nilai slump adukan beton selama pelaksanaan pengecoran, data pengujian slump ditampilkan pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Slump

No	Dibuat Tgl	Slump (cm)	No.	Dibuat Tgl.	Slump (cm)	No.	Dibuat Tgl.	Slump (cm)
1	12-Feb	15	18	21-Feb	15	35	29-Feb	17
2	12-Feb	17	19	21-Feb	19	36	29-Feb	18
3	12-Feb	17	20	22-Feb	18	37	29-Feb	18
4	14-Feb	16	21	22-Feb	18	38	1-Mar	18
5	14-Feb	16	22	22-Feb	18	39	1-Mar	18
6	15-Feb	17	23	24-Feb	19	40	1-Mar	19
7	15-Feb	17	24	24-Feb	18	41	2-Mar	18
8	15-Feb	17	25	24-Feb	18	42	2-Mar	19
9	17-Feb	16	26	25-Feb	14	43	3-Mar	19
10	17-Feb	17	27	25-Feb	18	44	3-Mar	19
11	18-Feb	16	28	25-Feb	16	45	3-Mar	19
12	18-Feb	17	29	27-Feb	16	46	4-Mar	18
13	18-Feb	16	30	27-Feb	18	47	4-Mar	18
14	19-Feb	17	31	27-Feb	19	48	6-Mar	18
15	19-Feb	17	32	28-Feb	17	49	6-Mar	18
16	19-Feb	16	33	28-Feb	18	50	6-Mar	18
17	21-Feb	16	34	28-Feb	18			

Analisis perhitungan keseragaman slump digunakan persamaan 3.10, 3.11, dan 3.12 terhadap data pada tabel 5.6 dapat dilihat pada lampiran 6. Nilai slump rata-rata, standar deviasi dan koefisien variasi adalah sebagai berikut :

$$sr = \frac{\sum si}{n} = \frac{869}{50} = 17,38 \text{ cm}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (si - sr)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{69,78}{50-1}} = 1,193349 \text{ cm}$$

$$cv = \frac{Sd}{sr} \times 100\% = \frac{1,193349}{17,38} \times 100\% = 6,8662\%$$

5.2.3 Pengujian tegangan-regangan

Nilai tegangan dan regangan dihitung menggunakan persamaan 3.13 dan 3.14, berdasarkan data nilai perpendekan terhadap pertambahan beban yang diperoleh dari pengujian. Hasil perhitungan tegangan-regangan secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran 3. SK-SNI dan ACI sub bab 10.2.3 menyebutkan bahwa regangan maksimum yang digunakan pada serat tekan ekstrim beton diambil sama dengan 0,003. Regangan yang terjadi pada tegangan maksimal ditunjukkan pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Regangan pada tegangan maksimal

Umur pengujian	No.	Beban mak. (Kg)	σ mak. (Kg/cm ²)	ΔL mak. (mm)	ϵ mak. (mm/mm)	ϵ mak. Rata-rata (mm/mm)
31 hari	1	85200	487.3176	3.1195	0.022605	0.009565
	2	85100	486.5499	0.98	0.007101	
	3	88000	494.6748	0.39	0.002826	
	4	80000	457.3912	0.7905	0.005728	
29 hari	1	58900	336.7543	0.467	0.003384	0.002783
	2	83000	473.4641	0.376	0.002725	
	3	80700	456.6686	0.324	0.002348	
	4	66700	378.3018	0.369	0.002674	
28 hari	1	84100	480.1888	0.37	0.002681	0.002715
	2	88500	494.5238	0.3665	0.002656	
	3	70900	403.1986	0.37	0.002681	
	4	79600	449.2451	0.392	0.002841	
27 hari	1	73900	422.2322	0.3655	0.002649	0.002629
	2	81200	460.5413	0.368	0.002667	
	3	76200	426.6408	0.3585	0.002598	
	4	74500	426.8032	0.359	0.002601	
26 hari	1	71700	410.2117	0.4	0.002899	0.002844
	2	70600	399.5143	0.3705	0.002685	
	3	80600	455.4952	0.341	0.002471	
	4	83100	476.711	0.3925	0.002844	

Setiap benda uji tegangan-regangan diberi kode yang menunjukkan bentuk benda uji, diameter, umur pengujian, dan urutan benda uji pada umur yang sama. Sebagai contoh benda uji kode C 15-31/1 dapat diartikan sebagai benda uji *Cylinder*

berdiameter 15 cm, urutan kesatu pada umur pengujian 31 hari. Berdasarkan hubungan tegangan-regangan dapat dihitung nilai modulus secant sebagai modulus elastisitas beton. Menurut ACI 318-95 sub bab 8.5.1 nilai modulus elastisitas sebagai kemiringan garis yang ditarik dari tegangan bernilai nol sampai tegangan bernilai $0,45 f_c'$ dari grafik hubungan tegangan-regangan. Secara matematis ditunjukkan pada persamaan 3.15. Nilai regangan saat tegangan $0,45$ tegangan maksimum tidak selalu terukur dalam pengujian, sehingga dicari dengan cara interpolasi dari dua data tegangan-regangan terdekat dengan nilai yang dicari. Sebagai contoh perhitungan modulus elastisitas untuk benda uji kode C15-28/1, data hasil pengujian tegangan-regangan untuk benda uji tersebut ditampilkan pada tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.8 Hasil pengujian tegangan regangan benda uji kode C 15-28/1

Specimen no. : C15-28/1	Diameter : 14,933 cm
Dibuat tanggal : 28 Februari 2000	Tinggi : 30,065 cm
Diuji tanggal : 27 Maret 2000	Berat : 12,535 kg
Umur : 28 hari	Luas alas : 175,139 cm ²
Lo : 138 mm	

No. urut	Pi (Kg)	f_c' (kg/cm ²)	ΔL (mm)	ϵ (mm/mm)
0	0	0,000	0	0,000E+00
1	5000	28,549	0,0085	6,159E-05
2	10000	57,097	0,017	1,232E-04
3	15000	85,646	0,029	2,101E-04
4	20000	114,195	0,0425	3,080E-04
5	25000	142,743	0,057	4,130E-04
6	30000	171,292	0,0725	5,254E-04
7	35000	199,841	0,088	6,377E-04
8	40000	228,389	0,104	7,536E-04
9	45000	256,938	0,119	8,623E-04
10	50000	285,487	0,137	9,928E-04
11	55000	314,035	0,155	1,123E-03
12	60000	342,584	0,1735	1,257E-03
13	65000	371,133	0,1955	1,417E-03
14	67500	385,407	0,207	1,500E-03
15	70000	399,681	0,22	1,594E-03
16	72500	413,956	0,231	1,674E-03

Lanjutan tabel 5.8.

No. urut	Pi (Kg)	f _c i (kg/cm ²)	ΔL (mm)	ε (mm/mm)
17	75000	428,230	0,2445	1,772E-03
18	77500	442,504	0,2625	1,902E-03
19	80000	456,779	0,278	2,014E-03
20	82500	471,053	0,3015	2,185E-03
21	84100	480,189	0,37	2,681E-03

$$\sigma_{0,45} = 0,45 \times 480,189 = 216,0849 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{0,45}$ terletak antara tegangan 199,841 kg/cm² dan 228,389 kg/cm²

$$\epsilon_{0,45} = \left[\frac{(216,0849 - 199,841) \times (7,536 \cdot 10^{-4} - 6,377 \cdot 10^{-4})}{228,389 - 199,841} \right] + 6,377 \cdot 10^{-4}$$

$$\epsilon_{0,45} = 7,03652 \cdot 10^{-4}$$

$$E_c = \frac{\sigma_{0,45}}{\epsilon_{0,45}} = \frac{216,0849}{7,03652 \cdot 10^{-4}} = 307090,558 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 30709,558 \text{ MPa.}$$

Perhitungan modulus elastisitas untuk benda uji yang lain dilakukan dengan cara sama seperti di atas. Hasil perhitungan modulus elastisitas dengan metode analisis berdasarkan grafik hubungan tegangan-regangan tersebut, selengkapnya ditampilkan dalam tabel 5.9.

Selain menggunakan cara analisis berdasarkan uji tegangan-regangan di atas, modulus elastisitas menurut ACI 318-95 dapat dihitung dengan pendekatan teoritis menggunakan persamaan 3.16. Modulus elastisitas juga dihitung menurut pendekatan dari ACI 363R-84 untuk klasifikasi beton kinerja tinggi menggunakan persamaan 3.17. Hasil perhitungan modulus elastisitas berdasarkan pendekatan teoritis menurut

ACI 318-95 maupun ACI 363R-84 terhadap hasil penelitian ditampilkan pada tabel

5.10.

Tabel 5.9 Analisis E_c berdasarkan hubungan tegangan-regangan

No	Kode Nomor	Pi Maks (KN)	σ mak. (MPa)	ϵ mak. (mm/mm)	E_c (MPa)	E_c rerata setiap umur, (MPa)
1	C15-31/1	852	48,73176	2,261E-02	26658,6282	27577,4672
2	C15-31/2	851	48,65499	7,101E-03	28181,589	
3	C15-31/3	880	49,46748	2,826E-03	28105,4944	
4	C15-31/4	800	45,73912	5,728E-03	27364,157	
5	C15-29/1	589	33,67543	3,384E-03	25327,3843	27551,2207
6	C15-29/2	830	47,34641	2,725E-03	27286,0823	
7	C15-29/3	807	45,66686	2,348E-03	29134,2354	
8	C15-29/4	667	38,08394	2,674E-03	28457,1808	
9	C15-28/1	841	48,01888	2,681E-03	30709,0558	28497,7432
10	C15-28/2	885	50,08076	2,656E-03	27924,46	
11	C15-28/3	709	40,31986	2,681E-03	28216,0406	
12	C15-28/4	796	44,92451	2,841E-03	27141,4162	
13	C15-27/1	739	42,22322	2,649E-03	29381,6407	27882,0431
14	C15-27/2	812	46,05413	2,667E-03	26631,544	
15	C15-27/3	762	43,01708	2,598E-03	25971,0778	
16	C15-27/4	745	42,68032	2,601E-03	29543,9097	
17	C15-26/1	717	41,02117	2,899E-03	24522,5505	25899,0129
18	C15-26/2	706	39,95143	2,685E-03	25649,6045	
19	C15-26/3	806	45,54952	2,471E-03	26235,1834	
20	C15-26/4	831	47,6711	2,844E-03	27188,7173	

Tabel 5.10 Analisis E_c berdasarkan pendekatan ACI 318-95 dan ACI 363R-84

No	Kode Nomor	Pi Maks (kn)	f_c' (Mpa)	E_c Menurut ACI 318-95 (MPa)	E_c Menurut ACI 363R-84 (MPa)
1	C15-31/1	852	48,73176	32809,8233	29936,68445
2	C15-31/2	851	48,65499	32783,9711	29918,5329
3	C15-31/3	880	49,46748	33056,56732	30109,93025
4	C15-31/4	800	45,73912	31786,43129	29218,13261
5	C15-29/1	589	33,67543	27274,35102	26050,07625
6	C15-29/2	830	47,34641	32340,10056	29606,87911
7	C15-29/3	807	45,66686	31761,31138	29200,49522
8	C15-29/4	667	38,08394	29004,72613	27265,02047
9	C15-28/1	841	48,01888	32568,95694	29767,56551
10	C15-28/2	885	50,08076	33260,84616	30253,36007

Lanjutan tabel 5.10.

No	Kode Nomor	Pi Maks (kn)	fc'i (Mpa)	E _c Menurut ACI 318-95 (MPa)	E _c Menurut ACI 363R-84 (MPa)
11	C15-28/3	709	40,31986	29844,02251	27854,31368
12	C15-28/4	796	44,92451	31502,10092	29018,49639
13	C15-27/1	739	42,22322	30540,31485	28343,19979
14	C15-27/2	812	46,05413	31895,70106	29294,85394
15	C15-27/3	762	43,01708	30826,08012	28543,84349
16	C15-27/4	745	42,68032	30705,18155	28458,95726
17	C15-26/1	717	41,02117	30102,45336	28035,76513
18	C15-26/2	706	39,95143	29707,35655	27758,35673
19	C15-26/3	806	45,54952	31720,47966	29171,82615
20	C15-26/4	831	47,6711	32450,80384	29684,60695
Rata-rata			44,4439	31297,07898	28874,54482

Dari tabel 5.9 dilakukan analisis regresi linear dan korelasi nilai modulus elastisitas hasil penelitian terhadap akar kuadrat kuat tekan. Perhitungan regresi dan korelasi dapat dilihat pada lampiran 5, hasil perhitungan tersebut adalah :

Persamaan regresi linear : $Y = 1539,1x + 17232$

Koefisien determinasi : $(R^2) = 0,1057$

Koefisien korelasi : $(R) = 0,3251$

Untuk mengetahui kesesuaian penggunaan regresi linear dilakukan pengujian yang ditampilkan pada lampiran 6. Hasil pengujian tersebut menunjukkan nilai f hitung adalah 1,48 lebih kecil dari f tabel sebesar 3,18, sehingga penggunaan model regresi linear dapat diterima.

Selisih antara nilai modulus elastisitas hasil penelitian terregresi dengan modulus elastisitas hasil pendekatan teoritis dihitung dengan persamaan 3.18. Perhitungan penyimpangan modulus elastisitas hasil penelitian terregresi terhadap modulus elastisitas pendekatan menurut ACI 318-95 dan ACI 363R-84 ditunjukkan pada tabel 5.11 dan 5.12 berikut ini.

**Tabel 5.11 Perhitungan penyimpangan nilai modulus elastisitas
hasil penelitian terregresi terhadap modulus elastisitas
pendekatan ACI 318-95**

No	Kode Nomor	fc'l (Mpa)	$\sqrt{fc'}$ (MPa)	E _C ACI 318-95 (MPa)	E _C Hasil penelitian (MPa)	Selisih (%)
1	C15-31/1	48,73176	6,980813	32809,8233	27976,17001	14,7323
2	C15-31/2	48,65499	6,975313	32783,9711	27967,70424	14,6909
3	C15-31/3	49,46748	7,033312	33056,56732	28056,9708	15,1244
4	C15-31/4	45,73912	6,76307	31786,43129	27641,04179	13,0414
5	C15-29/1	33,67543	5,803053	27274,35102	26163,4795	4,073
6	C15-29/2	47,34641	6,880872	32340,10056	27822,3508	13,9695
7	C15-29/3	45,66686	6,757726	31761,31138	27632,81582	12,9985
8	C15-29/4	38,08394	6,171218	29004,72613	26730,12212	7,8422
9	C15-28/1	48,01888	6,929565	32568,95694	27897,29396	14,3439
10	C15-28/2	50,08076	7,076776	33260,84616	28123,8656	15,4445
11	C15-28/3	40,31986	6,349792	29844,02251	27004,9649	9,513
12	C15-28/4	44,92451	6,702575	31502,10092	27547,93266	12,5521
13	C15-27/1	42,22322	6,497939	30540,31485	27232,97842	10,8294
14	C15-27/2	46,05413	6,786319	31895,70106	27676,82415	13,2271
15	C15-27/3	43,01708	6,55874	30826,08012	27326,55743	11,3525
16	C15-27/4	42,68032	6,533017	30705,18155	27286,967	11,1324
17	C15-26/1	41,02117	6,404777	30102,45336	27089,59276	10,0087
18	C15-26/2	39,95143	6,320714	29707,35655	26960,21116	09,2474
19	C15-26/3	45,54952	6,749038	31720,47966	27619,44473	12,9287
20	C15-26/4	47,6711	6,904426	32450,80384	27858,60259	14,1513
Rata-rata		44,4439		31297,07898	27480,79452	12,0601

**Tabel 5.12 Perhitungan penyimpangan nilai modulus elastisitas
hasil penelitian terregresi terhadap modulus elastisitas
pendekatan ACI 363R-84**

No	Kode Nomor	fc'l (Mpa)	$\sqrt{fc'}$ (MPa)	E _C ACI 363R-84 (MPa)	E _C Hasil penelitian (Mpa)	Selisih (%)
1	C15-31/1	48,73176	6,980813	29936,68445	27976,17001	6,5489
2	C15-31/2	48,65499	6,975313	29918,5329	27967,70424	6,5205
3	C15-31/3	49,46748	7,033312	30109,93025	28056,9708	6,8182
4	C15-31/4	45,73912	6,76307	29218,13261	27641,04179	5,3976
5	C15-29/1	33,67543	5,803053	26050,07625	26163,4795	-0,4353
6	C15-29/2	47,34641	6,880872	29606,87911	27822,3508	6,0274

Lanjutan tabel 5.12.

No	Kode Nomor	f_c' (Mpa)	$\sqrt{f_c'}$ (MPa)	E_c ACI 363R-84 (MPa)	E_c Hasil penelitian (Mpa)	Selisih (%)
7	C15-29/3	45,66686	6,757726	29200,49522	27632,81582	5,3687
8	C15-29/4	38,08394	6,171218	27265,02047	26730,12212	1,9618
9	C15-28/1	48,01888	6,929565	29767,56551	27897,29396	6,2829
10	C15-28/2	50,08076	7,076776	30253,36007	28123,8656	7,0389
11	C15-28/3	40,31986	6,349792	27854,31368	27004,9649	3,0493
12	C15-28/4	44,92451	6,702575	29018,49639	27547,93266	5,0677
13	C15-27/1	42,22322	6,497939	28343,19979	27232,97842	3,9171
14	C15-27/2	46,05413	6,786319	29294,85394	27676,82415	5,5233
15	C15-27/3	43,01708	6,55874	28543,84349	27326,55743	4,2646
16	C15-27/4	42,68032	6,533017	28458,95726	27286,967	4,1182
17	C15-26/1	41,02117	6,404777	28035,76513	27089,59276	3,3749
18	C15-26/2	39,95143	6,320714	27758,35673	26960,21116	2,8753
19	C15-26/3	45,54952	6,749038	29171,82615	27619,44473	5,3215
20	C15-26/4	47,6711	6,904426	29684,60695	27858,60259	6,1514
Rata-rata		44,4439		28874,54482	27480,79452	4,7596

BAB VI

PEMBAHASAN

6.1 Kuat Tekan Beton

6.1.1 Pencapaian kuat tekan beton

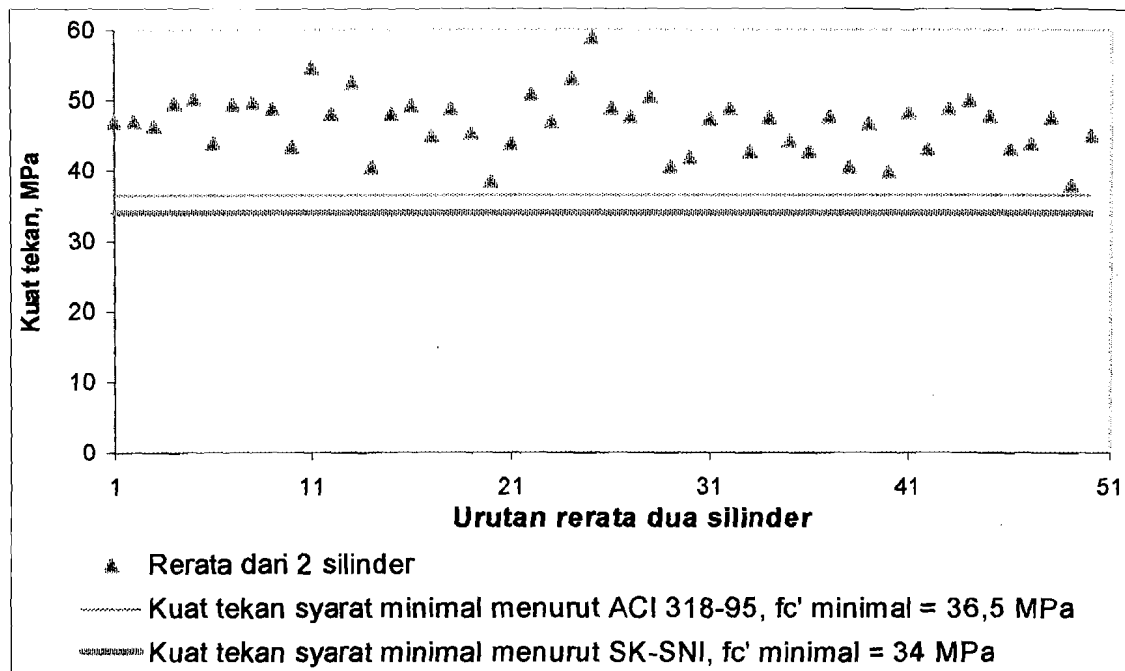
Kuat tekan rata-rata yang dicapai dari hasil pengujian awal terhadap benda uji yang dibuat dan dirawat dengan standar laboratorium (*standart laboratory moist-cured specimens*), pada tabel 5.1 sebesar 53,997 MPa. Berdasarkan ACI 318-95 sub bab 5.3.2.2, untuk kuat tekan spesifikasi lebih dari 35 MPa dan data uji kurang dari 15 diambil nilai margin 10 MPa. Kuat tekan hasil pengujian menurut ACI 318-95 sub bab 5.3.2.2 diperoleh 43,997 MPa, lebih tinggi dibanding kuat tekan spesifikasi sebesar 40 Mpa. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa rancangan campuran yang ada memenuhi persyaratan untuk digunakan di lapangan.

Berdasarkan analisis hasil pengujian kuat tekan untuk benda uji yang dibuat dan dirawat di lapangan (*field-cured specimens*) pada tabel 5.2, diperoleh nilai kuat tekan rata-rata ($f_c'r$) 46,59159 MPa dengan standar deviasi adalah 4,61230 MPa. Jika digunakan persamaan 5.9, diperoleh kuat tekan (f_c') dari hasil pengujian 39,02742 MPa, ternyata lebih rendah dari kuat tekan spesifikasi yaitu 40 MPa. ACI 318-95 sub bab 5.6.3.4 menyebutkan bahwa hasil uji kuat tekan benda uji beton yang dibuat dan dirawat di lapangan (*field-cured specimens*) tidak boleh kurang dari 0,85 kuat tekan

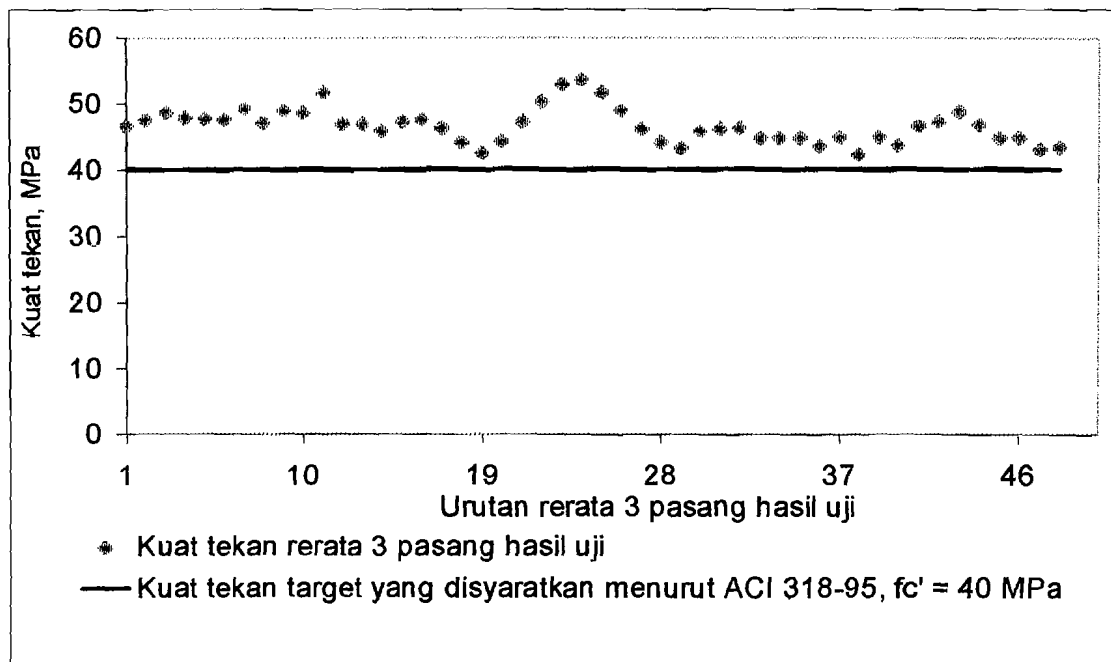
hasil pengujian terhadap benda uji yang dibuat dan dirawat dengan standar laboratorium (*standart laboratory moist-cured specimens*). Nilai 0,85 kuat tekan *standart laboratory moist-cured specimens* dari analisis pada tabel 5.1, diketahui sebesar 37,381 MPa. Kuat tekan hasil uji *field-cured specimens* sebesar 39,027 MPa, masih lebih tinggi dari 37,381 MPa. Mutu beton yang dihasilkan di lapangan berdasarkan analisis tersebut, memenuhi persyaratan terhadap kuat tekan spesifikasi.

Pada hasil pengujian tabel 5.2 digunakan persamaan 5.10 sebagai kontrol terhadap mutu beton yang dihasilkan, berdasarkan ACI 318-95 sub bab 5.3.2 diperoleh f_c' 40,411 MPa. Nilai f_c' tersebut lebih tinggi dibanding kuat tekan spesifikasi sebesar 40 MPa maupun nilai 0,85 kuat tekan hasil pengujian terhadap *standart laboratory moist-cured specimens* sebesar 37,381 MPa. Kuat tekan beton yang dihasilkan di lapangan, dari analisis menurut ACI 318-95 sub bab 5.3.2 memenuhi persyaratan.

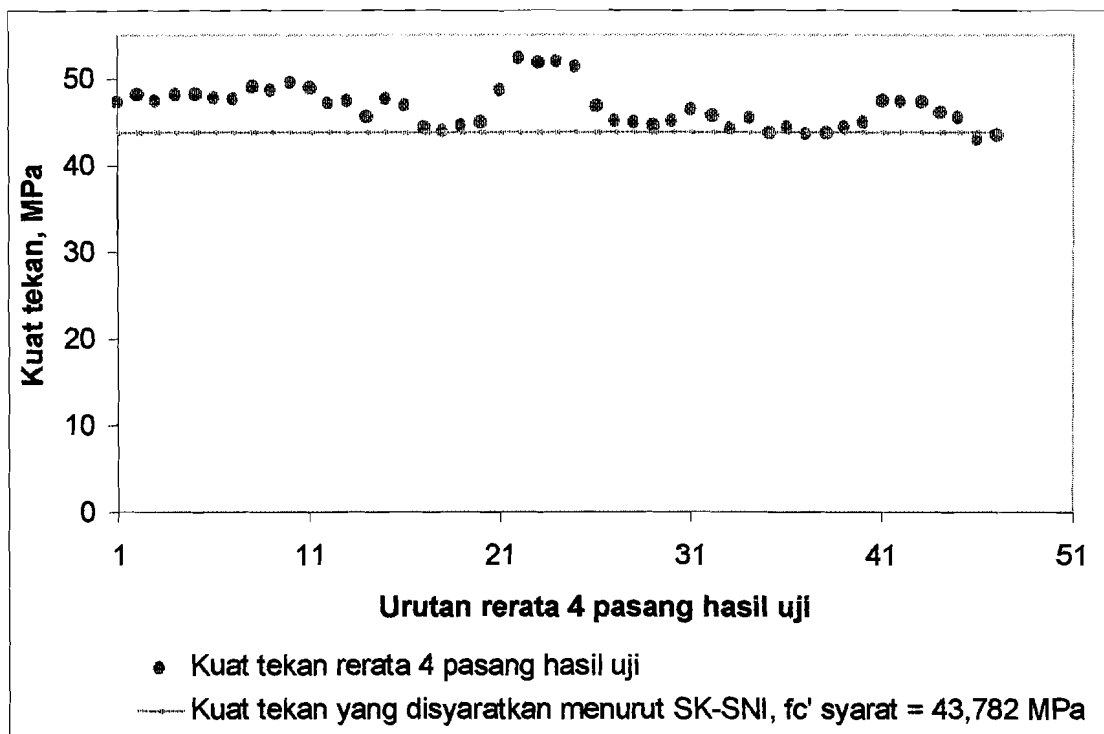
Evaluasi terhadap hasil uji kuat tekan secara individual perlu dilakukan untuk mengetahui pencapaian mutu beton yang dihasilkan. Evaluasi dilakukan berdasarkan persyaratan ACI 318-95 sub bab 5.6.2.3 dan SK-SNI. Berdasarkan tabel 5.3 kolom (6) ditampilkan bentuk sebaran kuat tekan rata-rata dua silinder beton aktual terhadap kuat tekan minimal yang disyaratkan menurut ACI 318-95 dan SK-SNI pada gambar 6.1. Pada gambar 6.2 ditampilkan sebaran kuat tekan rerata 3 pasang hasil uji berdasarkan kolom (5) tabel 5.4 terhadap kuat tekan target yang disyaratkan menurut ACI 318-95 sub bab 5.6.2.3. Sebaran rerata 4 pasang hasil uji berdasarkan kolom (5) tabel 5.5 terhadap kuat tekan yang disyaratkan menurut SK-SNI ditampilkan pada gambar 6.3..



Gambar 6.1 Sebaran kuat tekan rerata dua silinder



Gambar 6.2 Sebaran kuat tekan rerata 3 pasang hasil uji



Gambar 6.3 Sebaran kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji

Dari gambar 6.1 terlihat bahwa tidak ada hasil rata-rata dua silinder yang lebih rendah dari persyaratan kuat tekan minimal menurut ACI 318-95 dan SK-SNI. Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak perlu dilakukan uji tidak merusak untuk mengetahui keamanan struktur terhadap beban yang terjadi.

Dari gambar 6.2 terlihat bahwa tidak ada nilai kuat tekan rerata dari 3 pasang hasil uji yang lebih rendah dari kuat tekan yang disyaratkan menurut ACI 318-95. Dari gambar 6.3, hanya ada 3 nilai dari 47 nilai kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji yang lebih rendah dari kuat tekan yang disyaratkan menurut SK-SNI.

Dari gambar 6.1 dan 6.2 serta analisis pada tabel 5.3 dan 5.4 diketahui bahwa berdasarkan ACI 318-95 secara individual kuat tekan beton yang dihasilkan telah

memenuhi persyaratan. Berdasarkan evaluasi secara individual menurut SK-SNI pada tabel 5.3 dan 5.5 yang ditunjukkan pada gambar 6.1 dan 6.3 diketahui bahwa sebagian besar nilai kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji lebih dari kuat tekan yang disyaratkan sebesar 43,782 MPa, dan seluruh hasil kuat tekan rata-rata dua silinder yang menunjukkan kuat tekan aktual beton yang diproduksi lebih tinggi dari 0,85 f_c' yaitu 34 MPa.

Hasil kuat tekan rata-rata sepasang silinder yang rendah kemungkinan diakibatkan oleh pemadatan benda uji yang kurang, hal tersebut dapat dilihat dari berat satuan beton benda uji yang lebih rendah dari berat satuan rata-rata sebesar 2373,69 kg/m³. Selain itu kerikil yang agak kotor oleh lumpur akan mengurangi lekatan antara pasta semen dan agregat, sehingga mengurangi kuat tekan beton. Kemungkinan lain adalah pembuatan benda uji yang kurang sempurna menyebabkan hasil uji lebih rendah dari kuat tekan aktual, dikarenakan permukaan yang tidak rata ditekan selama pengujian, maka beban uji tidak dapat bekerja secara merata namun bekerja sebagai beban titik pada permukaan yang lebih tinggi.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap kuat tekan adalah ketepatan takaran, rawatan benda uji, dan alat uji. Pelaksanaan pengawasan yang baik di lapangan terutama dalam ketepatan takaran bahan dan prosedur pelaksanaan pencampuran mampu memperkecil faktor-faktor yang dapat merugikan antara lain adanya kesalahan manusiawi (*human error*) terutama dalam proses penakaran dan prosedur pencampuran.

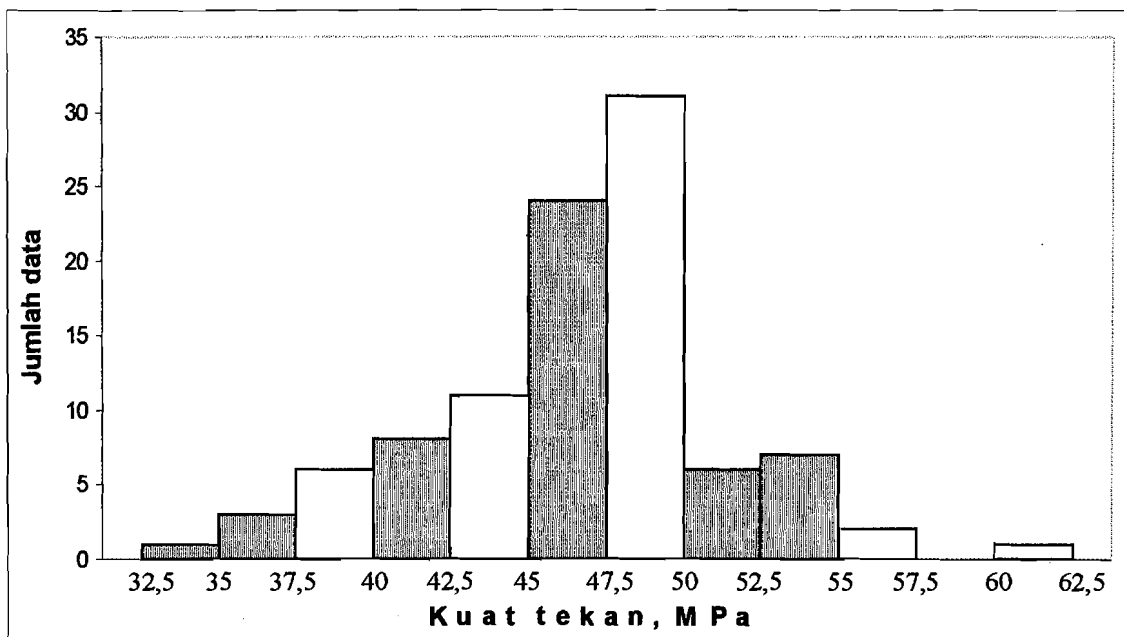
Rawatan benda uji yang baik dapat menghasilkan kuat tekan beton yang tinggi. Berdasarkan teori rawatan, benda uji dengan direndam dalam air sampai saat pengujian menghasilkan mutu beton yang lebih baik dibanding rawatan kering. Rawatan yang dilakukan dalam penelitian adalah dengan direndam dalam air selama 7 hari, kemudian ditempatkan di tempat kering dan terlindung sampai umur 28 hari. Hal ini dikarenakan tempat rawatan benda uji kurang mencukupi. Berdasarkan teori, cara rawatan benda uji seperti ini menghasilkan beton dengan kuat tekan lebih kecil 0,88 – 0,91 dari kuat tekan beton dengan cara rawatan direndam selama 28 hari.

Kecepatan pembebanan saat pengujian kuat tekan, berpengaruh terhadap kuat tekan benda uji. Kecepatan pembebanan yang rendah menyebabkan beton mempunyai cukup banyak waktu untuk terjadinya rayapan. Jenis dan merk alat uji berpengaruh terhadap akurasi hasil pengujian yang dilakukan. Hal tersebut disebabkan setiap alat mempunyai nilai kalibrasi yang berbeda. Untuk menjaga akurasi hasil uji, dilakukan pengujian kuat tekan menggunakan lebih dari satu jenis atau merk alat uji.

Hasil pengujian menunjukkan beton yang diproduksi di lapangan dengan nilai faktor air-semen 0,39 dapat mencapai kuat tekan rata-rata 46,59159 MPa. Jika hasil tersebut diplotkan pada gambar 2.1, yang merupakan hasil beberapa peneliti terdahulu tentang hubungan faktor air-semen dengan kuat tekan beton, maka hasil penelitian ini akan terlihat sesuai grafik 2 dari hasil penelitian Fiorato (1989). Hal tersebut menunjukkan hasil kuat tekan beton yang diproduksi di lapangan dengan faktor air-semen 0,39 telah sesuai dengan kriteria beton mutu tinggi mengacu penelitian Fiorato (1989).

6.1.2 Keseragaman kuat tekan beton

Pada tabel 5.2 diketahui tentang kuat tekan benda uji secara keseluruhan. Dari tabel tersebut ditampilkan dalam bentuk gambar histogram frekuensi pada gambar 6.4. Berdasarkan analisis terhadap tabel 5.2, diketahui bahwa data kuat tekan tersebut mempunyai f_c' rata-rata 46,59159 MPa, standar deviasi 4,61230 MPa, dan koefisien variasi 9,89942 %. Kuat tekan beton yang dihasilkan dianggap mempunyai keseragaman yang baik, ditunjukkan dengan nilai standar deviasi yang berkisar antara 3,5 MPa sampai 5 MPa menurut ACI Committee 363R-92 dan nilai koefisien variasi yang kurang dari 20 % menurut Suwandojo (2000).



Gambar 6.4 Diagram frekuensi kuat tekan

Gambar 6.4 menunjukkan frekuensi kuat tekan dari 100 data pengujian yang telah dilakukan, nampak bahwa kuat tekan beton yang dihasilkan cukup bervariasi. Sebagian besar hasil uji kuat tekan terletak antara 45 MPa sampai 50 MPa yaitu

sebanyak 56% dari seluruh data pengujian. Data pengujian dengan *range* kuat tekan antara 40 MPa sampai 45 MPa adalah sebanyak 19 %, sedangkan data yang lain tersebar pada *range* 32,5 sampai 40 MPa. Hasil pengujian dengan kuat tekan antara 50 MPa sampai 60 MPa adalah 14% dari keseluruhan hasil uji. Data hasil pengujian yang memiliki kuat tekan di atas 60 MPa sebanyak 1%.

Variasi kuat tekan beton hasil pengujian dipengaruhi oleh beberapa faktor. Karakteristik material terutama agregat di lapangan yang bervariasi seperti gradasi, bentuk, tekstur, dan sifat-sifat fisik lain, dapat mengakibatkan mutu beton yang bervariasi. Sulit untuk mendapatkan agregat yang memiliki karakteristik yang seragam di lapangan, meskipun material di ambil dari sumber yang sama.

Cara pengadukan yang berbeda dari satu adukan ke adukan berikutnya mempengaruhi mutu beton yang dihasilkan. Hal tersebut berhubungan dengan stabilitas dan kemampuan sumber daya manusia yang ada. Pengawasan yang baik serta penggunaan pekerja yang berpengalaman dapat mengurangi kesalahan akibat faktor pekerja.

Pemadatan benda uji dengan cara ditumbuk secara manual, mengakibatkan kepadatan beton sangat dipengaruhi oleh pengalaman pembuat benda uji. Kepadatan benda uji satu dan lainnya sulit diukur, karena tidak ada standar yang tepat untuk hal itu. Kurangnya pemadatan menyebabkan gelembung udara dalam beton sehingga menjadikan beton berpori, hal ini mengurangi kekuatan beton. Pada pemadatan yang berlebihan dapat terjadi pemisahan antar bahan penyusun sehingga menimbulkan rongga-rongga. Hal tersebut mengakibatkan masuknya udara dari luar yang menimbulkan gelembung udara pada beton.

6.2 Slump dan Workabilitas

Tabel 5.6 menunjukkan nilai slump campuran yang dihasilkan dalam satu hari dapat bervariasi dari satu adukan ke adukan berikutnya. Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap data tabel 5.6 diperoleh hasil slump rata-rata 17,38 cm, dengan standar deviasi slump 1,19 cm, koefisien variasi 6,6866 %. Dari hasil analisis tersebut nampak bahwa secara umum nilai slump campuran mempunyai keseragaman yang baik, ditunjukkan dengan standar deviasi dan koefisien variasi slump yang rendah.

Nilai slump campuran yang dihasilkan di lapangan bervariasi antara 13 cm sampai 19 cm, lebih tinggi dari slump rencana yaitu 12 cm sampai 14 cm. Nilai slump campuran yang diproduksi di lapangan mempengaruhi workabilitas. Beton kinerja tinggi umumnya mempunyai nilai faktor air-semen yang rendah, menyebabkan slump campuran rendah. Untuk menjaga workabilitas di lapangan digunakan bahan-tambah *superplasticizer*.

Pada bagian bawah kubah dengan posisi pengecoran hampir vertikal dan tulangan yang tidak terlalu rapat digunakan nilai slump yang lebih rendah (berkisar 14–16 cm), dibandingkan bagian tengah dan atas kubah dengan posisi pengecoran cenderung melengkung dan penulangan semakin rapat (16 – 19 cm). Pada pengecoran bagian tengah dan atas kubah memerlukan nilai slump yang tinggi, bertujuan agar campuran beton dapat mengisi antar tulangan yang rapat dan mengikuti bentuk acuan yang lengkung.

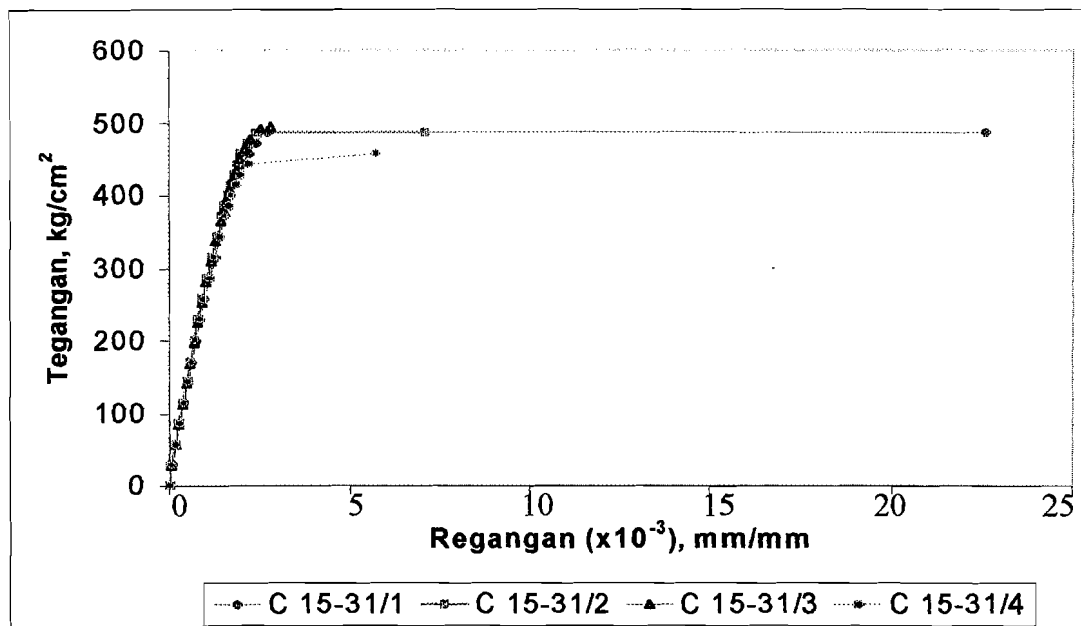
Pada saat cuaca panas dilakukan penambahan jumlah air pencampur, dengan maksud meninggikan nilai slump untuk mengantisipasi terjadinya *slump loose* selama pengangkutan. Pada saat cuaca hujan, maka material terutama agregat basah. Hal

tersebut akan menambah kandungan air dalam campuran, sehingga dilakukan pengurangan air pencampur. Nilai slump campuran diusahakan sesuai dengan slump yang diperlukan untuk menjaga workabilitas, dan menjamin agar struktur kubah dapat dikerjakan dengan standar pelaksanaan yang sama.

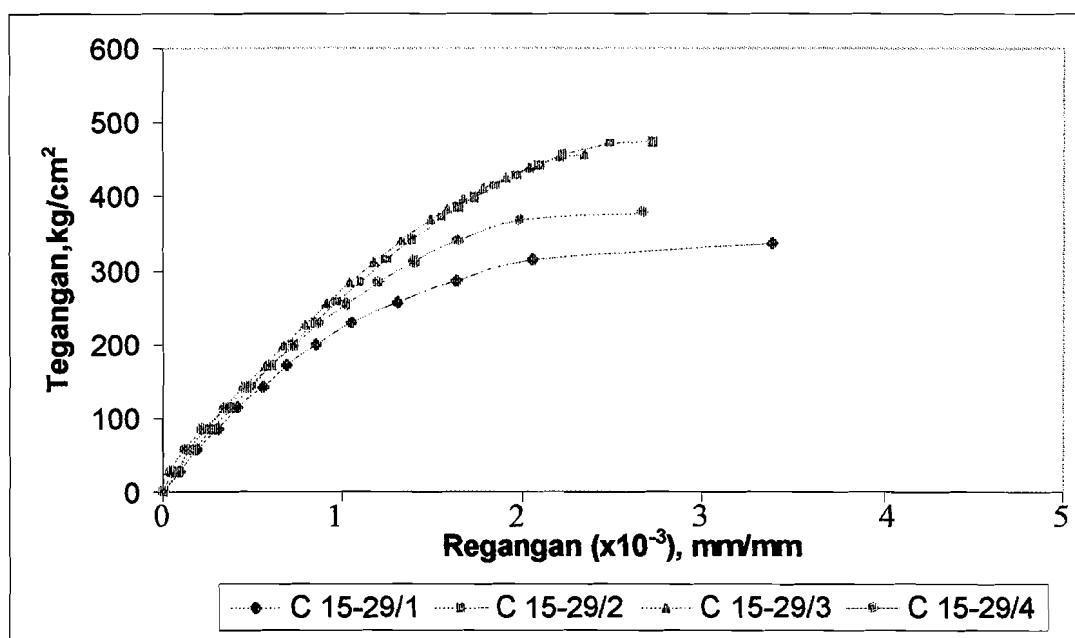
Penyiraman terhadap agregat menyebabkan kandungan air dalam agregat bertambah, sehingga perlu dilakukan pengurangan jumlah air pencampur. Penggunaan agregat kasar dengan absorsi lebih dari 1 % seperti tercantum dalam spesifikasi, mengakibatkan agregat mudah untuk menyerap air. Hal tersebut menimbulkan kesulitan untuk mengontrol penambahan maupun pengurangan air pencampur.

6.3 Modulus Elastisitas

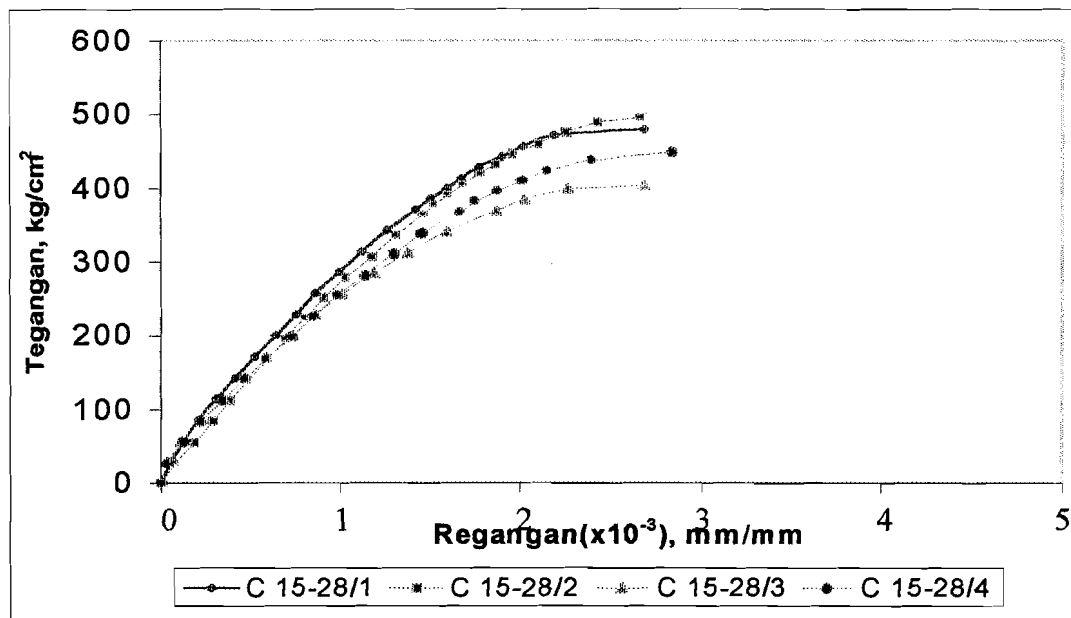
Pengujian tegangan-regangan tidak dilakukan terhadap seluruh benda uji disebabkan keterbatasan sarana dan biaya yang tersedia, sehingga hanya diambil 20 benda uji. Seluruh pengujian tegangan-regangan dilaksanakan di Laboratorium Bahan, PUSLITBANGKIM Bandung. Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji untuk masing-masing umur pengujian ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



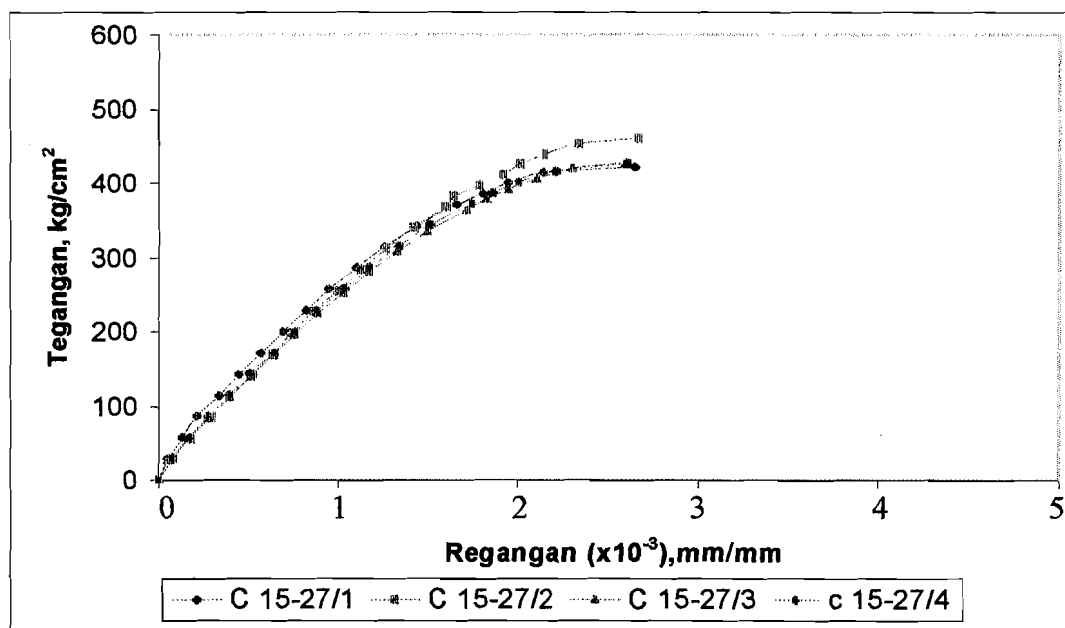
Gambar 6.5 Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 31 hari



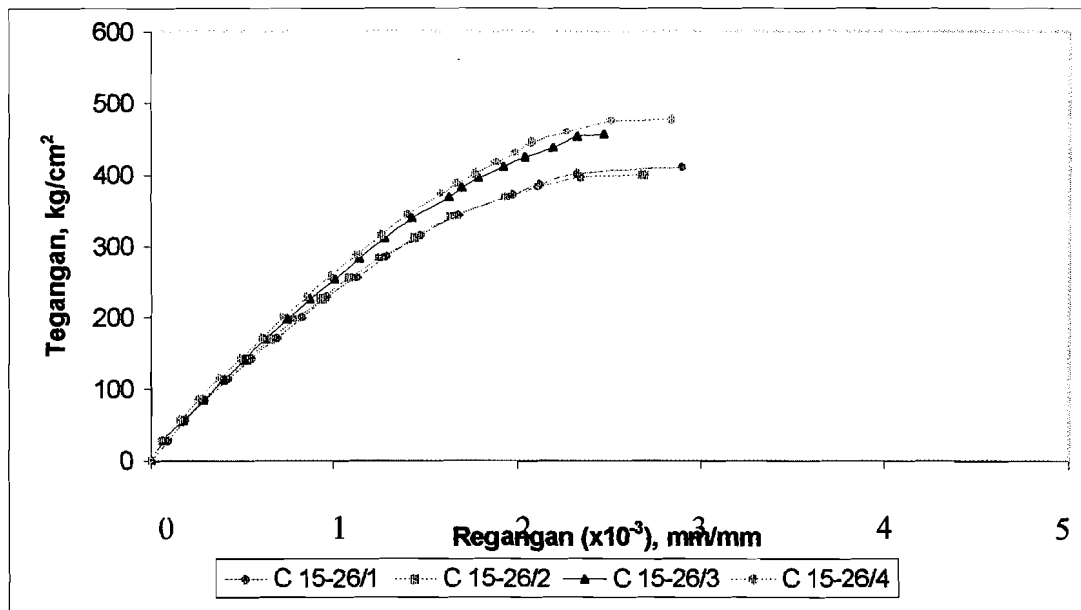
Gambar 6.6 Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 29 hari



Gambar 6.7 Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 28 hari



Gambar 6.8 Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 27 hari



Gambar 6.9 Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 26 hari

Dari tabel 5.7 diketahui untuk benda uji dengan umur 26 hari memiliki regangan maksimum antara 0,002471 mm/mm sampai 0,002899 mm/mm dengan rata-rata 0,002844 mm/mm. Untuk benda uji dengan umur 27 hari memiliki regangan maksimum antara 0,002598 mm/mm dan 0,002667 mm/mm dengan rata-rata 0,002629 mm/mm. Benda uji umur 28 hari memiliki regangan maksimum antara 0,002656 mm/mm dan 0,002841 mm/mm dengan rata-rata 0,002715 mm/mm. Benda uji dengan umur 29 hari memiliki regangan maksimum antara 0,002348 mm/mm dan 0,003384 mm/mm dengan rata-rata 0,002783 mm/mm. Untuk benda uji umur 31 hari memiliki regangan maksimum antara 0,002826 mm/mm dan 0,022605 mm/mm dengan rata-rata 0,009565 mm/mm.

Secara teoritis beton akan mencapai tegangan maksimum pada saat regangan tekan di antara 0,002 dan 0,0025. Regangan ultimit pada saat beton hancur adalah sekitar 0,003 sampai 0,008, tetapi dalam praktek regangan maksimum diambil 0,003 sampai 0,004. Pada pengujian beton, tegangan maksimum adalah tegangan ultimit, karena saat mencapai tegangan maksimum beton langsung hancur. Menurut ACI sub bab 10.2.3 nilai regangan maksimum untuk serat tekan ekstrim diambil 0,003. Nilai regangan maksimum menurut ACI tersebut dapat tidak konservatif untuk beton berkekuatan tinggi.

Beton yang dihasilkan dalam penelitian memiliki regangan maksimum pada saat beton hancur antara 0,0023 sampai 0,0096. Dari data uji diketahui pada benda uji umur 31 hari regangan maksimal ada yang mencapai 0,022605, hal tersebut dapat disebabkan oleh kesalahan pengambilan data *logger*. Pengujian benda uji umur 31 hari dilakukan pertama kali dari keseluruhan pengujian, pada pengujian tersebut dilakukan pengukuran sampai benda uji hancur. Tegangan yang terjadi saat beton hancur tidak dapat terprediksi, sehingga dapat terjadi data *logger* untuk tegangan maksimum diambil terlambat yaitu setelah beton hancur. Hal tersebut menyebabkan pengukuran nilai perpendekan tidak akurat. Untuk mengatasinya pada pengujian setelah benda uji umur 31 hari data *logger* untuk tegangan maksimal diambil pada saat tidak ada lagi penambahan beban, kemudian pengujian langsung dihentikan untuk menghindari pengaruh ledakan beton terhadap alat uji. Apabila data regangan maksimum dari hasil uji untuk benda uji umur 31 hari dihilangkan didapat nilai regangan maksimum antara 0,002199 sampai 0,002826 dengan rata-rata 0,002554,

maka dari gambar 6.5 dapat dilihat bahwa secara umum bentuk kurva tegangan-regangan untuk benda uji umur 31 hari tidak jauh berbeda dengan benda uji yang lain.

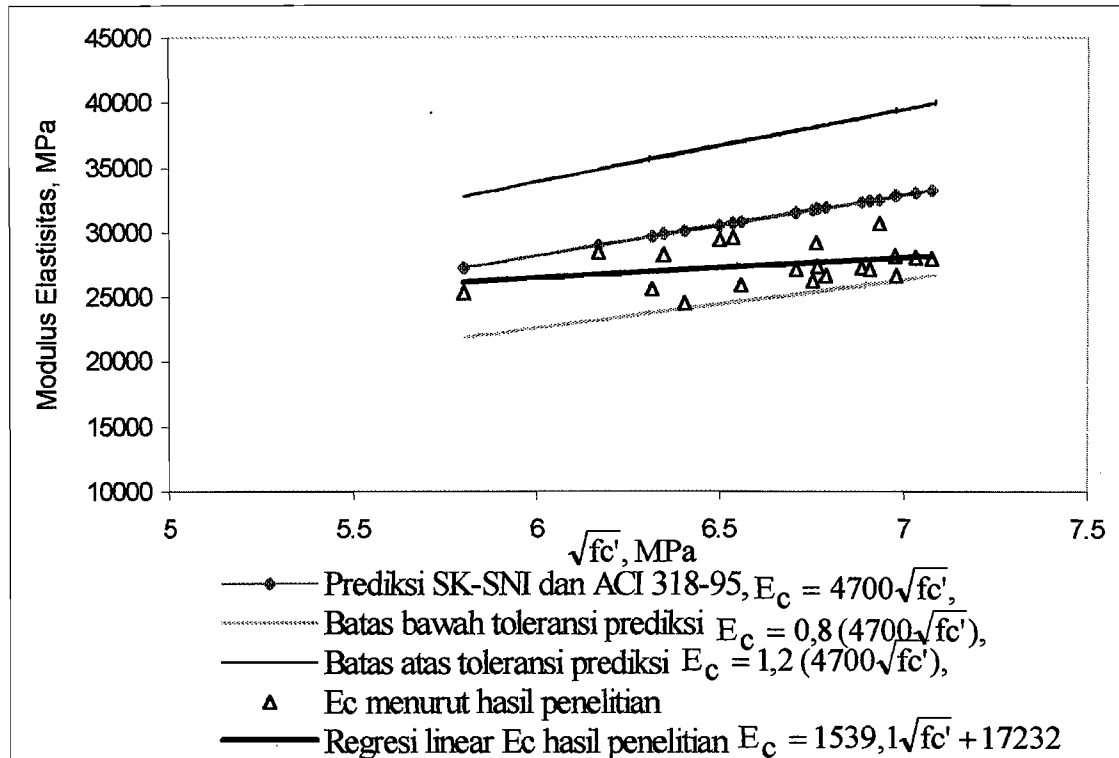
Untuk mengetahui bentuk kurva tegangan-regangan yang benar, diperlukan hasil pengujian yang akurat terutama data perpendekan. Pengukuran dengan manual dapat menyebabkan terjadinya kesalahan pembacaan. Salah satu cara pengujian yang cukup akurat adalah menggunakan *tranduser*, yaitu alat pencatat deformasi semi otomatis dengan ketelitian mencapai 0,001 mm. Namun penggunaan alat semi otomatis *tranduser* mempunyai kesulitan pada pengambilan nilai perpendekan pada saat tegangan maksimal dan tegangan ultimit. Hal tersebut disebabkan pada saat beton maksimal dan hancur berlangsung sangat cepat dan tidak terprediksi, sehingga operator *tranduser* kurang akurat dalam mengambil data *logger*. Untuk lebih meningkatkan ketelitian dalam penggunaan *tranduser* pada saat diperkirakan beton mendekati tegangan hancur, rentang pembacaan penambahan beban diperkecil.

Ketelitian pengujian tegangan-regangan dapat lebih teliti menggunakan alat *strain gauge* dengan bantuan komputer. Kecepatan pembebanan mempengaruhi bentuk kurva tegangan-regangan. Pembebanan yang terlalu lambat akan mengakibatkan terjadinya rangkak, sehingga nilai deformasi menjadi tidak akurat.

Bentuk kurva tegangan-regangan dipengaruhi oleh karakteristik agregat yang digunakan, dan faktor pengujian seperti alat uji dan kecepatan pembebanan. Daerah terlemah pada beton adalah daerah antara pasta semen dengan agregat kasar. Penggunaan agregat kasar batu pecah yang memiliki permukaan kasar akan mengurangi hal tersebut, sehingga meningkatkan kuat tekan dan memperkecil deformasi yang terjadi akibat pembebanan.

Modulus elastisitas beton pada umur 26 hari dari tabel 5.9 sebesar 24522,5505 MPa sampai 27188,7173 MPa dengan rata-rata 25899,0129 MPa. Pada umur 27 hari modulus elastisitas hasil penelitian antara 25971,0778 MPa sampai 29381,6407 MPa dengan rata-rata 27882,0431 MPa. Beton pada umur 28 hari, dari hasil penelitian memiliki modulus elastisitas antara 27141,4162 MPa sampai 30709,0558 MPa dengan rata-rata 28497,7432 MPa. Modulus elastisitas beton hasil penelitian pada umur 29 hari antara 25327,3843 MPa sampai 29134,2354 MPa dengan rata-rata 27551,2207 MPa. Pada umur 31 hari modulus elastisitas hasil penelitian antara 26658,6282 MPa sampai 28181,5890 MPa dengan rata-rata 27577,4672 MPa.

Dari uraian di atas terlihat bahwa nilai modulus elastisitas hasil penelitian dari umur 26 hari akan meningkat sampai umur 28 hari. Pada umur 29 dan 31 hari modulus elastisitas hasil penelitian lebih rendah dari umur 28 hari. Pada tabel 5.10 ditunjukkan hasil analisis perhitungan modulus elastisitas beton berdasarkan hasil uji tegangan-regangan menurut prediksi ACI 318-95 sub bab 8.5.1 dan ACI 363R-84. Perbandingan hubungan modulus elastisitas dengan akar kuadrat kuat tekan beton antara hasil penelitian dengan pendekatan teoritis menurut ACI 363R-84 maupun ACI 318-95 ditampilkan pada gambar 6.10 dan 6.11.

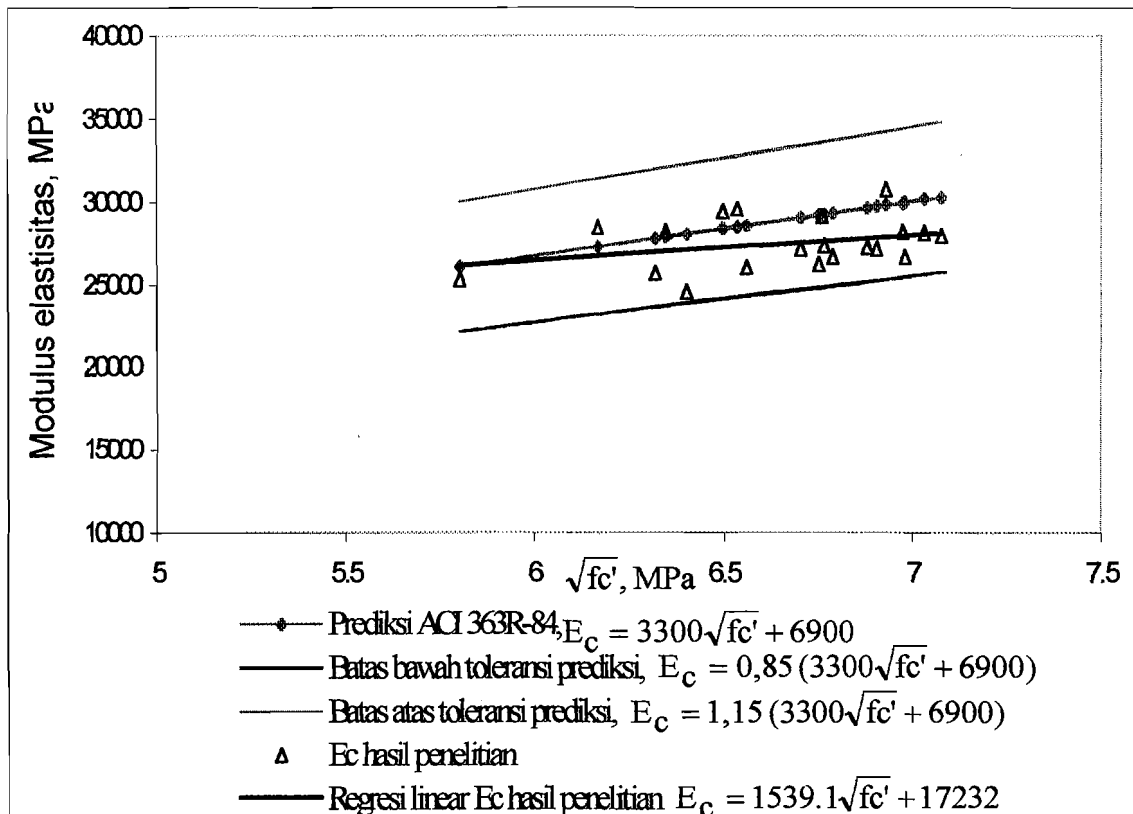


Gambar 6.10 Komparasi modulus elastisitas hasil penelitian dengan prediksi ACI 318-95

Gambar 6.10 memperlihatkan perbandingan antara nilai modulus elastisitas dari hasil penelitian dengan prediksi ACI 318-95 sub bab 8.5.1 dengan persamaan $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$. ACI 318-95 sub bab 8.5.1 memberikan toleransi bagi modulus elastisitas yaitu $\pm 20\%$ dari nilai prediksi, dengan maksud kemungkinan modulus elastisitas riil akan berada pada *range* 80% sampai 120% dari modulus elastisitas prediksi. Dari gambar tersebut nampak bahwa nilai modulus elastisitas hasil penelitian berada di antara nilai prediksi dan $0,8 (4700\sqrt{f_c'})$ yang merupakan batas bawah toleransi nilai prediksi modulus elastisitas. Dari hasil analisis regresi terhadap hasil penelitian akan diperoleh persamaan regresi $E_c = 1539,1\sqrt{f_c'} + 17232$

Pada tabel 5.10 diketahui modulus elastisitas rata-rata dari hasil penelitian terregresi adalah sebesar 27480,7945 MPa, dan prediksi modulus elastisitas rata-rata menurut ACI 318-95 adalah 31297,0789 MPa. Dari tabel 5.11 diketahui selisih antara modulus elastisitas hasil penelitian yang telah terregresi dengan nilai modulus elastisitas prediksi menurut ACI 318-95 adalah berkisar 4,07% sampai 15,45%, dengan selisih rata-rata 12,06 %. Selisih tersebut masih berada dibawah batas toleransi prediksi modulus elastisitas menurut ACI 318-95 sebesar 20%. Sesuai dengan beberapa penelitian lain menunjukkan terjadinya *overestimates* pada penggunaan persamaan ACI 318-95 untuk memprediksi modulus elastisitas beton berkinerja tinggi.

Gambar 6.11 memperlihatkan perbandingan antara modulus elastisitas hasil penelitian dengan prediksi ACI 363R-84 dengan persamaan $E_c = 3300\sqrt{f_c'} + 6900$. Rumus prediksi menurut ACI 363R-84 tersebut mempunyai batas toleransi sebesar 15%. Dari gambar 6.10 nampak bahwa sebagian besar hasil penelitian tersebar di antara nilai prediksi dan $0,85(3300\sqrt{f_c'} + 6900)$ yang merupakan batas bawah toleransi nilai prediksi. Setelah hasil penelitian diregresi, dapat dihitung selisih antara modulus elastisitas hasil penelitian yang terregresi dengan modulus elastisitas prediksi ACI 363R-84 yang ditampilkan pada tabel 5.12.



Gambar 6.11 Komparasi modulus elastisitas hasil penelitian dengan prediksi ACI 363R-84

Dari tabel 5.12 diketahui nilai modulus elastisitas prediksi menurut ACI 363R-84 rata-rata sebesar 28874,5448 MPa, sedangkan modulus elastisitas hasil penelitian yang terregresi sebesar 27480,7945 MPa. Selisih antara modulus elastisitas hasil penelitian terregresi dengan prediksi ACI 363R-84 adalah berkisar $-0,44\%$ sampai $+7,04\%$ dengan selisih rata-rata $4,76\%$. Hasil analisis menunjukkan bahwa modulus elastisitas hasil penelitian mempunyai selisih yang cukup kecil dibandingkan prediksi ACI 363R-84. Nilai selisih tersebut cukup jauh berada di bawah nilai toleransi prediksi modulus elastisitas menurut ACI 363R-84 sebesar 15% .

Dari gambar 6.10 dan 6.11 terlihat bahwa nilai modulus elastisitas beton hasil penelitian lebih mendekati prediksi ACI 363R-84 dibandingkan prediksi menurut ACI 318-95. Hal tersebut menunjukkan nilai modulus elastisitas beton hasil penelitian memenuhi kriteria modulus elastisitas untuk beton kinerja tinggi karena mendekati prediksi ACI 363R-84 yang direkomendasikan untuk beton kinerja tinggi. Prediksi ACI 318-95 yang direkomendasikan untuk beton normal akan menghasilkan nilai yang lebih besar jika digunakan pada beton kinerja tinggi.

Dari analisis regresi terhadap hasil penelitian diperoleh persamaan regresi sebagai berikut $E_c = 1539.1\sqrt{f_c'} + 17232$. Persamaan regresi diatas menunjukkan ada hubungan linear antara modulus elastisitas (Y) dengan akar kuadrat kuat tekan beton (x). Koefisien arah regresi bernilai positif yaitu 1539,1 sehingga dapat dikatakan bahwa untuk setiap penambahan akar kuadrat kuat tekan (x) sebesar satu satuan maka modulus elastisitas beton (Y) rata-rata bertambah sebesar 1539,1 satuan.

Setelah persamaan regresi linear diperoleh maka dilakukan analisis korelasi, didapatkan hasil koefisien determinasi (R^2) = 0,1057 dan koefisien korelasi (R) = 0,3251. Hasil analisis korelasi menunjukkan koefisien korelasi bernilai positif dapat ditafsirkan ada hubungan antara variabel x (akar kuadrat kuat tekan beton) terhadap variabel Y (modulus elastisitas beton), tetapi nilai R yang cukup rendah terletak antara batas $0 \leq R \leq 1$ dan lebih mendekati 0 maka dapat juga ditafsirkan bahwa kuat tekan beton mempunyai pengaruh yang kurang kuat terhadap modulus elastisitas beton.

Hubungan antara akar kuadrat kuat tekan dan modulus elastisitas yang lemah dipengaruhi oleh berbagai faktor terutama untuk beton yang diproduksi di lapangan.

Modulus elastisitas dipengaruhi oleh karakteristik agregat seperti kekuatan agregat, ukuran butir dan mineralogi agregat seperti jenis batuan dan kandungan kimiawi. Penggunaan agregat batu pecah, akan meningkatkan modulus elastisitas beton. Faktor lain yang berpengaruh adalah metode pengukuran tegangan regangan yang bersifat semi otomatis masih memungkinkan terjadinya kesalahan dan juga ketepatan perhitungan modulus elastisitas yang menggunakan metode interpolasi untuk menentukan regangan pada saat tegangan $0,45 f_c'$.

6.4 Pelaksanaan Pencampuran di Lapangan

Secara umum pelaksanaan pencampuran di lapangan baik, karena dapat dihasilkan beton yang memenuhi persyaratan yang ada. Namun ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Material diusahakan berasal dari satu sumber yang sama, bertujuan untuk menjaga agar material yang digunakan di lapangan, tidak terlalu jauh menyimpang dari spesifikasi material dalam perancangan. Batu pecah yang datang dari *supplier* kurang bersih dari lumpur dan batu kapur atau batuan lain yang tidak sejenis. Untuk mengatasi pengaruh lumpur dan batu kapur pada campuran, batu pecah disiram serta dibersihkan. Pelaksanaan penyiraman dan pembersihan tersebut tidak dapat dilakukan dengan maksimal, disebabkan keterbatasan waktu, tenaga dan sarana yang ada.

Waktu pengadukan di lapangan sering lebih cepat dari waktu pengadukan yang ditetapkan. Hal tersebut karena pekerja mengejar waktu untuk mempercepat pekerjaan. Pada posisi pengecoran yang tinggi, penggunaan tenaga manusia mengakibatkan lambatnya pengangkutan campuran, sehingga dapat terjadi antrian

campuran beton yang belum terangkut. Pada kondisi posisi pengecoran yang tinggi dan cuaca panas digunakan campuran dengan slump yang tinggi (diatas 15 cm) untuk mengatasi terjadinya *slump loose* pada campuran beton yang dapat menurunkan workabilitas dan mutu beton yang dihasilkan.

Pengecoran dilakukan dengan menuangkan campuran beton ke dalam acuan, kemudian dilakukan pemadatan dengan alat pemadat getar (*vibrator*). Pengalaman pekerja dalam proses pemadatan sangat diperlukan, karena pemadatan dilakukan dengan alat pemadat yang dikendalikan secara manual. Beton dengan slump yang terlalu rendah atau terlalu tinggi, menyebabkan terjadinya proses pemadatan yang tidak sempurna. Pada slump tinggi dapat terjadi pemadatan yang berlebihan sehingga menimbulkan pemisahan antar butiran penyusun beton. Beton dengan slump rendah dapat mengakibatkan terjadi kurang pemadatan, sehingga beton menjadi keropos.

Menurut ACI 318-95 kuat tekan beton yang diproduksi di lapangan secara keseluruhan maupun individual memenuhi persyaratan yang ditunjukkan dengan kuat tekan beton lebih dari kuat tekan spesifikasi 40 MPa, kuat tekan rata-rata dua silinder lebih dari 36,5 MPa dan tidak ada kuat tekan rerata 3 pasang hasil uji yang lebih rendah dari 40 MPa. Menurut SK-SNI secara individual sebagian besar kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji lebih besar dari kuat tekan yang disyaratkan sebesar 43,782 MPa, hanya ada 3 kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji yang lebih rendah dari 43,782 MPa, dan tidak satupun kuat tekan rata-rata dua silinder yang kurang dari 0,85 fc' atau 34 MPa. Mutu beton yang diproduksi secara umum memiliki keseragaman yang baik, ditunjukkan oleh standar deviasi yang terletak antara 3,5 MPa sampai 5 MPa menurut ACI 363R-92 dan koefisien variasi yang kurang dari 20%. Nilai slump

campuran tidak terlalu bervariasi, dapat dilihat dari standar deviasi slump hanya 1,19 cm dan koefisien variasi slump sekitar 6,87 %. Dari uraian di atas dapat dianggap bahwa secara umum dihasilkan mutu beton yang baik sehingga dapat dinyatakan bahwa kinerja pelaksanaan pencampuran di lapangan adalah baik.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan selama pelaksanaan pencampuran beton kinerja tinggi pada pengecoran struktur kubah masjid kampus terpadu UII, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut ini :

1. Nilai slump campuran memiliki standar deviasi dan koefisien variasi yang kecil sehingga dapat dinyatakan secara umum nilai slump campuran tidak terlalu bervariasi. Nilai slump campuran yang tidak terlalu bervariasi mengakibatkan workabilitas pelaksanaan pengecoran baik.
2. Modulus elastisitas beton dari hasil penelitian berada dalam batas toleransi prediksi modulus elastisitas menurut ACI 318-95 dan ACI 363R-84. Namun prediksi modulus elastisitas ACI 363R-84 lebih mendekati modulus elastisitas aktual untuk beton kinerja tinggi dibandingkan prediksi ACI 318-95.
3. Mutu beton yang dihasilkan untuk struktur kubah secara umum berdasarkan evaluasi menurut ACI 318-95 dan SK-SNI telah memenuhi target kuat tekan yang disyaratkan dan memiliki tingkat keseragaman yang baik ditinjau berdasarkan ACI Committee 363R-92 maupun secara statistik.

4. Pelaksanaan produksi beton kinerja tinggi di lapangan secara umum telah dilakukan dengan baik, hal tersebut ditunjukkan oleh sifat beton yang dihasilkan memenuhi persyaratan yang ada.
5. Batching di lapangan telah dilakukan sesuai takaran yang ditetapkan dalam rancangan campuran terutama untuk bahan-tambah, mixing dilaksanakan mengikuti urutan pencampuran yang ada sehingga bahan-bahan dapat tercampur dengan baik. Beton keras yang dihasilkan setelah acuan dibuka terlihat tidak banyak yang keropos, menunjukkan pepadatan yang baik. Dari hal di atas dapat dinyatakan bahwa pelaksanaan pengecoran di lapangan cukup baik.

7.2 Saran

1. Perlu diperhatikan tentang pembuatan dan rawatan benda uji, hal tersebut disebabkan faktor benda uji berpengaruh terhadap akurasi hasil pengujian terutama pengujian kuat tekan beton.
2. Reaksi pozzolan akibat penggunaan bahan-tambah *silica fume* akan berlangsung sampai sekitar umur 90 hari. Oleh karena itu perlu mempertimbangkan pengujian pada umur beton lebih dari 28 hari.
3. Perlu diadakan penelitian terhadap sifat mekanika beton seperti regangan maksimal, rangkak, susut, kuat lentur, kuat tarik dan modulus keruntuhan.
4. Untuk pelaksanaan produksi beton kinerja tinggi dengan metode cor di tempat diperlukan pengawasan yang ketat terhadap material dan penakaran bahan.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 318, 1995, **BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR REINFORCED CONCRETE**, Am. Concrete Ins., Detroit.

Agustiany, Aji Anna dan Sri Bekti, Nanik, 1998, **PENELITIAN LABORATORIUM PEMBUATAN BETON MUTU TINGGI DENGAN VARIASI BAHAN TAMBAH FLY ASH, SILICA FUME DAN SUPERPLASTICIZER**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Aitcin, P. K. dan Mehta, P. K., 1990, **EFFECT OF COARSE-AGREGATE CHARACTERISTICS ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH CONCRETE**, ACI Material Journal, ASCE, Vol. 7, No. 2 (Maret), P.103 to 107.

Aprianto, Dwi Brhata dan Mulyadi, Yadi, 1996, **PENGARUH NILAI SLUMP TERHADAP KUAT DESAK BETON**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Cetin, Aykut dan Carrasquillo, Ramon L., 1998, **HIGH-PERFORMANCE CONCRETE : INFLUENCE OF COARSE AGREGATE ON MECHANICAL PROPERTIES**, ACI Material Journal, ASCE, Vol. 95, No. 3 (Juni), P. 252 to 261.

Chin, M.S., Mansur, M.A. dan Wee, T.H., 1997, **EFFECTS OF SHAPE, SIZE, AND CASTING DIRECTION OF SPECIMENS ON STRESS-STRAIN CURVES OF HIGH STRENGTH CONCRETE**, ACI Materials Journal, Vol. 94, No. 3 (Mei), P. 209 to 219.

Fintel, Mark, 1987, **BUKU PEGANGAN TENTANG TEKNIK BETON** (terjemahan), PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Iravani, Said, 1996, **MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE**, ACI Material Journal, ASCE, vol. 93, No. 5 (September), P. 416 to 426.

Jackson, N., 1983, **CIVIL ENGINEERING MATERIALS**, MacMillan Publisher Ltd, London.

Khedr, Safwan A. dan Idriss, Ahmed F., 1995, **RESISTANCE OF SILICA FUME TO CONCRETE RELATED DAMAGE**, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 7, No. 2 (Mei), P. 102 to 107.

Murdock, L.J. dan Brook, K.M., 1986, **BAHAN DAN PRAKTEK BETON** (terjemahan), Erlangga, Bandung.

Nawy, E. G., 1996, **REINFORCED COCRETE A FUNDAMENTAL APPROACH**, Third Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Nilson, Arthur H. dan Winter, George, 1991, **DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES**, MacGrawHill Inc. International Editon.

Parka, Nyoman, 2000, **RANCANGAN CAMPURAN BETON UNTUK KUBAH MASJID UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA**, Bandung.

Siddiq, Suwandojo, 2000, **PERENCANAAN CAMPURAN BETON MUTU TINGGI & BETON BERPENAMPILAN TINGGI UNTUK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT TINGGI**, Bandung.

Shah, S.P dan Ahmad, S.H., 1994, **HIGH PERFORMENCE CONCRETE AND APPLICATIONS**, Edward Arnold, London.

Supartono, FX, 1998, **BETON BERKINERJA TINGGI KEUNGGULAN DAN PERMASALAHANNYA**, Seminar Sehari Dunia Konstruksi Indonesia Pasca '98, HAKI, Jakarta.

Tjokrodikuljo, Kardiyono, 1995, **TEKNOLOGI BETON**, UGM, Yogyakarta.

Wang, Chu-kia dan Salmon, Charles G., 1994, **DISAIN BETON BERTULANG** (terjemahan), Erlangga, Bandung.



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Universitas Islam Indonesia

Jalan Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 Yogyakarta

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor : 5/C / LBKT-UII / II / 2000
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

Diterima tgl. : 23 Pebruari 2000
Sampel di buat tgl. : 28 Januari 2000
Sampel di uji tgl. : 25 Pebruari 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas mm ²	Berat (Kg)	Berat satuan (t / m ³)	Beban Maks (KN)	Kuat desak Mpa (N/mm ²)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	150.65	300.90	17815.907	13.220	2.466	890	49.955	I	
2	150.15	300.25	17697.843	13.045	2.455	790	44.638	II	
3	152.30	299.50	18208.303	13.140	2.410	1030	56.568	III	Belum maksimum
4	150.75	300.00	17839.567	13.013	2.431	1025	57.457	IV	Belum maksimum
5	149.85	301.75	17627.193	12.964	2.437	935	53.043	V	
6	151.50	301.80	18017.516	13.172	2.422	920	51.061	VI	
7	150.20	301.75	17709.631	13.113	2.454	1015	57.313	VII	Belum maksimum
8	149.80	299.75	17615.431	12.879	2.439	1020	57.904	VIII	Belum maksimum
9	150.00	300.80	17662.500	13.037	2.454	1025	58.033	IX	Belum maksimum
Rata - rata					2.441		53.997		

Catatan :

Standar deviasi = 4.671 Mpa

Yogyakarta, 28 Pebruari 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian

Ir. H. Ilman Noor, MSCE



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

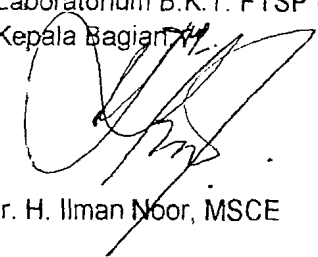
Sampel dibuat tgl. : 6 Maret 2000
Sampel di uji tgl. : 3-Apr-00
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	149.73	300.20	17607.899	12.437	2.353	835	47.422	IA	
2	150.40	301.00	17765.832	12.397	2.318	845	47.563	IB	
3	149.55	300.10	17565.589	12.527	2.376	675	38.427	IIA	
4	149.93	300.90	17654.969	12.642	2.380	660	37.383	IIB	
5	149.23	300.25	17490.497	12.4	2.361	825	47.168	IIIA	
6	149.60	299.65	17577.337	12.433	2.361	755	42.953	IIIB	
rata-rata					2.358		43.486		

Catatan :

Standart deviasi = 4.665 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

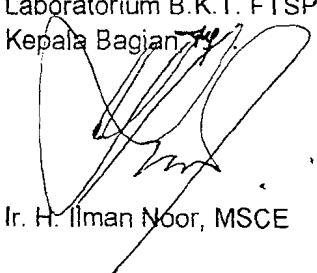
Sampel dibuat tgl. : 3 Maret 2000
Sampel diuji tgl. : 31 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	150.13	300.90	17702.102	12.58	2.362	860	48.582	IA	
2	149.13	300.90	17467.064	12.562	2.390	855	48.949	IB	
3	152.30	299.85	18217.538	12.614	2.309	875	48.031	IIA	
4	149.85	302.00	17636.133	12.603	2.366	915	51.882	IIB	
5	149.43	298.60	17537.411	12.438	2.375	875	49.893	IIIA	
6	149.45	299.00	17542.106	12.333	2.351	795	45.320	IIIB	
rata-rata					2.359		48.776		

Catatan :

Standart deviasi = 2.166 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

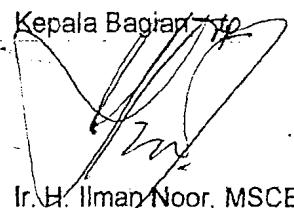
Sampel dibuat tgl. : 4 Maret 2000
Sampel diuji tgl. : 1-Apr-00
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	149.35	299.75	17518.638	12.247	2.332	715	40.814	IA	
2	149.68	300.00	17596.141	12.44	2.357	795	45.180	IB	
3	148.70	302.70	17366.481	12.481	2.374	730	42.035	IIA	
4	149.68	301.30	17596.141	12.576	2.372	800	45.465	IIB	
rata-rata					2.359		43.373		

Catatan :

Standart deviasi = 2.308 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

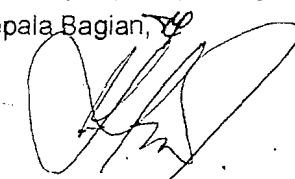
Sampel dibuat tgl. : 29 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 28 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	150.15	297.30	17706.819	12.428	2.361	835	47.157	IIIA	
2	149.65	298.30	17589.088	12.374	2.358	845	48.041	IIIB	
rata-rata					2.360		47.599		

Catatan :

Standart deviasi = 0.625 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian,


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

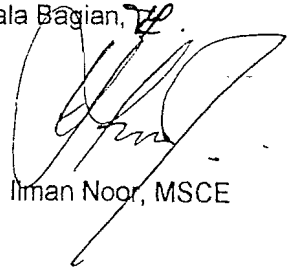
Sampel dibuat tgl. : 27 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 25 Maret 2000
Umur sampel : 27 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	148.68	300.00	17361.809	12.561	2.412	825	47.518	IIIA	
2	149.65	299.70	17589.088	12.737	2.416	830	47.188	IIIB	
rata-rata					2.414		47.353		

Catatan :

Standart deviasi = 0.233 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian,


Ir. H. Iman Noor, MSCE



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

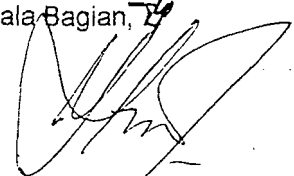
Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

Sampel dibuat tgl. : 28 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 27 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	149.60	297.30	17577.337	12.421	2.377	830	47.220	IIIA	
2	149.28	297.65	17502.220	12.377	2.376	835	47.708	IIIB	
rata-rata					2.376		47.464		

Catatan :

Standart deviasi = 0.345 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian, 

Ir. H. Ilman Noor, MSCE



HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

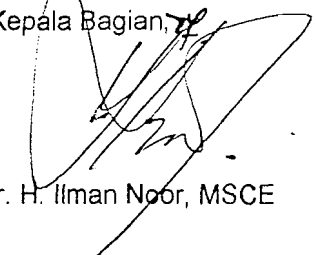
Sampel dibuat tgl. : 19 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 18 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	150.25	301.35	17730.413	12.817	2.399	665	37.506	IA	
2	149.47	300.65	17546.801	12.689	2.405	760	43.313	IB	
3	149.68	300.00	17596.141	12.659	2.398	840	47.738	IIA	
4	149.33	299.85	17513.946	12.6	2.399	845	48.247	IIB	
5	149.20	300.25	17483.466	12.612	2.403	855	48.903	IIIA	
6	149.90	300.65	17647.905	12.696	2.393	870	49.298	IIIB	
rata-rata					2.399		45.834		

Catatan :

Standart deviasi = 4.617 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian,


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

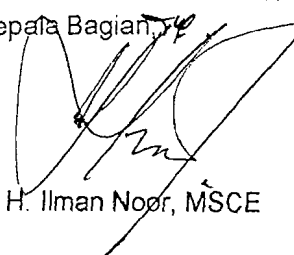
Sampel dibuat tgl. : 21 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 20 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	149.60	300.00	17577.337	12.627	2.395	795	45.229	IA	
2	150.25	299.85	17730.413	12.605	2.371	790	44.556	IB	
3	150.53	299.60	17796.558	12.728	2.387	945	53.100	IIA	
4	149.33	300.10	17513.946	12.599	2.397	780	44.536	IIB	
5	149.53	299.10	17560.891	12.437	2.368	745	42.424	IIIA	
6	149.60	300.50	17577.337	12.482	2.363	845	48.073	IIIB	
rata-rata					2.380		46.320		

Catatan :

Standart deviasi = 3.787 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

Sampel dibuat tgl. : 22 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 21 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	150.25	299.60	17730.413	12.352	2.325	660	37.224	IA	
2	149.40	300.20	17530.370	12.312	2.340	695	39.645	IB	
3	149.80	300.35	17624.366	12.514	2.364	795	45.108	IIA	
4	150.40	299.80	17765.832	12.61	2.368	755	42.497	IIB	
5	149.35	300.00	17518.638	12.447	2.368	890	50.803	IIIA	
6	150.75	299.00	17848.615	12.549	2.351	910	50.984	IIIB	
rata-rata					2.353		44.377		

Catatan :

Standart deviasi = 5.702 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian

Ir. H. Ilman Noor, MSCE



HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

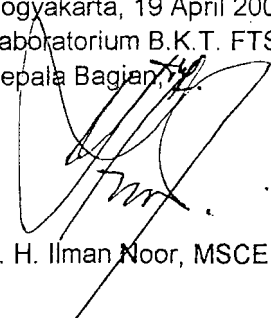
Sampel dibuat tgl. : 24 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 23 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	150.28	299.45	17737.494	12.775	2.405	855	48.203	IA	
2	149.38	301.30	17525.677	12.808	2.426	800	45.647	IB	
3	150.18	299.60	17713.896	12.638	2.381	940	53.066	IIA	
4	149.25	299.45	17495.186	12.561	2.398	930	53.157	IIB	
5	149.90	298.20	17647.905	12.63	2.400	1010	57.231	IIIA	
6	149.23	299.85	17490.497	12.633	2.409	1060	60.604	IIIB	
rata-rata					2.403		52.985		

Catatan :

Standart deviasi = 5.529 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

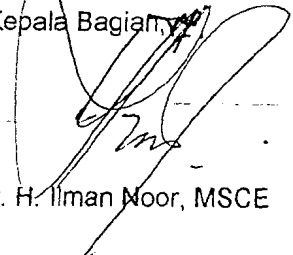
Sampel dibuat tgl. : 25 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 24 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	150.50	300.00	17789.465	12.581	2.357	860	48.343	IIIA	
2	149.28	299.90	17502.220	12.528	2.387	920	52.565	IIIB	
rata-rata					2.372		50.454		

Catatan :

Standart deviasi = 2.985 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian,


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

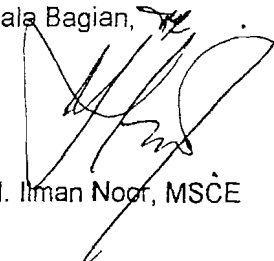
Sampel dibuat tgl. : 12 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 17 Maret 2000
Umur sampel : 34 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	149.28	301.60	17502.220	12.684	2.403	805	45.994	IA	
2	150.13	303.10	17702.102	12.7	2.367	845	47.734	IB	
3	152.27	304.90	18210.362	12.944	2.331	865	47.500	IIA	
4	151.20	303.70	17955.333	12.776	2.343	835	46.504	IIB	
5	148.83	301.40	17396.859	12.647	2.412	815	46.848	IIIA	
6	150.20	302.45	17718.614	12.769	2.383	810	45.715	IIIB	
rata-rata					2.373		46.716		

Catatan :

Standart deviasi = 0.805 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian,


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

Sampel dibuat tgl. : 1 Maret 2000
Sampel diuji tgl. : 29 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	149.25	300.00	17495.186	12.362	2.355	690	39.439	IIIA	
2	149.68	300.70	17596.141	12.421	2.348	710	40.350	IIIB	
rata-rata					2.351		39.895 ✓		

Catatan :

Standart deviasi = 0.644 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

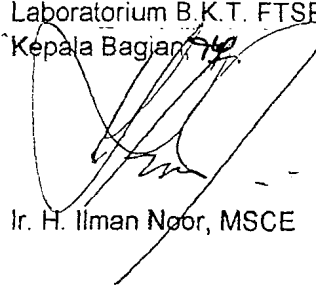
Sampel dibuat tgl. : 2 Maret 2000
Sampel diuji tgl. : 30 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	149.50	300.35	17553.845	12.527	2.376	840	47.853	IA	
2	150.23	299.70	17725.693	12.552	2.363	860	48.517	IB	
3	149.58	300.90	17572.637	12.562	2.376	760	43.249	IIA	
4	149.35	300.25	17518.638	12.517	2.380	750	42.812	IIB	
5	150.10	300.00	17695.028	12.768	2.405	950	53.687	IIIA	
rata-rata					2.380		47.224		

Catatan :

Standart deviasi = 4.447 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

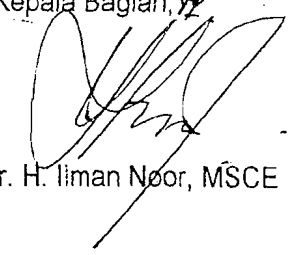
Sampel dibuat tgl. : 14 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 17 Maret 2000
Umur sampel : 32 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	150.90	300.60	17884.152	12.747	2.371	920	51.442	IA	
2	150.60	302.90	17813.113	12.831	2.378	845	47.437	IB	
3	150.55	298.70	17801.287	12.315	2.316	780	43.817	IIIA	
4	150.75	295.90	17848.615	12.263	2.322	1010	56.587	IIIB	
rata-rata					2.347		49.821		

Catatan :

Standart deviasi = 5.481 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian,


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

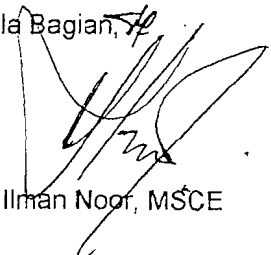
Sampel dibuat tgl. : 15 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 17 Maret 2000
Umur sampel : 31 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	149.83	303.40	17631.426	12.639	2.363	795	45.090	IA	
2	150.78	305.25	17855.720	12.858	2.359	760	42.563	IB	
3	150.55	305.40	17801.287	12.746	2.345	865	48.592	IIA	
4	150.53	305.45	17796.558	12.699	2.336	890	50.010	IIB	
5	150.35	300.95	17754.022	12.797	2.395	890	50.129	IIIA	
6	150.50	301.40	17789.465	12.817	2.390	870	48.905	IIIB	
rata-rata					2.365		47.548		

Catatan :

Standart deviasi = 3.051 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian,


Ir. H. Ilman Noor, MSCE



FACULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax. (0274) 895330, Yogyakarta 55584

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

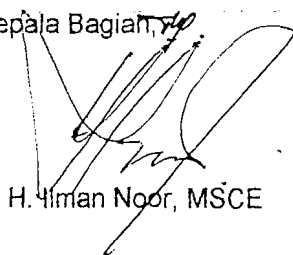
Sampel dibuat tgl. : 17 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 17 Maret 2000
Umur sampel : 29 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	149.88	299.55	17643.196	12.638	2.391	880	49.878	IA	
2	149.43	300.35	17537.411	12.699	2.411	835	47.613	IB	
3	149.63	300.70	17584.387	12.746	2.411	700	39.808	IIA	
4	149.90	302.50	17647.905	12.578	2.356	825	46.748	IIB	
rata-rata					2.392		46.011		

Catatan :

Standart deviasi = 4.341 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian,


Ir. H. Firman Noor, MSCE



HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Nomor :
Pengirim : Ir. H. M. Teguh, MSCE
Keperluan : Proyek Masjid Terpadu UII / TGA

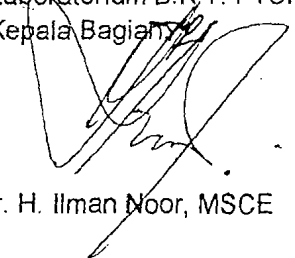
Sampel dibuat tgl. : 18 Februari 2000
Sampel diuji tgl. : 17 Maret 2000
Umur sampel : 28 Hari

No	Ukuran (mm)		Luas (mm ²)	Berat (kg)	Berat satuan (t/m ³)	Beban Maks (kn)	Kuat desak (Mpa)	No. kode benda uji	Keterangan Beban uji
	Diameter	Tinggi							
1	150.30	299.90	17742.215	12.796	2.405	975	54.954	IA	
2	149.68	300.30	17596.141	12.739	2.411	955	54.273	IB	
3	150.25	300.55	17730.413	12.653	2.374	860	48.504	IIA	
4	149.25	300.50	17495.186	12.563	2.390	835	47.727	IIB	
5	149.93	301.01	17654.969	12.678	2.386	940	53.243	IIIA	
6	150.00	299.95	17671.459	12.686	2.393	915	51.778	IIIB	
rata-rata					2.393		51.747		

Catatan :

Standart deviasi = 3.019 Mpa

Yogyakarta, 19 April 2000
Laboratorium B.K.T. FTSP UII
Kepala Bagian


Ir. H. Ilman Noor, MSCE

(ton)

C15-31/1

'00.03.27.10:35:06

0 [M] 000 + 0.000 mm
[M] 001 - 0.000 mm

0,0000

EA-25-02

'00.03.27.10:36:21

5 [M] 000 - 0.017 mm
[M] 001 - 0.006 mm

0,0115

'00.03.27.10:36:37

10 [M] 000 - 0.036 mm
[M] 001 - 0.015 mm

0,0255

'00.03.27.10:36:51

15 [M] 000 - 0.053 mm
[M] 001 - 0.027 mm

0,0400

'00.03.27.10:37:08

20 [M] 000 - 0.068 mm
[M] 001 - 0.041 mm

0,0545

'00.03.27.10:37:28

25 [M] 000 - 0.084 mm
[M] 001 - 0.055 mm

0,0695

'00.03.27.10:37:48

30 [M] 000 - 0.101 mm
[M] 001 - 0.071 mm

0,0860

'00.03.27.10:38:10

35 [M] 000 - 0.121 mm
[M] 001 - 0.088 mm

0,1045

'00.03.27.10:38:25

40 [M] 000 - 0.134 mm
[M] 001 - 0.102 mm

0,1180

'00.03.27.10:38:45

45 [M] 000 - 0.153 mm
[M] 001 - 0.119 mm

0,1360

'00.03.27.10:39:05

50 [M] 000 - 0.172 mm
[M] 001 - 0.139 mm

0,1555

'00.03.27.10:39:26

55 [M] 000 - 0.193 mm
[M] 001 - 0.159 mm

0,1760

'00.03.27.10:39:45

60 [M] 000 - 0.213 mm
[M] 001 - 0.178 mm

0,1955

'00.03.27.10:40:06

65 [M] 000 - 0.237 mm
[M] 001 - 0.201 mm

0,2190

'00.03.27.10:40:14

67,5 [M] 000 - 0.246 mm
[M] 001 - 0.210 mm

0,228

'00.03.27.10:40:24

70 [M] 000 - 0.258 mm
[M] 001 - 0.228 mm

0,239

'00.03.27.10:40:35

72,5 [M] 000 - 0.273 mm
[M] 001 - 0.234 mm

0,25

'00.03.27.10:40:45

75 [M] 000 - 0.286 mm
[M] 001 - 0.244 mm

0,26

'00.03.27.10:40:56

77,5 [M] 000 - 0.303 mm
[M] 001 - 0.258 mm 0,2805

'00.03.27.10:41:28

80 [M] 000 - 0.335 mm
[M] 001 - 0.282 mm 0,3085

'00.03.27.10:42:12

82,5 [M] 000 - 0.365 mm
[M] 001 - 0.303 mm 0,3340

'00.03.27.10:42:43

85 [M] 000 - 0.437 mm
[M] 001 - 0.323 mm 0,3800

'00.03.27.10:42:50

85,2 [M] 000 - 2.544 mm
[M] 001 - 3.695 mm 3,1195

P_{max} 85200 kg

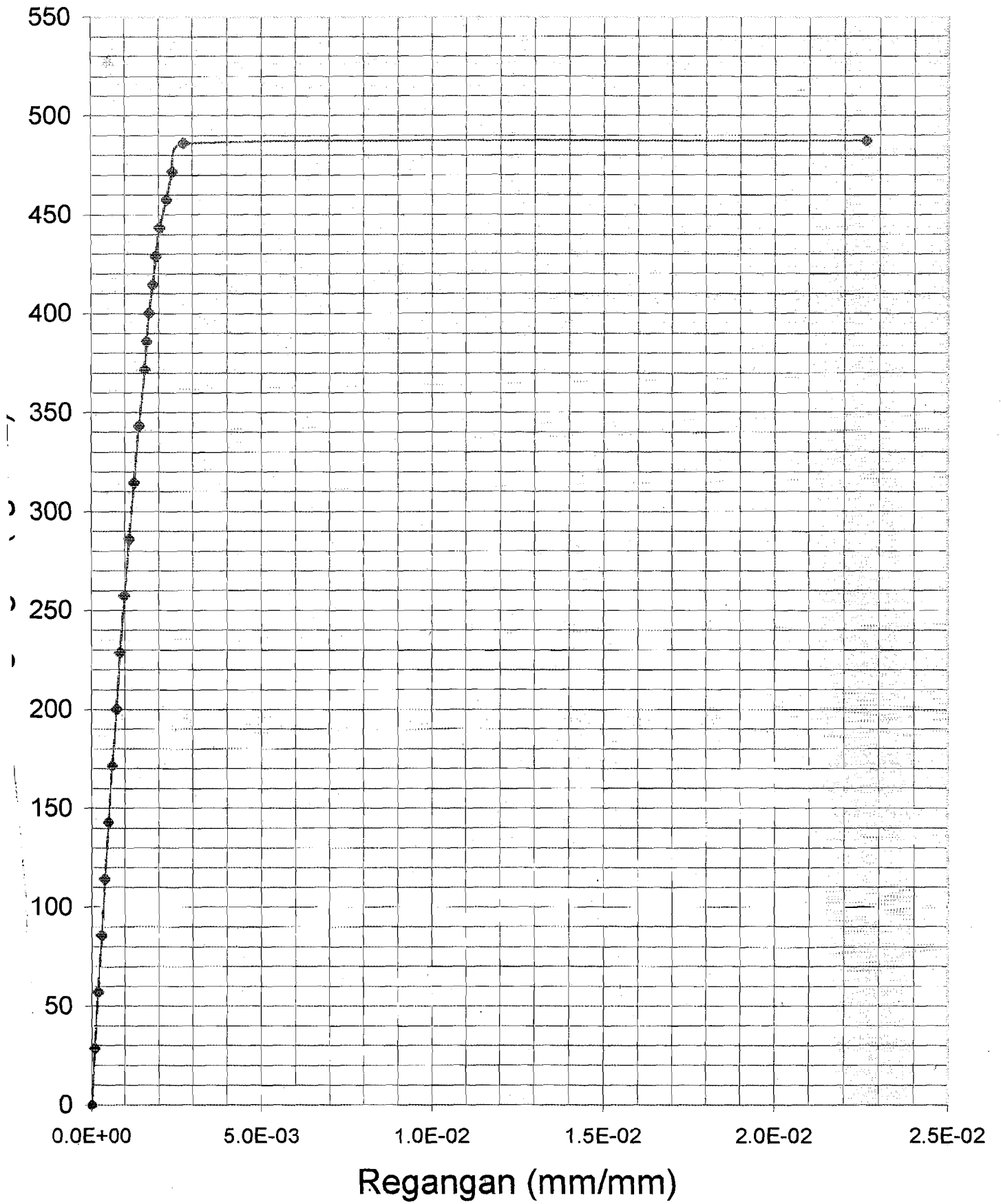
IA-25-02

Specimen no. : C15-31/1
Dibuat tanggal : 25 Februari 2000
Diuji tanggal : 27 Maret 2000
Umur : 31 hari
Lo : 138 mm

Diameter : 14.920 cm
Tinggi : 30.000 cm
Berat : 12.583 kg
Luas alas : 174.835 cm²

No. urut	P (Kg)	fc'i (kg/cm ²)	ΔLi (mm)	εi (mm/mm)	Ei (MPa)
0	0	0.000	0	0.000E+00	0.000
1	5000	28.598	0.0115	8.333E-05	34318.139
2	10000	57.197	0.0255	1.848E-04	30953.615
3	15000	85.795	0.04	2.899E-04	29599.394
4	20000	114.394	0.0545	3.949E-04	28965.768
5	25000	142.992	0.0695	5.036E-04	28392.705
6	30000	171.591	0.086	6.232E-04	27534.320
7	35000	200.189	0.1045	7.572E-04	26436.461
8	40000	228.788	0.118	8.551E-04	26756.515
9	45000	257.386	0.136	9.855E-04	26117.113
10	50000	285.984	0.1555	1.127E-03	25379.974
11	55000	314.583	0.176	1.275E-03	24666.162
12	60000	343.181	0.1955	1.417E-03	24224.568
13	65000	371.780	0.219	1.587E-03	23427.222
14	67500	386.079	0.228	1.652E-03	23367.943
15	70000	400.378	0.239	1.732E-03	23118.077
16	72500	414.678	0.2535	1.837E-03	22574.160
17	75000	428.977	0.265	1.920E-03	22339.166
18	77500	443.276	0.2805	2.033E-03	21808.229
19	80000	457.575	0.3085	2.236E-03	20468.517
20	82500	471.874	0.334	2.420E-03	19496.607
21	85000	486.174	0.38	2.754E-03	17655.779
22	85200	487.318	3.1195	2.261E-02	2155.789

Grafik Tegangan Regangan C15-31/1



P
(ton)

C 15-31/2

①

'00.03.27.10:50:59

0 [M] 000 + 0.000 mm
[M] 001 - 0.000 mm 0,000

IB-25-02

'00.03.27.10:51:56

5 [M] 000 - 0.013 mm
[M] 001 - 0.006 mm 0,0095

'00.03.27.10:52:11

10 [M] 000 - 0.028 mm
[M] 001 - 0.019 mm 0,0235

'00.03.27.10:52:25

15 [M] 000 - 0.042 mm
[M] 001 - 0.032 mm 0,0370

'00.03.27.10:52:38

20 [M] 000 - 0.057 mm
[M] 001 - 0.047 mm 0,0520

'00.03.27.10:52:50

25 [M] 000 - 0.072 mm
[M] 001 - 0.061 mm 0,0665

'00.03.27.10:53:03

30 [M] 000 - 0.088 mm
[M] 001 - 0.075 mm 0,0815

'00.03.27.10:53:15

35 [M] 000 - 0.104 mm
[M] 001 - 0.090 mm 0,0970

'00.03.27.10:53:27

40 [M] 000 - 0.120 mm
[M] 001 - 0.105 mm 0,1125

'00.03.27.10:53:40

45 [M] 000 - 0.137 mm
[M] 001 - 0.120 mm 0,1285

'00.03.27.10:53:53

50 [M] 000 - 0.156 mm
[M] 001 - 0.137 mm 0,1465

'00.03.27.10:54:07

55 [M] 000 - 0.177 mm
[M] 001 - 0.155 mm 0,1660

'00.03.27.10:54:20

60 [M] 000 - 0.197 mm
[M] 001 - 0.173 mm 0,1850

'00.03.27.10:54:34

65 [M] 000 - 0.217 mm
[M] 001 - 0.194 mm 0,2055

'00.03.27.10:54:40

67,5 [M] 000 - 0.226 mm
[M] 001 - 0.203 mm 0,2145

'00.03.27.10:54:48

70 [M] 000 - 0.240 mm
[M] 001 - 0.215 mm 0,2275

'00.03.27.10:54:55

72,5 [M] 000 - 0.253 mm
[M] 001 - 0.227 mm 0,2400

'00.03.27.10:55:02

75 [M] 000 - 0.265 mm
[M] 001 - 0.239 mm 0,2520

'00.03.27.10:55:10

77,5 [M] 000 - 0.280 mm
[M] 001 - 0.252 mm 0,2660

'00.03.27.10:55:18

80 [M] 000 - 0.296 mm
[M] 001 - 0.266 mm 0,2810

IB-25-02
Max = 85100 kg

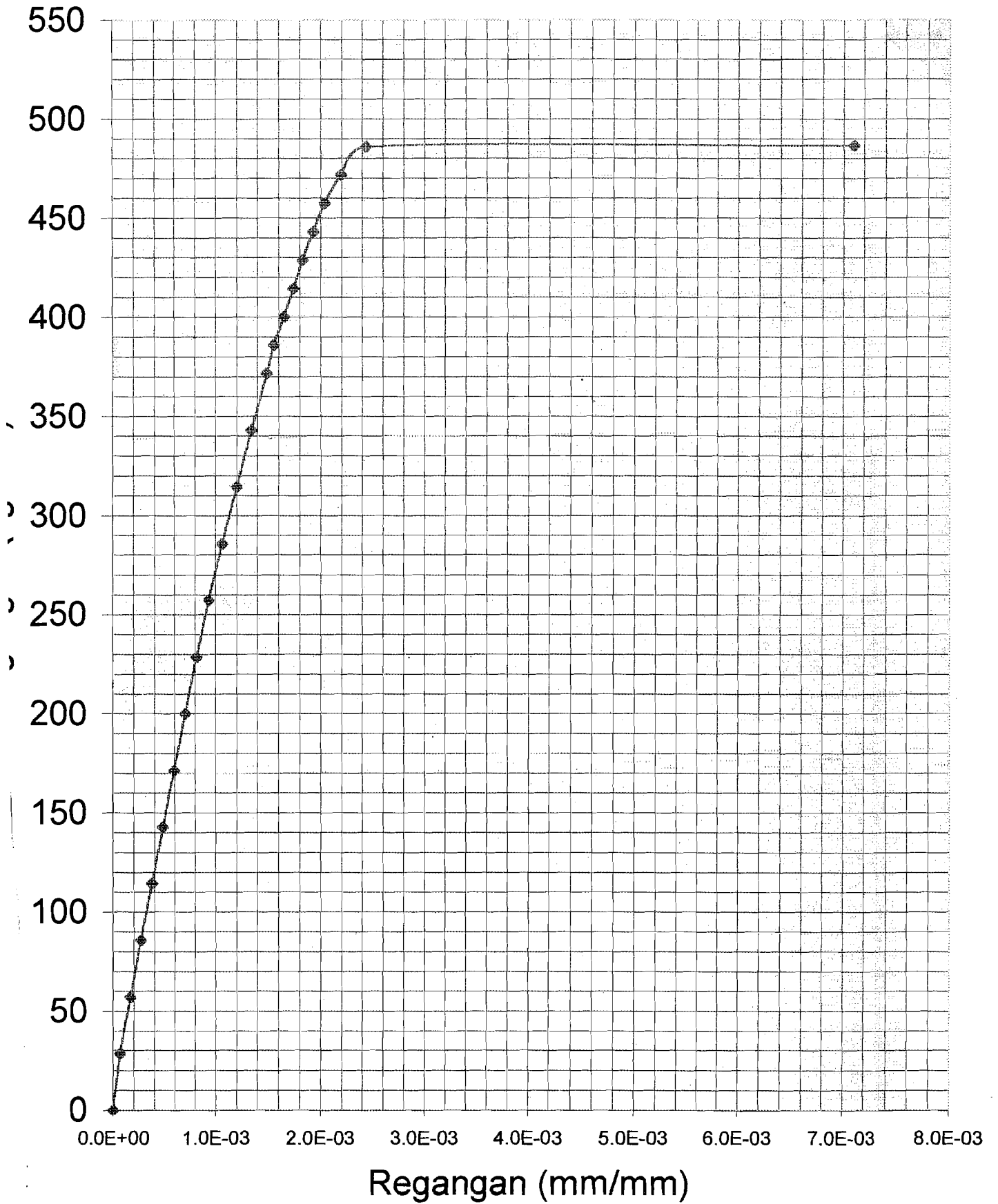
85.1	[M] 000 + 0.396 mm	[M] 001 - 1.564 mm	0,9800
	00.03.27.10:55:50		
85	[M] 000 - 0.339 mm	[M] 001 - 0.333 mm	0,3960
	00.03.27.10:55:43		
82.5	[M] 000 - 0.319 mm	[M] 001 - 0.287 mm	0,3030
	00.03.27.10:55:28		

Specimen no. : C15-31/2
Dibuat tanggal : 25 Februari 2000
Diuji tanggal : 27 Maret 2000
Umur : 31 hari
Lo : 138 mm

Diameter : 14.923 cm
Tinggi : 30.060 cm
Berat : 12.588 kg
Luas alas : 174.905 cm²

No. urut	P (Kg)	fc'i (kg/cm ²)	ΔLi (mm)	εi (mm/mm)	Ei (MPa)
0	0	0.000	0	0.000E+00	0.000
1	5000	28.587	0.0095	6.884E-05	41526.309
2	10000	57.174	0.0235	1.703E-04	33574.462
3	15000	85.761	0.037	2.681E-04	31986.481
4	20000	114.348	0.052	3.768E-04	30346.149
5	25000	142.935	0.0665	4.819E-04	29661.649
6	30000	171.522	0.0815	5.906E-04	29042.940
7	35000	200.109	0.097	7.029E-04	28469.067
8	40000	228.696	0.1125	8.152E-04	28053.328
9	45000	257.283	0.1285	9.312E-04	27630.345
10	50000	285.870	0.1465	1.062E-03	26928.323
11	55000	314.456	0.166	1.203E-03	26141.562
12	60000	343.043	0.185	1.341E-03	25589.185
13	65000	371.630	0.2055	1.489E-03	24956.200
14	67500	385.924	0.2145	1.554E-03	24828.667
15	70000	400.217	0.2275	1.649E-03	24276.919
16	72500	414.511	0.24	1.739E-03	23834.371
17	75000	428.804	0.252	1.826E-03	23482.139
18	77500	443.098	0.266	1.928E-03	22987.778
19	80000	457.391	0.281	2.036E-03	22462.630
20	82500	471.685	0.303	2.196E-03	21482.669
21	85000	485.978	0.336	2.435E-03	19959.818
22	85100	486.550	0.98	7.101E-03	6851.417

Grafik Tegangan Regangan C15-31/2



P
(ton)

C15-31/3

①

'00.03.27.11:01:49

0 [M] 000 + 0.000 mm 0,0000
[M] 001 + 0.000 mm

IIA-25-02

'00.03.27.11:02:13

5 [M] 000 - 0.010 mm 0,0095
[M] 001 - 0.009 mm

'00.03.27.11:02:31

10 [M] 000 - 0.025 mm 0,0235
[M] 001 - 0.022 mm

'00.03.27.11:02:46

15 [M] 000 - 0.041 mm 0,0375
[M] 001 - 0.034 mm

'00.03.27.11:03:01

20 [M] 000 - 0.056 mm 0,0515
[M] 001 - 0.047 mm

'00.03.27.11:03:15

25 [M] 000 - 0.072 mm 0,0655
[M] 001 - 0.059 mm

'00.03.27.11:03:29

30 [M] 000 - 0.087 mm 0,0805
[M] 001 - 0.074 mm

'00.03.27.11:03:42

35 [M] 000 - 0.103 mm 0,0955
[M] 001 - 0.088 mm

'00.03.27.11:03:57

40 [M] 000 - 0.120 mm 0,1105
[M] 001 - 0.101 mm

'00.03.27.11:04:11

45 [M] 000 - 0.137 mm 0,1265
[M] 001 - 0.116 mm

'00.03.27.11:04:25

50 [M] 000 - 0.155 mm 0,1430
[M] 001 - 0.131 mm

'00.03.27.11:04:41

55 [M] 000 - 0.176 mm 0,1615
[M] 001 - 0.147 mm

'00.03.27.11:04:56

60 [M] 000 - 0.195 mm 0,1795
[M] 001 - 0.164 mm

'00.03.27.11:05:11

65 [M] 000 - 0.217 mm 0,2000
[M] 001 - 0.183 mm

'00.03.27.11:05:18

67,5 [M] 000 - 0.226 mm 0,2085
[M] 001 - 0.191 mm

'00.03.27.11:05:26

70 [M] 000 - 0.238 mm 0,2200
[M] 001 - 0.202 mm

'00.03.27.11:05:35

72,5 [M] 000 - 0.252 mm 0,2325
[M] 001 - 0.213 mm

'00.03.27.11:05:43

75 [M] 000 - 0.265 mm 0,2445
[M] 001 - 0.224 mm

'00.03.27.11:05:52

77,5 [M] 000 - 0.282 mm 0,2590
[M] 001 - 0.236 mm

'00.03.27.11:06:00

80 [M] 000 - 0.296 mm 0,2715
[M] 001 - 0.247 mm

Part = 88000 kg
IIA-25-02

88	[M] 000 - 0.596 mm	0.3900
	[M] 001 - 0.184 mm	
	00.03.27.11:06:43	
87.5	[M] 000 - 0.397 mm	0.3525
	[M] 001 - 0.308 mm	
	00.03.27.11:06:37	
85	[M] 000 - 0.347 mm	0.3135
	[M] 001 - 0.280 mm	
	00.03.27.11:06:22	
82.5	[M] 000 - 0.319 mm	0.2905
	[M] 001 - 0.262 mm	
	00.03.27.11:06:11	

Specimen no. : C15-31/3
Dibuat tanggal : 25 Februari 2000
Diuji tanggal : 27 Maret 2000
Umur : 31 hari
Lo : 138 mm

Diameter : 15.050 cm
Tinggi : 30.100 cm
Berat : 12.638 kg
Luas alas : 177.895 cm²

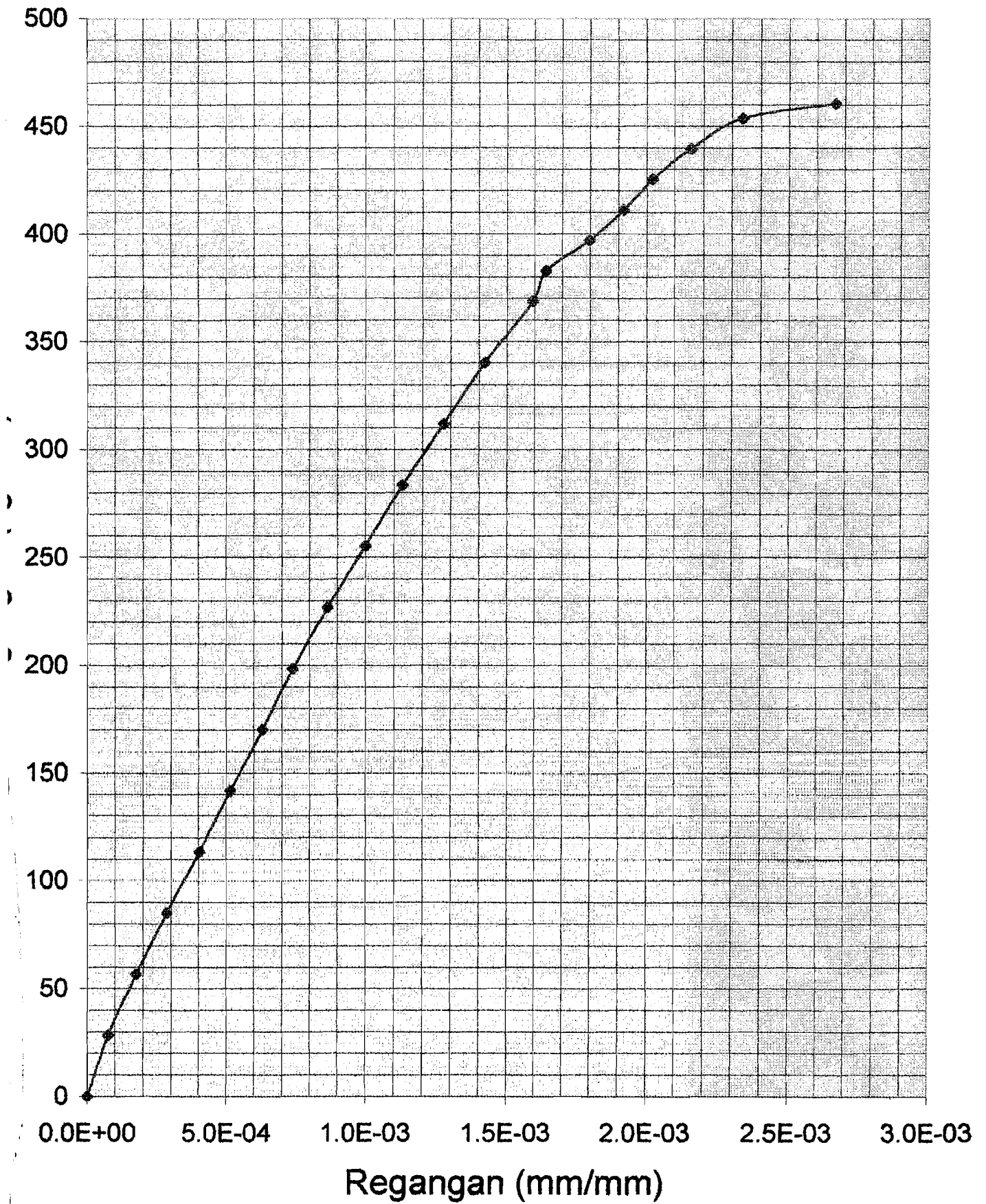
No. urut	P (Kg)	fc'i (kg/cm ²)	ΔLi (mm)	εi (mm/mm)	Ei (MPa)
0	0	0.000	0	0.000E+00	0.000
1	5000	28.107	0.0095	6.884E-05	40828.423
2	10000	56.213	0.0235	1.703E-04	33010.214
3	15000	84.320	0.0375	2.717E-04	31029.601
4	20000	112.426	0.0515	3.732E-04	30125.827
5	25000	140.533	0.0655	4.746E-04	29608.398
6	30000	168.639	0.0805	5.833E-04	28909.567
7	35000	196.746	0.0955	6.920E-04	28430.263
8	40000	224.852	0.1105	8.007E-04	28081.087
9	45000	252.959	0.1265	9.167E-04	27595.495
10	50000	281.065	0.143	1.036E-03	27123.777
11	55000	309.172	0.1615	1.170E-03	26418.391
12	60000	337.278	0.1795	1.301E-03	25930.029
13	65000	365.385	0.2	1.449E-03	25211.551
14	67500	379.438	0.2085	1.511E-03	25113.886
15	70000	393.491	0.22	1.594E-03	24682.637
16	72500	407.545	0.2325	1.685E-03	24189.743
17	75000	421.598	0.2445	1.772E-03	23795.707
18	77500	435.651	0.259	1.877E-03	23212.298
19	80000	449.704	0.2715	1.967E-03	22857.902
20	82500	463.758	0.2905	2.105E-03	22030.483
21	85000	477.811	0.3135	2.272E-03	21032.824
22	87500	491.864	0.3525	2.554E-03	19255.958
23	88000	494.875	0.39	2.826E-03	17503.878

Specimen no. : C15-27/2
 Dibuat tanggal : 29 Februari 2000
 Diuji tanggal : 27 Maret 2000
 Umur : 27 hari
 Lo : 138 mm

Diameter : 14.983 cm
 Tinggi : 29.965 cm
 Berat : 12.500 kg
 Luas alas : 176.314 cm²

No. urut	P (Kg)	fc'i (kg/cm ²)	ΔLi (mm)	εi (mm/mm)	Ei (MPa)
0	0	0.000	0	0.000E+00	0.000
1	5000	28.358	0.0105	7.609E-05	37271.112
2	10000	56.717	0.024	1.739E-04	32612.223
3	15000	85.075	0.039	2.826E-04	30103.591
4	20000	113.434	0.0555	4.022E-04	28205.166
5	25000	141.792	0.071	5.145E-04	27559.625
6	30000	170.151	0.087	6.304E-04	26989.426
7	35000	198.509	0.102	7.391E-04	26857.125
8	40000	226.868	0.1195	8.659E-04	26198.941
9	45000	255.226	0.138	1.000E-03	25522.609
10	50000	283.585	0.156	1.130E-03	25086.325
11	55000	311.943	0.176	1.275E-03	24459.167
12	60000	340.301	0.196	1.420E-03	23960.001
13	65000	368.660	0.22	1.594E-03	23125.031
14	67500	382.839	0.2265	1.641E-03	23325.299
15	70000	397.018	0.248	1.797E-03	22092.151
16	72500	411.198	0.2645	1.917E-03	21453.788
17	75000	425.377	0.279	2.022E-03	21040.144
18	77500	439.556	0.2975	2.156E-03	20389.491
19	80000	453.735	0.3225	2.337E-03	19415.649
20	81200	460.541	0.368	2.667E-03	17270.299

Grafik Tegangan Regangan C15-27/2



C15-27/3

n)

Time	Measurement	Value	Time	Measurement	Value
'00.03.27.14:04:12	[M] 000 + 0.000 mm [M] 001 - 0.000 mm	0,0000	'00.03.27.14:04:59	[M] 000 - 0.170 mm [M] 001 - 0.155 mm	0,1625
	IIA-29-02				
'00.03.27.14:04:28	[M] 000 - 0.012 mm [M] 001 - 0.002 mm	0,0070	'00.03.27.14:05:02	[M] 000 - 0.192 mm [M] 001 - 0.175 mm	0,1835
'00.03.27.14:04:32	[M] 000 - 0.028 mm [M] 001 - 0.017 mm	0,0225	'00.03.27.14:05:06	[M] 000 - 0.217 mm [M] 001 - 0.197 mm	0,2070
'00.03.27.14:04:35	[M] 000 - 0.044 mm [M] 001 - 0.032 mm	0,0380	'00.03.27.14:05:11	[M] 000 - 0.250 mm [M] 001 - 0.224 mm	0,2370
'00.03.27.14:04:38	[M] 000 - 0.060 mm [M] 001 - 0.048 mm	0,0540	'00.03.27.14:05:15	[M] 000 - 0.267 mm [M] 001 - 0.237 mm	0,2520
'00.03.27.14:04:41	[M] 000 - 0.077 mm [M] 001 - 0.064 mm	0,0705	'00.03.27.14:05:20	[M] 000 - 0.287 mm [M] 001 - 0.251 mm	0,2690
'00.03.27.14:04:44	[M] 000 - 0.093 mm [M] 001 - 0.081 mm	0,0870	'00.03.27.14:05:25	[M] 000 - 0.314 mm [M] 001 - 0.268 mm	0,2910
'00.03.27.14:04:48	[M] 000 - 0.111 mm [M] 001 - 0.098 mm	0,1045	'00.03.27.14:05:32	[M] 000 - 0.350 mm [M] 001 - 0.287 mm	0,3185
'00.03.27.14:04:51	[M] 000 - 0.129 mm [M] 001 - 0.115 mm	0,1220	'00.03.27.14:05:38	[M] 000 - 0.411 mm [M] 001 - 0.306 mm	0,3585
'00.03.27.14:04:55	[M] 000 - 0.148 mm [M] 001 - 0.135 mm	0,1415			

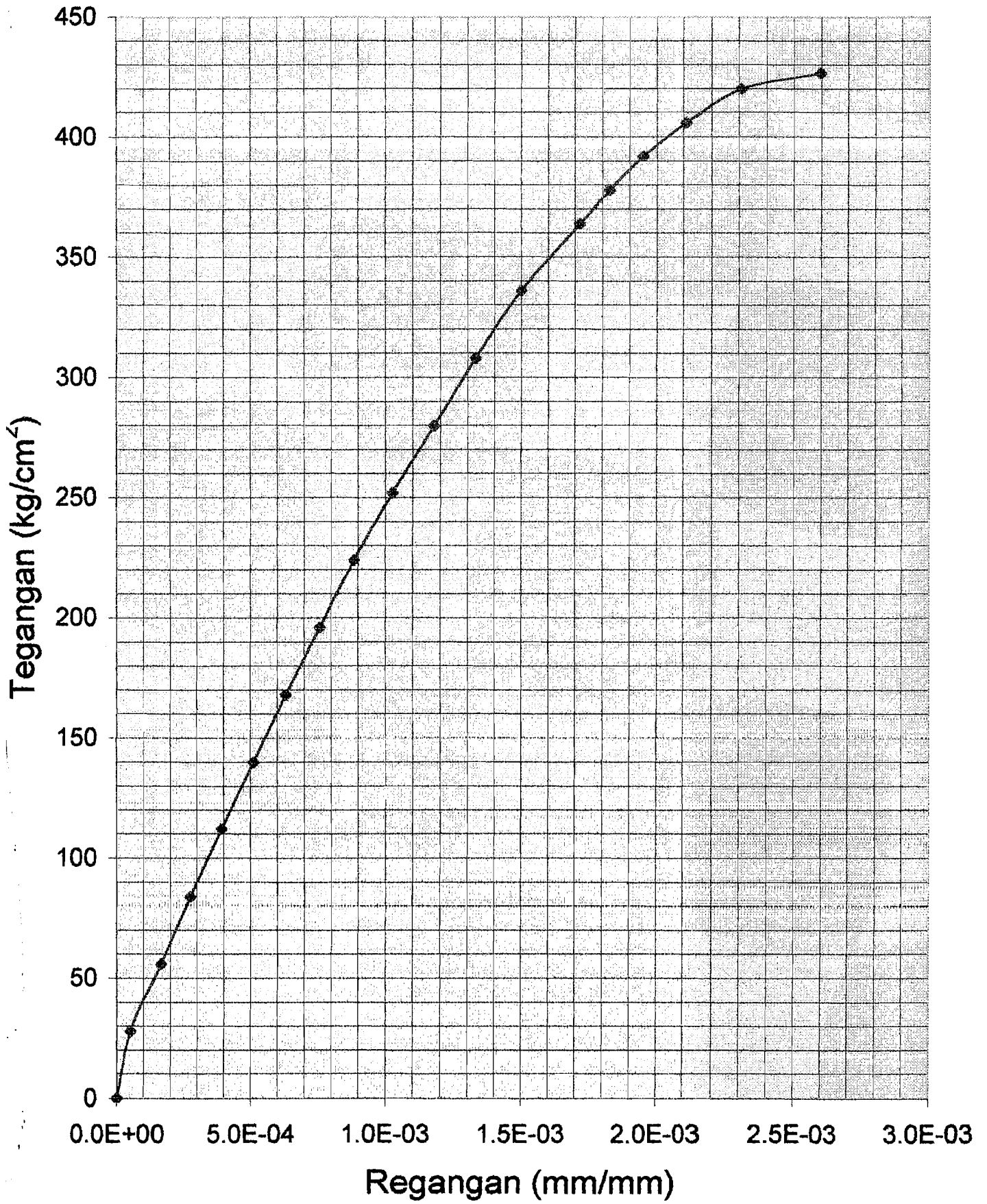
Pmax = 76200 kg

Specimen no. : C15-27/3
Dibuat tanggal : 29 Februari 2000
Diuji tanggal : 27 Maret 2000
Umur : 26 hari
Lo : 138 mm

Diameter : 15.080 cm
Tinggi : 29.945 cm
Berat : 12.382 kg
Luas alas : 178.605 cm²

No. urut	P (Kg)	$f_c'i$ (kg/cm ²)	ΔL_i (mm)	ϵ_i (mm/mm)	E_i (MPa)
0	0	0.000	0	0.000E+00	0.000
1	5000	27.995	0.007	5.072E-05	55189.758
2	10000	55.990	0.0225	1.630E-04	34340.294
3	15000	83.984	0.038	2.754E-04	30499.603
4	20000	111.979	0.054	3.913E-04	28616.911
5	25000	139.974	0.0705	5.109E-04	27399.170
6	30000	167.969	0.087	6.304E-04	26643.331
7	35000	195.964	0.1045	7.572E-04	25878.451
8	40000	223.958	0.122	8.841E-04	25333.003
9	45000	251.953	0.1415	1.025E-03	24572.118
10	50000	279.948	0.1625	1.178E-03	23774.049
11	55000	307.943	0.1835	1.330E-03	23158.645
12	60000	335.938	0.207	1.500E-03	22395.844
13	65000	363.932	0.237	1.717E-03	21191.004
14	67500	377.930	0.252	1.826E-03	20696.159
15	70000	391.927	0.269	1.949E-03	20106.306
16	72500	405.925	0.291	2.109E-03	19250.036
17	75000	419.922	0.3185	2.308E-03	18194.426
18	76200	426.641	0.3585	2.598E-03	16422.994

Grafik Tegangan Regangan C15-27/3



C15-27/A

0	[M] 000 + 0.000 mm	[M] 001 + 0.000 mm	.00.03.27.14:00:23
5	[M] 000 - 0.017 mm	[M] 001 - 0.003 mm	.00.03.27.14:00:29
10	[M] 000 - 0.033 mm	[M] 001 - 0.013 mm	.00.03.27.14:00:32
15	[M] 000 - 0.050 mm	[M] 001 - 0.026 mm	.00.03.27.14:00:40
20	[M] 000 - 0.068 mm	[M] 001 - 0.040 mm	.00.03.27.14:00:44
25	[M] 000 - 0.085 mm	[M] 001 - 0.054 mm	.00.03.27.14:00:48
30	[M] 000 - 0.105 mm	[M] 001 - 0.071 mm	.00.03.27.14:00:51
35	[M] 000 - 0.123 mm	[M] 001 - 0.087 mm	.00.03.27.14:00:55
40	[M] 000 - 0.143 mm	[M] 001 - 0.102 mm	.00.03.27.14:00:59
45	[M] 000 - 0.165 mm	[M] 001 - 0.120 mm	

0	[M] 000 - 0.188 mm	[M] 001 - 0.138 mm	.00.03.27.14:01:03
55	[M] 000 - 0.213 mm	[M] 001 - 0.156 mm	.00.03.27.14:01:07
60	[M] 000 - 0.241 mm	[M] 001 - 0.176 mm	.00.03.27.14:01:11
65	[M] 000 - 0.279 mm	[M] 001 - 0.205 mm	.00.03.27.14:01:25
70	[M] 000 - 0.320 mm	[M] 001 - 0.238 mm	.00.03.27.14:01:35
72.5	[M] 000 - 0.350 mm	[M] 001 - 0.261 mm	.00.03.27.14:01:42
75	[M] 000 - 0.418 mm	[M] 001 - 0.300 mm	

max = 74500 kg

0.1630

0.1845

0.2085

0.2420

0.2565

0.2790

0.3055

0.3559

0.0000

0.0100

0.0230

0.0380

0.0540

0.0695

0.0880

0.1050

0.1225

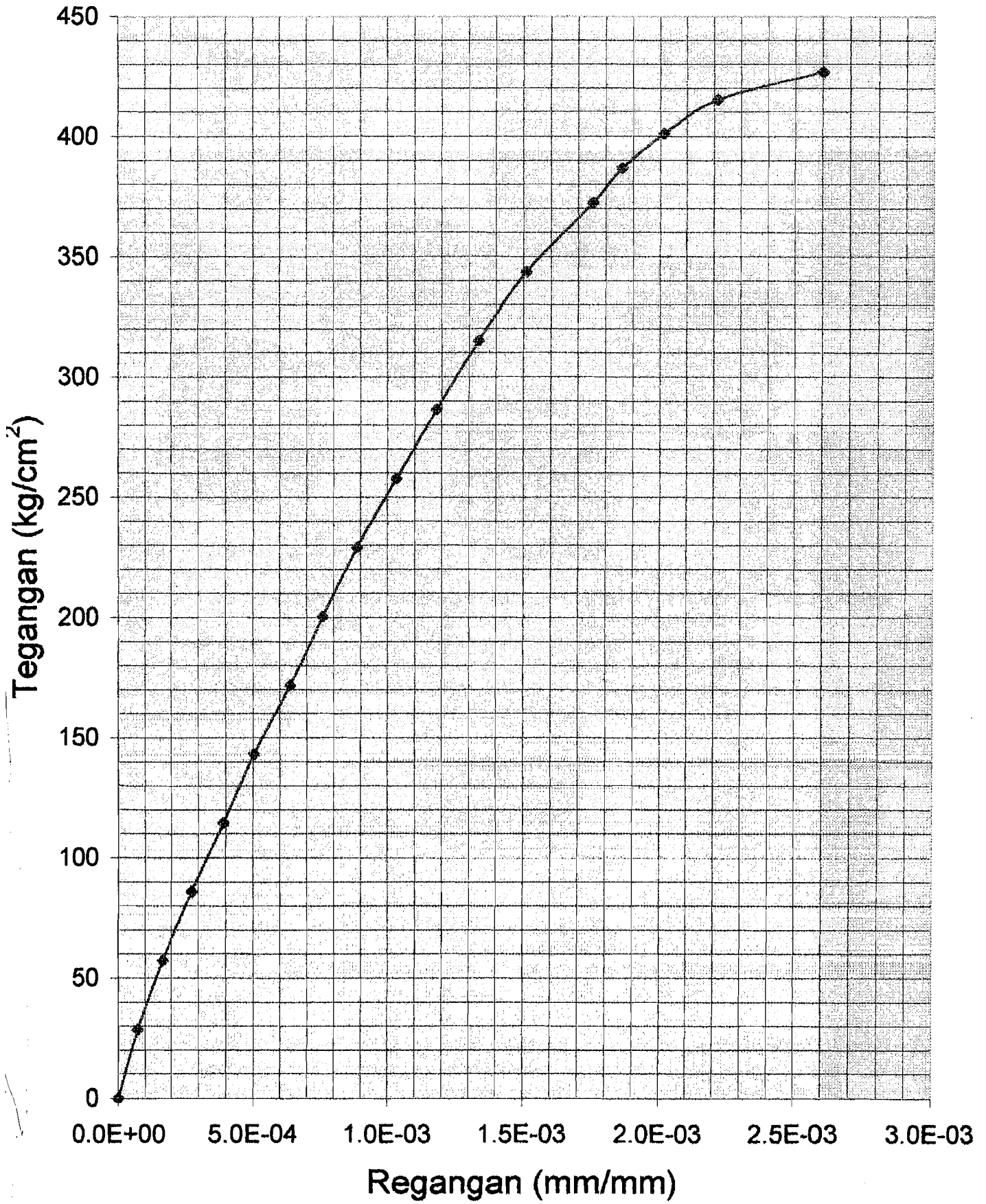
0.1425

Specimen no. : C15-27/4
Dibuat tanggal : 29 Februari 2000
Diuji tanggal : 27 Maret 2000
Umur : 27 hari
Lo : 138 mm

Diameter : 14.908 cm
Tinggi : 29.915 cm
Berat : 12.375 kg
Luas alas : 174.554 cm²

No. urut	P (Kg)	fc'i (kg/cm ²)	ΔLi (mm)	εi (mm/mm)	Ei (MPa)
0	0	0.000	0	0.000E+00	0.000
1	5000	28.645	0.01	7.246E-05	39529.420
2	10000	57.289	0.023	1.667E-04	34373.409
3	15000	85.934	0.038	2.754E-04	31207.437
4	20000	114.578	0.054	3.913E-04	29281.052
5	25000	143.223	0.0695	5.036E-04	28438.432
6	30000	171.867	0.088	6.377E-04	26951.877
7	35000	200.512	0.105	7.609E-04	26352.947
8	40000	229.156	0.1225	8.877E-04	25815.131
9	45000	257.801	0.1425	1.033E-03	24965.949
10	50000	286.445	0.163	1.181E-03	24251.178
11	55000	315.090	0.1845	1.337E-03	23567.676
12	60000	343.734	0.2085	1.511E-03	22750.745
13	65000	372.379	0.242	1.754E-03	21234.812
14	67500	386.701	0.2565	1.859E-03	20804.958
15	70000	401.023	0.278	2.014E-03	19906.902
16	72500	415.345	0.3055	2.214E-03	18761.918
17	74500	426.803	0.359	2.601E-03	16406.361

Grafik Tegangan Regangan C15-27/4



C15-26/1

27) '00.03.27.14:12:21

0 [M] 000 + 0.000 mm
[M] 001 + 0.000 mm

IA-01-03

'00.03.27.14:12:28

5 [M] 000 - 0.015 mm
[M] 001 - 0.010 mm

'00.03.27.14:12:31

10 [M] 000 - 0.028 mm
[M] 001 - 0.024 mm

'00.03.27.14:12:35

15 [M] 000 - 0.043 mm
[M] 001 - 0.039 mm

'00.03.27.14:12:39

20 [M] 000 - 0.060 mm
[M] 001 - 0.056 mm

'00.03.27.14:12:44

25 [M] 000 - 0.078 mm
[M] 001 - 0.074 mm

'00.03.27.14:12:48

30 [M] 000 - 0.098 mm
[M] 001 - 0.093 mm

'00.03.27.14:12:52

35 [M] 000 - 0.117 mm
[M] 001 - 0.111 mm

'00.03.27.14:12:57

40 [M] 000 - 0.136 mm
[M] 001 - 0.130 mm

'00.03.27.14:13:02

45 [M] 000 - 0.160 mm
[M] 001 - 0.152 mm

'00.03.27.14:13:06

50 [M] 000 - 0.183 mm
[M] 001 - 0.174 mm

'00.03.27.14:13:12

55 [M] 000 - 0.209 mm
[M] 001 - 0.199 mm

'00.03.27.14:13:17

60 [M] 000 - 0.238 mm
[M] 001 - 0.226 mm

'00.03.27.14:13:23

65 [M] 000 - 0.283 mm
[M] 001 - 0.260 mm

'00.03.27.14:13:27

67.5 [M] 000 - 0.309 mm
[M] 001 - 0.276 mm

'00.03.27.14:13:31

70 [M] 000 - 0.346 mm
[M] 001 - 0.294 mm

'00.03.27.14:13:39

71.7 [M] 000 - 0.497 mm
[M] 001 - 0.303 mm

$P_{max} = 71700 \text{ kg}$

0,0000

0,0125

0,026

0,041

0,058

0,076

0,0955

0,114

0,133

0,156

0,1785

0,204

0,232

0,2715

0,2925

0,32

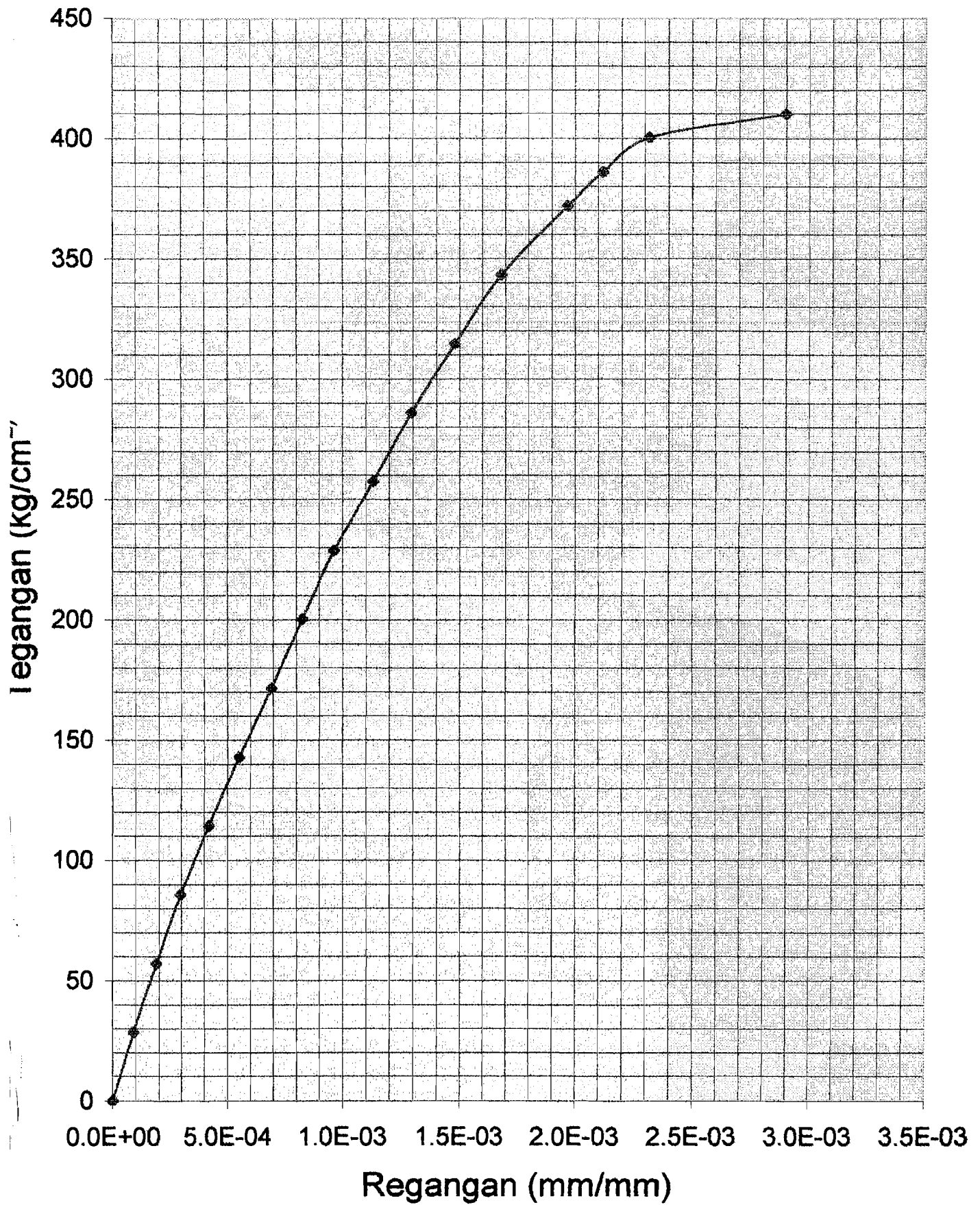
0,40

Specimen no. : C15-26/1
Dibuat tanggal : 1 Maret 2000
Diuji tanggal : 27 Maret 2000
Umur : 26 hari
Lo : 138 mm

Diameter : 14.918 cm
Tinggi : 29.955 cm
Berat : 12.345 kg
Luas alas : 174.788 cm²

No. urut	P (Kg)	fc'i (kg/cm ²)	ΔLi (mm)	εi (mm/mm)	Ei (MPa)
0	0	0.000	0	0.000E+00	0.000
1	5000	28.606	0.0125	9.058E-05	31581.154
2	10000	57.212	0.026	1.884E-04	30366.494
3	15000	85.818	0.041	2.971E-04	28885.202
4	20000	114.424	0.058	4.203E-04	27225.132
5	25000	143.031	0.076	5.507E-04	25971.343
6	30000	171.637	0.0955	6.920E-04	24801.953
7	35000	200.243	0.114	8.261E-04	24239.921
8	40000	228.849	0.133	9.638E-04	23745.228
9	45000	257.455	0.156	1.130E-03	22774.870
10	50000	286.061	0.1785	1.293E-03	22115.654
11	55000	314.667	0.204	1.478E-03	21286.317
12	60000	343.273	0.232	1.681E-03	20418.849
13	65000	371.880	0.2715	1.967E-03	18902.164
14	67500	386.183	0.2925	2.120E-03	18219.896
15	70000	400.486	0.32	2.319E-03	17270.943
16	71700	410.212	0.4	2.899E-03	14152.304

Grafik Tegangan Regangan C15-26/1



C15-26/2

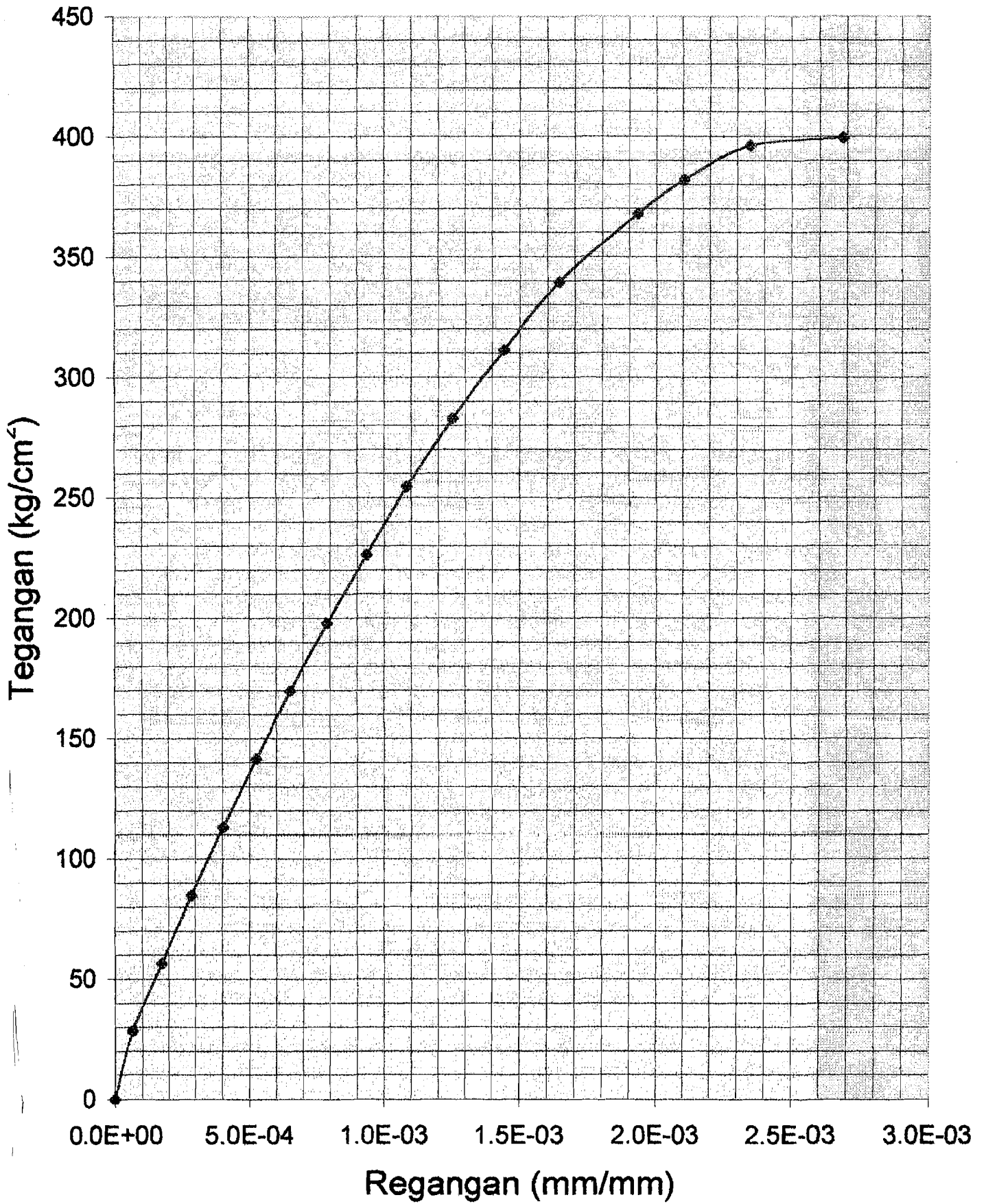
Time	Measurement	Value	Time	Measurement	Value
00.03.27.14:16:00	[M] 000 + 0.000 mm	0,0000	00.03.27.14:16:46	[M] 000 - 0.170 mm	0,1730
	[M] 001 - 0.000 mm			[M] 001 - 0.176 mm	
	IB-01-03				
00.03.27.14:16:08			00.03.27.14:16:51		
5	[M] 000 - 0.010 mm	0,0090	55	[M] 000 - 0.196 mm	0,1990
	[M] 001 - 0.008 mm			[M] 001 - 0.202 mm	
00.03.27.14:16:12			00.03.27.14:16:56		
10	[M] 000 - 0.023 mm	0,0240	60	[M] 000 - 0.225 mm	0,2265
	[M] 001 - 0.025 mm			[M] 001 - 0.228 mm	
00.03.27.14:16:16			00.03.27.14:17:02		
5	[M] 000 - 0.037 mm	0,0395	65	[M] 000 - 0.268 mm	0,2665
	[M] 001 - 0.042 mm			[M] 001 - 0.265 mm	
00.03.27.14:16:20			00.03.27.14:17:05		
0	[M] 000 - 0.052 mm	0,0555	67,5	[M] 000 - 0.296 mm	0,2905
	[M] 001 - 0.059 mm			[M] 001 - 0.285 mm	
00.03.27.14:16:24			00.03.27.14:17:10		
5	[M] 000 - 0.069 mm	0,0725	70	[M] 000 - 0.335 mm	0,3240
	[M] 001 - 0.076 mm			[M] 001 - 0.313 mm	
00.03.27.14:16:28			00.03.27.14:17:14		
5	[M] 000 - 0.086 mm	0,0900	70,6	[M] 000 - 0.387 mm	0,3705
	[M] 001 - 0.094 mm			[M] 001 - 0.354 mm	
00.03.27.14:16:32			<i>Pmax = 70600 kg</i>		
	[M] 000 - 0.105 mm	0,1090			
	[M] 001 - 0.113 mm				
00.03.27.14:16:37					
10	[M] 000 - 0.125 mm	0,1290			
	[M] 001 - 0.133 mm				
00.03.27.14:16:41					
5	[M] 000 - 0.146 mm	0,1495			
	[M] 001 - 0.153 mm				

Specimen no. : C15-26/2
Dibuat tanggal : 1 Maret 2000
Diuji tanggal : 27 Maret 2000
Umur : 26 hari
Lo : 138 mm

Diameter : 15.000 cm
Tinggi : 29.985 cm
Berat : 12.461 kg
Luas alas : 176.715 cm²

No. urut	P (Kg)	fc'i (kg/cm ²)	ΔLi (mm)	εi (mm/mm)	Ei (MPa)
0	0	0.000	0	0.000E+00	0.000
1	5000	28.294	0.009	6.522E-05	43384.459
2	10000	56.588	0.024	1.739E-04	32538.344
3	15000	84.883	0.0395	2.862E-04	29655.200
4	20000	113.177	0.0555	4.022E-04	28141.270
5	25000	141.471	0.0725	5.254E-04	26928.285
6	30000	169.765	0.09	6.522E-04	26030.675
7	35000	198.059	0.109	7.899E-04	25075.421
8	40000	226.354	0.129	9.348E-04	24214.582
9	45000	254.648	0.1495	1.083E-03	23505.961
10	50000	282.942	0.173	1.254E-03	22569.950
11	55000	311.236	0.199	1.442E-03	21583.223
12	60000	339.531	0.2265	1.641E-03	20686.629
13	65000	367.825	0.2665	1.931E-03	19046.835
14	67500	381.972	0.2905	2.105E-03	18145.307
15	70000	396.119	0.324	2.348E-03	16871.734
16	70600	399.514	0.3705	2.685E-03	14880.694

Grafik Tegangan Regangan C15-26/2



C15-26/3

'00.03.27.14:08:03

0 [M] 000 + 0.000 mm
[M] 001 + 0.000 mm

0,0000

IIA-01-03

'00.03.27.14:08:20

5 [M] 000 - 0.018 mm
[M] 001 + 0.000 mm

0,009

'00.03.27.14:08:23

0 [M] 000 - 0.037 mm
[M] 001 - 0.012 mm

0,0245

'00.03.27.14:08:25

5 [M] 000 - 0.054 mm
[M] 001 - 0.026 mm

0,04

'00.03.27.14:08:28

0 [M] 000 - 0.070 mm
[M] 001 - 0.040 mm

0,055

'00.03.27.14:08:32

5 [M] 000 - 0.088 mm
[M] 001 - 0.053 mm

0,0705

'00.03.27.14:08:35

0 [M] 000 - 0.105 mm
[M] 001 - 0.067 mm

0,086

'00.03.27.14:08:39

5 [M] 000 - 0.125 mm
[M] 001 - 0.082 mm

0,1035

'00.03.27.14:08:43

[M] 000 - 0.144 mm
[M] 001 - 0.097 mm

0,1205

'00.03.27.14:08:47

[M] 000 - 0.165 mm
[M] 001 - 0.114 mm

0,1395

'00.03.27.14:08:51

[M] 000 - 0.184 mm
[M] 001 - 0.131 mm

0,1575

'00.03.27.14:08:56

55 [M] 000 - 0.204 mm
[M] 001 - 0.150 mm

0,17

'00.03.27.14:09:00

60 [M] 000 - 0.225 mm
[M] 001 - 0.170 mm

0,19

'00.03.27.14:09:07

65 [M] 000 - 0.251 mm
[M] 001 - 0.190 mm

0,22

'00.03.27.14:09:10

67,5 [M] 000 - 0.260 mm
[M] 001 - 0.208 mm

0,23

'00.03.27.14:09:15

70 [M] 000 - 0.272 mm
[M] 001 - 0.222 mm

0,24

'00.03.27.14:09:22

72,5 [M] 000 - 0.287 mm
[M] 001 - 0.242 mm

0,26

'00.03.27.14:09:29

75 [M] 000 - 0.300 mm
[M] 001 - 0.263 mm

0,28

'00.03.27.14:09:36

77,5 [M] 000 - 0.315 mm
[M] 001 - 0.289 mm

0,30

'00.03.27.14:09:42

80 [M] 000 - 0.327 mm
[M] 001 - 0.314 mm

0,32

'00.03.27.14:09:47

80,6 [M] 000 - 0.331 mm
[M] 001 - 0.351 mm

0,34

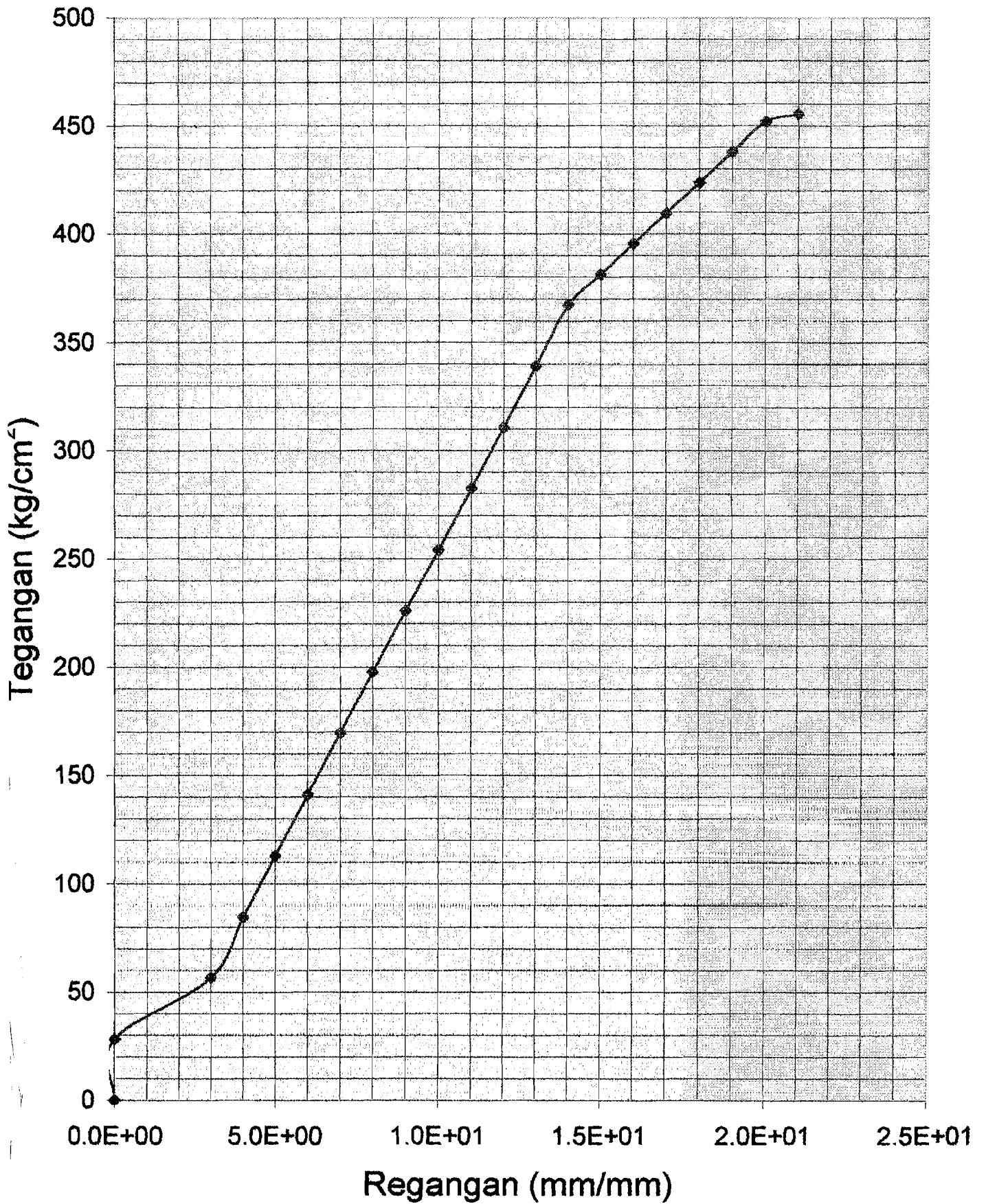
$P_{max} = 80600 \text{ kg}$

Specimen no. : C15-26/3
Dibuat tanggal : 1 Maret 2000
Diuji tanggal : 27 Maret 2000
Umur : 26 hari
Lo : 138 mm

Diameter : 15.010 cm
Tinggi : 30.000 cm
Berat : 12.580 kg
Luas alas : 176.950 cm²

No. urut	P (Kg)	fc'i (kg/cm ²)	ΔLi (mm)	εi (mm/mm)	Ei (MPa)
0	0	0.000	0	0.000E+00	0.000
1	5000	28.257	0.009	6.522E-05	43326.670
2	10000	56.513	0.0245	1.775E-04	31831.839
3	15000	84.770	0.04	2.899E-04	29245.503
4	20000	113.026	0.055	3.986E-04	28359.275
5	25000	141.283	0.0705	5.109E-04	27655.322
6	30000	169.539	0.086	6.232E-04	27205.119
7	35000	197.796	0.1035	7.500E-04	26372.756
8	40000	226.052	0.1205	8.732E-04	25888.135
9	45000	254.309	0.1395	1.011E-03	25157.422
10	50000	282.565	0.1575	1.141E-03	24758.097
11	55000	310.822	0.177	1.283E-03	24233.561
12	60000	339.078	0.1975	1.431E-03	23692.559
13	65000	367.335	0.2245	1.627E-03	22580.046
14	67500	381.463	0.234	1.696E-03	22496.540
15	70000	395.591	0.247	1.790E-03	22101.864
16	72500	409.720	0.2645	1.917E-03	21376.675
17	75000	423.848	0.2815	2.040E-03	20778.332
18	77500	437.976	0.302	2.188E-03	20013.479
19	80000	452.104	0.3205	2.322E-03	19466.585
20	80600	455.495	0.341	2.471E-03	18433.529

Grafik Tegangan Regangan C15-26/3



Lanjutan tabel lampiran 3.

No	fc'l, MPa X	X - X rata	(X-Xrata-rata) ²
81	47.85276	1.261173	1.590557
82	48.51714	1.925555	3.707761
83	43.24906	-3.342532	11.17252
84	42.81155	-3.780042	14.28872
85	48.5818	1.99021	3.960935
86	48.94927	2.357678	5.558643
87	48.03064	1.439049	2.070862
88	51.88212	5.290531	27.98971
89	49.89334	3.30175	10.90155
90	45.31953	-1.272059	1.618134
91	40.81368	-5.777915	33.3843
92	45.18036	-1.411229	1.991567
93	42.035	-4.556591	20.76252
94	45.46451	-1.127076	1.270299
95	47.4219	0.830309	0.689414
96	47.56321	0.97162	0.944045
97	38.4274	-8.164185	66.65392
98	37.38324	-9.208347	84.79366
99	47.16847	0.57688	0.332791
100	42.95304	-3.638552	13.23906
Σ	4659.159		2106.055
Rata 2	46.59159		

Standar deviasi kuat tekan, dihitung sebagai berikut :

$$sd = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$sd = \sqrt{\frac{2106.055}{100 - 1}} = 4.612296 \text{ MPa'}$$

Koefisien variasi kuat tekan, dihitung sebagai berikut :

$$cv = \frac{sd}{fc'r} = \frac{4,612296}{46,59159}$$

$$cv = 0,098994$$

$$cv = 9,8994\%$$

**Lampiran 3 Perhitungan standar deviasi
dan koefisien variasi kuat tekan Beton**

No	fc'l, MPa X	X - Xrata	(X-Xrata-rata) ²
1	45.99417	-0.597424	0.356916
2	47.73444	1.142853	1.306113
3	47.50043	0.908839	0.825988
4	46.50429	-0.087301	0.007621
5	46.84754	0.255947	0.065509
6	45.71464	-0.876953	0.769047
7	51.44219	4.850602	23.52834
8	47.43696	0.845374	0.714657
9	43.81706	-2.774533	7.698035
10	56.58702	9.995434	99.90869
11	45.08994	-1.501647	2.254943
12	42.56339	-4.028198	16.22638
13	48.59199	2.000402	4.00161
14	50.00967	3.418082	11.68328
15	50.12949	3.537897	12.51672
16	48.90535	2.31376	5.353485
17	49.87759	3.285996	10.79777
18	47.6125	1.020912	1.042261
19	39.80804	-6.783549	46.01654
20	46.74776	0.15617	0.024389
21	54.95368	8.362089	69.92453
22	54.27326	7.681674	59.00812
23	48.50423	1.912639	3.658189
24	47.72742	1.135825	1.290099
25	53.2428	6.65121	44.2386
26	51.77841	5.186818	26.90308
27	37.50618	-9.085413	82.54472
28	43.31274	-3.278852	10.75087
29	47.73774	1.14615	1.31366
30	48.24726	1.655675	2.741259
31	48.90335	2.311757	5.344222
32	49.29764	2.706047	7.322692
33	45.2287	-1.362895	1.857482
34	44.55621	-2.035379	4.142769
35	53.10016	6.508567	42.36144
36	44.53594	-2.055653	4.22571
37	42.42382	-4.167775	17.37034
38	48.07327	1.481677	2.195368
39	37.22418	-9.367414	87.74845

**Lampiran 4 Perhitungan Analisis Regresi dan Korelasi
Modulus Elastisitas**

No	Kode Benda uji	$\sqrt{f_c'}$ (MPa)	Ec Hasil Penelitian (Mpa) Y_i	Y_i^2 (MPa)	X_i^2	$X_i Y_i$
1	C15-31/1	6.980813	26658.6282	710682457.5	48.73176	186098.9
2	C15-31/2	6.975313	28181.58896	794201956.5	48.65499	196575.4
3	C15-31/3	7.033312	28105.49439	789918814.7	49.46748	197674.7
4	C15-31/4	6.76307	27364.15705	748797091	45.73912	185065.7
5	C15-29/1	5.803053	25327.38433	641476397	33.67543	146976.2
6	C15-29/2	6.880872	27286.08231	744530288	47.34641	187752.1
7	C15-29/3	6.757726	29134.23536	848803669.8	45.66686	196881.2
8	C15-29/4	6.171218	28457.18076	809811137.1	38.08394	175615.5
9	C15-28/1	6.929565	30709.05585	943046111	48.01888	212800.4
10	C15-28/2	7.076776	27924.46004	779775468.3	50.08076	197615.1
11	C15-28/3	6.349792	28216.04061	796144947.7	40.31986	179166
12	C15-28/4	6.702575	27141.41623	736656475.2	44.92451	181917.4
13	C15-27/1	6.497939	29381.64066	863280807.6	42.22322	190920.1
14	C15-27/2	6.786319	26631.54404	709239137.8	46.05413	180730.2
15	C15-27/3	6.55874	25971.07779	674496881.8	43.01708	170337.6
16	C15-27/4	6.533017	29543.90966	872842598	42.68032	193010.9
17	C15-26/1	6.404777	24522.55049	601355482.8	41.02117	157061.5
18	C15-26/2	6.320714	25649.60452	657902212.1	39.95143	162123.8
19	C15-26/3	6.749038	26235.1834	688284848.2	45.54952	177062.3
20	C15-26/4	6.904426	27188.71728	739226347.2	47.6711	187722.5
Jumlah (Σ)		133.1791	15150473129	15150473129	888.8779	3663107

Perhitungan analisis regresi.

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$a = \frac{(15150473129 \times 888.8779) - (133.1791 \times 3663107)}{20 \times 888.8779 - (133.1791)^2}$$

$$a = 17232$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$b = \frac{20(3663107) - 133.1791 \times 15150473129}{20(888.8779) - 133.1791^2}$$

$$b = 1539.1$$

$$\bar{Y} = a + bx = 17232 + 1539.1x$$

Persamaan modulus elastisitas hasil penelitian dari analisis regresi di atas adalah :

$$E_c = 1539,1\sqrt{fc'} + 17232$$

Perhitungan analisis korelasi.

$$R = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{\{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\} \{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}}$$

$$R = \frac{20(3663107) - (133.1719)(15150473129)}{\sqrt{\{20(888.8779) - (133.1791)^2\} \{20(151510473129) - (15150473129)^2\}}}$$

$$R = 0.3251$$

$$R^2 = 0.1057$$

Lampiran 5. Tabel analisis hasil pengujian slump

No	Diuji tanggal	Slump (cm), si	$(si - sr)^2$
1	12-Feb	15	5.6644
2	12-Feb	17	0.1444
3	12-Feb	17	0.1444
4	14-Feb	16	1.9044
5	14-Feb	16	1.9044
6	15-Feb	17	0.1444
7	15-Feb	17	0.1444
8	15-Feb	17	0.1444
9	17-Feb	16	1.9044
10	17-Feb	17	0.1444
11	18-Feb	16	1.9044
12	18-Feb	17	0.1444
13	18-Feb	16	1.9044
14	19-Feb	17	0.1444
15	19-Feb	17	0.1444
16	19-Feb	16	1.9044
17	21-Feb	16	1.9044
18	21-Feb	15	5.6644
19	21-Feb	19	2.6244
20	22-Feb	18	0.3844
21	22-Feb	18	0.3844
22	22-Feb	18	0.3844
23	24-Feb	19	2.6244
24	24-Feb	18	0.3844
25	24-Feb	18	0.3844
26	25-Feb	14	11.4244
27	25-Feb	18	0.3844
28	25-Feb	16	1.9044
29	27-Feb	16	1.9044
30	27-Feb	18	0.3844
31	27-Feb	19	2.6244
32	28-Feb	17	0.1444
33	28-Feb	18	0.3844
34	28-Feb	18	0.3844
35	29-Feb	17	0.1444
36	29-Feb	18	0.3844
37	29-Feb	18	0.3844
38	1-Mar	18	0.3844
39	1-Mar	18	0.3844
40	1-Mar	19	2.6244
41	2-Mar	18	0.3844
42	2-Mar	19	2.6244

$$sr = \frac{\sum si}{n} = \frac{869}{50} = 17,38 \text{ cm}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (si - sr)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{69.78}{50 - 1}} = 1,193349 \text{ cm}$$

$$cv = \frac{Sd}{sr} \times 100\% = \frac{1,193349}{17,38} \times 100\% = 6,8662\%$$

No	Diji tanggal	Slump (cm), si	(si - sr) ²
43	3-Mar	19	2.6244
44	3-Mar	19	2.6244
45	3-Mar	19	2.6244
46	4-Mar	18	0.3844
47	4-Mar	18	0.3844
48	6-Mar	18	0.3844
49	6-Mar	18	0.3844
50	6-Mar	18	0.3844
		Σ	69.78
			869

Lampiran 6 Uji terhadap kelinearan regresi

No.	Ec hasil penelitian Y	\sqrt{fc} X	Y ²	X ²	XY
1	26658.6282	7.0	710682457.5	48.7318	186098.9108
2	28181.58896	7.0	794201956.5	48.6550	196575.4039
3	28105.49439	7.0	789918814.7	49.4675	197674.7165
4	27364.15705	6.8	748797091	45.7391	185065.7229
5	25327.38433	5.8	641476397	33.6754	146976.1640
6	27286.08231	6.9	744530288	47.3464	187752.0523
7	29134.23536	6.8	848803669.8	45.6669	196881.1747
8	28457.18076	6.2	809811137.1	38.0839	175615.4754
9	30709.05585	6.9	943046111	48.0189	212800.4080
10	27924.46004	7.1	779775468.3	50.0808	197615.1424
11	28216.04061	6.3	796144947.7	40.3199	179165.9896
12	27141.41623	6.7	736656475.2	44.9245	181917.3688
13	29381.64066	6.5	863280807.6	42.2232	190920.1184
14	26631.54404	6.8	709239137.8	46.0541	180730.1633
15	25971.07779	6.6	674496881.8	43.0171	170337.5585
16	29543.90966	6.5	872842598	42.6803	193010.8744
17	24522.55049	6.4	601355482.8	41.0212	157061.4750
18	25649.60452	6.3	657902212.1	39.9514	162123.8185
19	26235.1834	6.7	688284848.2	45.5495	177062.2556
20	27188.71728	6.9	739226347.2	47.6711	187722.4960
Σ	549629.9519	133.2	15150473129	888.8779	3663107.2889

xi	ni	yi	yi ²	yi ² /ni
7.1	1	27924.4600	779775468.275091	779775468.3
7.0	3	82945.71	6879991064.294300	2293330355
6.9	3	85183.86	7256289227.241210	2418763076
6.8	3	83129.94	6910586332.621640	2303528778
6.7	2	53376.60	2849061388.687930	1424530694
6.6	1	25971.0778	674496881.767815	674496881.8
6.5	2	58925.55	3472220480.025860	1736110240
6.4	1	24522.5505	601355482.773174	601355482.8
6.3	2	53865.65	2901507725.465610	1450753863
6.2	1	28457.1808	809811137.084698	809811137.1
5.8	1	25327.3843	641476397.004210	641476397
				15133932372

$$S_x^2 = \frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)} = \frac{20(888,87793) - (133,1791)^2}{20(20-1)} = 0,1076231$$

$$x_1^2 = \sum \frac{y_i^2}{n_i} - \frac{(\sum y_{ij})^2}{n} - b^2(n-1)S_x^2 = 15133932372 - \frac{549629,9519^2}{20} - 1539,1^2(20-1)0,1076231$$

$$x_1^2 = 24434071,1931$$

$$x_2^2 = \sum Y^2 - \sum \frac{y_i^2}{n_i} = 15150473129 - 15133932372 = 16540756,98$$

$$f \text{ hitung} = \frac{\frac{x_1^2}{(k-2)}}{\frac{x_2^2}{(n-k)}} = \frac{\frac{24434071,1931}{(11-2)}}{\frac{16540756,98}{(20-11)}} = 1,48$$

$$f \text{ tabel} = f_{(0,05;9;9)} = 3,18$$

Ho = garis regresi linear

H₁ = garis regresi tidak linear

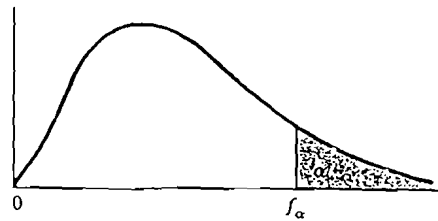
Jika F hitung < f tabel, maka Ho diterima

Jika F hitung > f tabel maka Ho ditolak

Dari perhitungan di atas didapat f hitung 1,48 dan f tabel 3,18, nampak bahwa nilai f hitung lebih kecil dari f tabel, sehingga hipotesis Ho dapat diterima.

Uji di atas membuktikan bahwa model regresi linear dapat digunakan untuk menunjukkan hubungan modulus elastisitas hasil penelitian dan akar kuadrat kuat tekan beton.

TABEL A.7*
 Nilai Kritik Sebaran F



$$f_{0.05}(v_1, v_2)$$

v_2	v_1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

*Direproduksi dari Tabel 18 *Biometrika Tables for Statisticians*, Vol. I, dengan izin dari E. S. Pearson dan Biometrika Trustees.

Tabel perhitungan modulus elastisitas hasil penelitian

Kode benda uji	fc' (Kg/m ²)	σ _{0,45} (Kg/m ²)	Tegangan (Kg/cm ²)		Regangan		Regangan pada tegangan 0,45fc' ε _{0,45}	E _c (kg/cm ²)
			sebelum 0,45fc	sesudah 0,45fc'	sebelum 0,45fc'	Sesudah 0,45fc'		
A	B	c	d	e	f	G	h	i
C15-31-1	487.318	219.293	200.189	228.788	7.572E-04	8.551E-04	8.22594E-04	266586.981
C15-31-2	486.55	218.947	200.109	228.696	7.029E-04	8.152E-04	7.76917E-04	281815.89
C15-31-3	494.675	222.604	196.746	224.852	6.920E-04	8.007E-04	7.92029E-04	281054.944
C15-31-4	457.391	205.826	200.109	228.696	7.283E-04	8.478E-04	7.52174E-04	273641.57
C15-29-1	336.754	151.539	142.935	171.522	5.580E-04	6.920E-04	5.98322E-04	253273.843
C15-29-2	473.464	213.059	199.654	228.175	7.246E-04	8.442E-04	7.80833E-04	272860.823
C15-29-3	456.669	205.501	198.059	226.354	6.739E-04	7.935E-04	7.05359E-04	291342.354
C15-29-4	378.302	170.236	170.151	198.509	5.978E-04	7.283E-04	5.98217E-04	284571.808
C15-28-1	480.189	216.085	199.841	228.389	6.377E-04	7.536E-04	7.03652E-04	307090.558
C15-28-2	494.524	222.536	195.574	223.514	6.920E-04	8.007E-04	7.96920E-04	279244.6
C15-28-3	403.199	181.439	170.606	199.040	5.906E-04	7.283E-04	6.43036E-04	282160.406
C15-28-4	449.245	202.16	197.532	225.751	7.246E-04	8.478E-04	7.44841E-04	271414.162
C15-27-1	422.232	190.004	171.407	199.975	5.688E-04	6.884E-04	6.46678E-04	293816.407
C15-27-2	460.541	207.244	198.509	226.868	7.391E-04	8.659E-04	7.78188E-04	266315.44
C15-27-3	426.641	191.988	167.969	195.964	6.304E-04	7.572E-04	7.39239E-04	259710.778
C15-27-4	426.803	192.061	171.867	200.512	7.609E-04	8.877E-04	8.50272E-04	225882.399
C15-26-1	410.212	184.595	171.637	200.243	6.920E-04	8.261E-04	7.52757E-04	245225.505
C15-26-2	399.514	179.781	169.765	198.059	6.522E-04	7.899E-04	7.00913E-04	256496.045
C15-26-3	455.495	204.973	197.796	226.052	7.500E-04	8.732E-04	7.81290E-04	262351.834
C15-26-4	476.711	214.52	200.781	229.464	7.283E-04	8.551E-04	7.89004E-04	271887.173

Keterangan perhitungan tabel di atas :

$$\sigma_{0,45} = 0,45 \times fc'$$

$$\epsilon_{0,45} = \left[\frac{(c-d) \times (g-f)}{e-f} \right] + f$$

$$E_c = \frac{\sigma_{0,45}}{\epsilon_{0,45}}$$