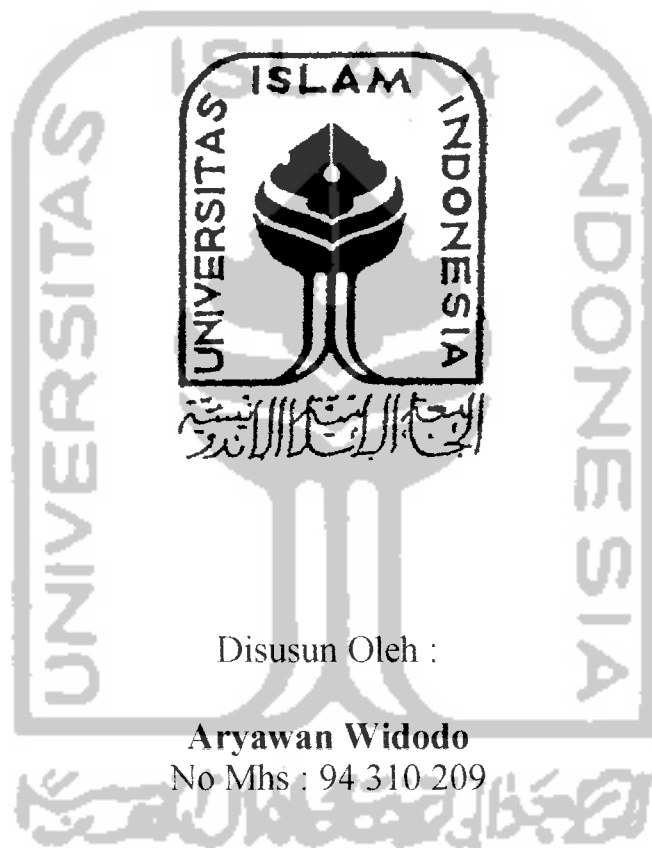


PERPUSTAKAAN FTSP
HADIAMBELI
TGL TERIMA : 20-10-2001
NO. JUDUL :
NO. INV. : 133-10-03
NO. INDIK :
133-10-03

TUGAS AKHIR

**PENGARUH TEPUNG KACA TERHADAP KUAT
DESAK DAN KUAT LENTUR BALOK BETON**



TA
601 3
wido
p
01

Bobby Satriohadi
No Mhs : 94 310 229

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2001**

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

PENGARUH TEPUNG KACA
TERHADAP KUAT DESAK DAN KUAT
LENTUR BALOK BETON



disusun oleh :

Nama : Aryawan Widodo
No. Mhs : 94 310 209

Nama : Bobby Satriohadi
No. Mhs : 94 310 229

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. Ibnu Sudarmadji, MS
Dosen Pembimbing I

Tanggal : 07/04/2021

Ir. Fatkhurrohman NS, MT
Dosen Pembimbing II

Tanggal : 07/4 2021

MOTTO dan PERSEMBAHAN

MOTTO:

“Niscaya Allah akan meningkatkan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan”

(Q.S. Al-Mujaadilah ayat 11)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S. Alam Nasyrh ayat 6)

“..... Katakanlah “Adakah sama orang-orang yang mengetahui dan orang-orang yang tidak mengetahui ? Sesungguhnya hanya orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran”.

(Q.S. Az – Zumar ayat 9)

Kupersembahkan *Tugas Akhir* ini kepada:
Ayah dan Ibu yang kami hormati dan
cintai,
Kakak Adik kami yang kusayangi,
yang telah mendo'akan dan
memberikan kasih sayang, semangat,
dan kepercayaan

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan ridho-Nya, khususnya kepada penyusun sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang merupakan syarat guna memperoleh derajat strata satu (S-1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyelesaian tugas ini tidak lepas dari dukungan serta sumbangan pikiran dan saran dari berbagai pihak yang selalu memberikan motivasi dalam menghadapi hambatan yang terjadi selama penyusunan. Untuk itu dengan segala hormat dan keikhlasan hati penyusun haturkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Ibnu Sudarmadji, MS, selaku Dosen Pembimbing I,
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman NS, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan Kepala Bagian Laboratorium Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
3. Bapak Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dosen Penguji,
4. Orang tua yang telah memberi dorongan moril maupun materiil dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
5. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,

6. Bapak Ir. Tadjuddin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
7. Bapak Ir. Ilman Noor, MSCE, selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
8. Bapak Sigit, selaku Laboran Laboratorium Geologi, Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional Yogyakarta,
9. Bapak Darussalam dan Bapak Warno selaku Laboran Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
10. Bapak Drs. Maryadi, MS selaku Kepala Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL) Yogyakarta, dan
11. Teman-teman yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu penyusun mengharap kritik dan saran yang bersifat membangun.

Akhir kata, penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusun dan pembaca pada umumnya.

Semoga Allah SWT selalu memberkati, Amien.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, April 2001

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
INTISARI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Konsep Beton Struktural	4
2.2 Bahan Penyusun Beton	6
2.3 Bahan Campuran	10

BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Umum	12
3.2 Beton Bertulang	12
3.3 Hubungan Silika dan Perubahan Mutu Semen Portland	13
3.4 Tinjauan Tepung Kaca sebagai “Puzzolan”	14
3.5 Tinjauan Tepung Kaca sebagai bahan pengisi (“filler”)	15
3.6 Kuat Desak Beton.....	17
3.7 Momen Lentur Balok Normal	18
3.8 Hubungan Beban dan Lentutan	21
3.9 Hubungan Momen dan Kelengkungan	22
3.10 Hipotesis	28
BAB IV METODE PENELITIAN	29
4.1 Material Pembentuk Beton	29
4.1.1 Semen	29
4.1.2 Agregat.....	29
4.1.3 Air.....	29
4.1.4 Baja Tulangan	29
4.1.5 Tepung Kaca	30
4.2 Peralatan Pengujian	30
4.2.1 Timbangan	30
4.2.2 Mistar dan Kaliper	30
4.2.3 Ayakan	30

4.2.4	Mesin Pemecah Batu	31
4.2.5	Mesin Penyaring	31
4.2.6	Mesin Pengaduk Beton	31
4.2.7	Cetok dan Talam Baja	31
4.2.8	Kerucut Abrahms	31
4.2.9	Mesin Uji Kuat Tarik	32
4.2.10	Mesin Uji Kuat Desak	32
4.2.11	“Loading Frame”	32
4.2.12	Dukungan Sendi dan Rol	33
4.2.13	Sel Beban	34
4.2.14	“Tranducer Indicator”	35
4.2.15	Dongkrak Hidrolik	35
4.2.16	“Dial Gauge”	36
4.3	Pelaksanaan Penelitian	36
4.3.1	Persiapan	36
4.3.2	Pembuatan dan Perawatan Model	37
4.3.3	Pelaksanaan Pengujian	38

BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	40
5.1	Hasil Penelitian	40
5.1.1	Hasil Uji Kandungan Silika Tepung Kaca	40
5.1.2	Hasil Uji Kuat Desak Beton	40
5.1.3	Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan	42

5.1.4 Hasil Uji Lentur Balok Beton Bertulang	42
5.2 Pembahasan	46
5.2.1 Kandungan Silika Tepung Kaca.....	46
5.2.2 Kuat Desak Beton	47
5.2.3 Kuat Tarik Baja	47
5.2.4 Kuat Lentur ditinjau dari Hubungan Beban dan Lendutan ..	48
5.2.5 Kuat Lentur ditinjau dari Hubungan Momen dan Kelengkungan	49
5.2.4 Kuat Lentur ditinjau dari Hubungan Beban dan Jarak Dua Retak	50
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	51
6.1 Kesimpulan	51
6.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 2.1	Hubungan Kuat Desak Beton dengan “Gel Space Ratio”	5
Gambar 2.2	Grafik Hubungan antara Umur dan Kuat Desak Beton	8
Gambar 3.1	Skema Komposisi Pasta Semen	16
Gambar 3.2	Skema Hidrasi Semen	16
Gambar 3.3	Hubungan Kuat Desak dan Porositas	17
Gambar 3.4	Distribusi Regangan dan Tegangan Lentur Balok Beton Normal	19
Gambar 3.5	Hubungan Beban dan Lendutan	22
Gambar 3.6	Kelengkungan Balok Beton Bertulang	23
Gambar 3.7	Lendutan Balok	25
Gambar 3.8	Kurva Momen – Kelengkungan Ideal	27
Gambar 3.9	Diagram P - Δ dari Pengujian Kuat Lentur	28
Gambar 4.1	“Loading Frame”	33
Gambar 4.2	Dukungan Sendi dan Rol	33
Gambar 4.3	(a) Bentuk “Load Cell” ; (b) Sirkuit “Full Bridge”	34
Gambar 4.4	“Transducer Indicator”	35
Gambar 4.5	Dongkrak Hidrolik	35
Gambar 4.6	“Dial Gauge”	36
Gambar 4.7	Model Balok Uji	37
Gambar 5.1	Grafik Kenaikan Kuat Desak Silinder Beton	41
Gambar 5.2	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan	42
Gambar 5.3	Grafik Kenaikan Kapasitas Balok	43
Gambar 5.4	Grafik Bilinier Momen dan Kelengkungan	44
Gambar 5.5	Grafik Kenaikan Faktor Kekakuan	45
Gambar 5.6	Grafik Hubungan Beban dan Jarak Retak	46

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Susunan Unsur Kimia Semen Portland	6
Tabel 2.2 Prosentase Senyawa Kimia Semen Portland	9
Tabel 2.3 Komposisi Kimia dari Botol Kaca	11
Tabel 5.1 Hasil Analisa Silika Tepung Kaca	40
Tabel 5.2 Hasil Uji Desak Silinder Beton	41
Tabel 5.3 Hasil Uji Tarik Baja	42
Tabel 5.4 Hasil Analisa Beban dan Lendutan	43
Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Momen – Kelengkungan Teoritis	44
Tabel 5.6 Hasil Analisa Momen–Kelengkungan dengan Faktor Kekakuan	45

DAFTAR LAMPIRAN

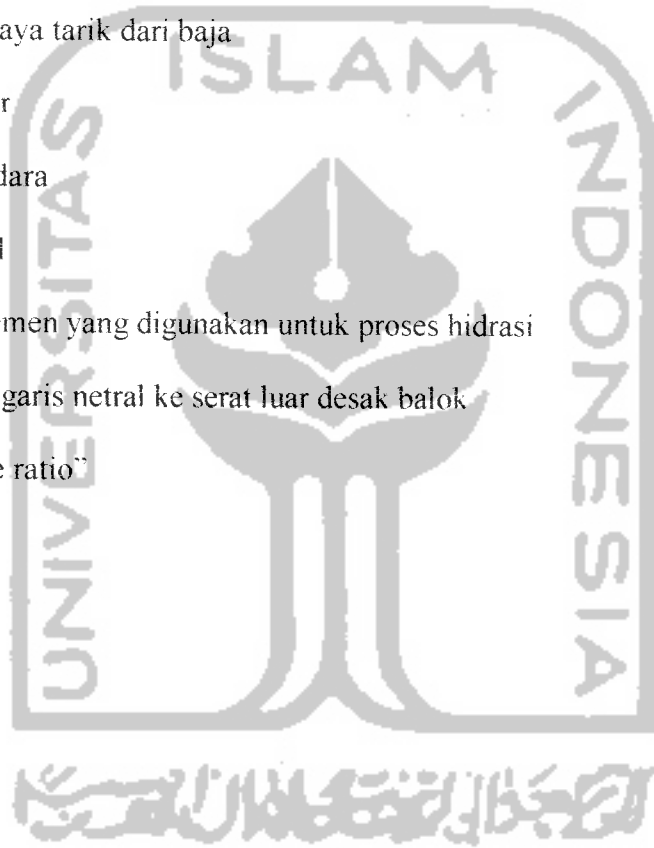
1. Data Hasil Uji Kimia Tepung Kaca	Lampiran 1
2. Data Pemeriksaan Modulus Halus Butir Pasir	Lampiran 2
3. Data Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar	Lampiran 3
4. Data Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	Lampiran 4
5. Data Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	Lampiran 5
6. Data Hasil Uji Tegangan Tarik Baja	Lampiran 6
7. Data Hasil Uji Desak Silinder Beton	Lampiran 7
8. Data Hasil Uji Lentur Balok Beton	Lampiran 8
9. Analisa Kandungan Silika Tepung Kaca	Lampiran 9
10. Hitungan "Mix Design" Dengan Metoda ACI	Lampiran 10
11. Analisa Momen Kelengkungan Teoritis	Lampiran 11
12. Rencana Pembebanan Balok Beton Bertulang	Lampiran 12
13. Analisa Hasil Kuat Desak Beton	Lampiran 13
14. Grafik Data Hasil Uji Lentur	Lampiran 14
15. Gambar Retak Balok	Lampiran 15
16. Grafik dan Data Hubungan Beban terhadap Jarak Dua Retak	Lampiran 16
17. Dokumentasi	Lampiran 17

DAFTAR NOTASI

- ϕ = kelengkungan
- σ'_{bk} = kuat desak beton karakteristik
- σ'_{bm} = kuat desak beton rata-rata benda uji
- σ'_b = kuat desak beton
- α = rasio kekakuan lentur penampang balok
- β_1 = faktor reduksi tinggi blok tegangan desak ekivalen beton,
- ϕ_1 = kelengkungan leleh pertama
- ϕ_u = kelengkungan ultimit
- ϵ_c = regangan beton
- ϵ_s = regangan baja
- π = konstanta = 3,14
- Δ = lendutan
- ρ = rasio penulangan
- Φ = faktor reduksi kekuatan
- a = tinggi blok tegangan desak persegi ekivalen
- A_s = luas tulangan tarik
- A_s' = luas tulangan desak
- b = lebar penampang balok

- c = jarak dari serat terluar desak ke garis netral
 C_c = resultan gaya desak beton
 C_s = resultan gaya desak baja
 d = tinggi efektif penampang balok
 d' = jarak dari serat desak terluar ke titik berat baja desak
 E_c = modulus elastis beton
 E_s = modulus elastis baja
 EI = faktor kekakuan
 f_c' = kuat desak beton
 f_r = modulus retak balok
 f_y = tegangan leleh baja
 h = tinggi total balok
 I = momen inersia penampang balok terhadap garis netral
 jd = lengan dari titik berat dari baja desak dan beton ketitik berat tulangan tarik
 k = kekakuan
 M = momen terfaktor
 M_{cr} = momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar
 M_n = momen nominal suatu penampang
 M_u = momen terfaktor pada penampang
 M_y = tahanan momen yang disumbangkan oleh tulangan kepala geser
 N = jumlah sampel

- P = beban aksial
- R = jari-jari kelengkungan
- s = standar deviasi
- SR = "silica ratio"
- T_s = resultan gaya tarik dari baja
- V_w = volume air
- V_a = volume udara
- V_g = volume gel
- V_p = volume semen yang digunakan untuk proses hidrasi
- y_a = jarak dari garis netral ke serat luar desak balok
- X_F = "gel-space ratio"



INTISARI

Pecahan botol kaca merupakan salah satu limbah industri rumah tangga yang pemanfaatannya belum optimal karena selama ini hanya didaur ulang kembali menjadi berbagai produk kaca padahal dengan kandungan silika, SiO_2 sebesar 71,9 % limbah yang diubah menjadi tepung dengan ukuran 75 – 150 μm tersebut dapat berfungsi sebagai “puzzolan” dan “filler” sehingga dengan menambahkannya ke dalam adukan beton dengan mereduksi jumlah semen, bahan tersebut diperkirakan dapat meningkatkan kuat desak dan kuat lentur balok beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kenaikan penurunan kuat desak dan kuat lentur balok beton dengan beberapa variasi campuran tepung kaca. Pengujian balok dilakukan dengan pembebanan statis pada $\frac{1}{3}$ bentang atau “One-Third Point Loading”, beban statis ditingkatkan dari 0 kN sampai balok mengalami keruntuhan. Pada setiap pembebanan statis lendutan yang terjadi pada titik-titik yang ditentukan diukur lalu dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara beban (P) dan lendutan (Δ) dan dengan menggunakan tiga titik bantu, data dianalisis dengan metode numeris “central differences”, kemudian dibuat grafik yang menunjukkan hubungan momen (M) dan kelengkungan (ϕ). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan tepung kaca 10 % dari berat semen mengakibatkan kenaikan kuat desak silinder beton ($f'c$) sebesar 38,8 %, kekakuan balok (k) mengalami kenaikan sebesar 17,96 %, faktor kekakuan (EI) naik sebesar 122,2 % dan kenaikan kapasitas balok sebesar 15,97 %. Dari penelitian ini hasil yang didapatkan yaitu kemampuan balok dengan campuran tepung kaca dalam menahan beban (P) mengalami kenaikan, lendutan (Δ) mengalami penurunan, momen (M) mengalami kenaikan, kelengkungan (ϕ) mengalami penurunan dan kekakuan (k) mengalami kenaikan. Hal ini terjadi karena kenaikan kuat desak beton ($f'c$).

Kata kunci: “puzzolan”, “filler”, lendutan, kelengkungan, kekakuan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan industri maju makin meningkat seiring dengan perkembangan ilmu dan teknologi. Namun fenomena tersebut tidak selamanya dapat diimbangi dengan penanganan limbah yang timbul akibat kegiatan industri rumah tangga, contohnya adalah pecahan botol kaca. Selama ini usaha pemanfaatan limbah tersebut belum optimal dan hanya dilakukan dengan cara mendaur ulang pecahan botol kaca menjadi berbagai produk kaca seperti gelas, piring, mangkok, botol, lampu dan sebagainya.

Pada umumnya kandungan unsur kimia pecahan botol kaca hampir sama dengan semen portland. Berdasarkan uji kandungan kimia pecahan botol kaca jenis kalsit yang dilakukan di Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Yogyakarta (BTKL), ternyata silika, SiO_2 , merupakan unsur kimia botol kaca yang paling dominan yaitu mencapai 71,9 % sehingga limbah ini merupakan “puzzolan” yaitu bahan yang bereaksi dengan kapur ikat bebas selama pengikatan semen. Dengan menghancurkan dan menggiling pecahan kaca menjadi tepung dengan ukuran $75 \mu\text{m} - 150 \mu\text{m}$, pecahan kaca dapat dimanfaatkan sebagai “puzzolan” dan bahan

pengisi (“filler”) untuk memperbaiki mutu beton dengan komposisi campuran berupa semen portland : pasir : kerikil : tepung kaca.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, tepung kaca dipakai sebagai pengganti sebagian dari berat semen. Dengan mempertimbangkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. kenaikan kuat desak silinder dan kuat lentur balok beton akibat penambahan tepung kaca, dan
2. mencari prosentase perbandingan campuran tepung kaca terhadap berat semen yang menghasilkan kuat desak dan lentur paling maksimum.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat beton alternatif dengan memanfaatkan tepung kaca sebagai bahan campuran.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. memberikan informasi tentang jumlah prosentase tepung kaca terhadap peningkatan kuat desak beton yang masih memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan campuran beton, dan
2. hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu teknologi beton dan jasa konstruksi.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini dibuat agar masalah yang akan diteliti lebih terarah.

Adapun batasan penelitian tersebut adalah :

1. penelitian eksperimental dengan maksud mencari kuat desak dan kuat lentur balok,
2. kuat desak rencana f_c' adalah 25 Mpa,
3. agregat kasar digunakan kerikil dari Celereng, agregat halus adalah pasir dari Kali Krasak sedangkan semen yang dipakai adalah Semen Gresik, tipe I,
4. tepung kaca yang dipakai berasal dari pecahan botol kaca dengan ukuran 75 – 150 μm sedangkan variasi tepung kaca terhadap berat semen adalah sebesar 2,5 %; 5 %; 7,5 %; dan 10 %,
5. digunakan tulangan polos dengan perincian; $\varnothing 12$ mm untuk tulangan baja tarik, $\varnothing 8$ mm untuk tulangan baja desak sedangkan untuk tulangan sengkang dipakai $\varnothing 6$ mm,
6. benda uji yang digunakan adalah silinder beton dengan dimensi 300 x 150 mm untuk uji kuat desak dan balok beton bertulang dengan dimensi 1800 x 100 x 200 mm untuk uji kuat lentur,
7. jumlah sampel untuk tiap variasi adalah 10 buah silinder beton dan 2 buah balok beton bertulang, dan
8. Air yang digunakan adalah dari Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Beton Struktural

Menurut **Standar SK-SNI, (1991)**, beton terbuat dari bahan semen portland, air, agregat/batuan kasar dan halus dalam proporsi perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

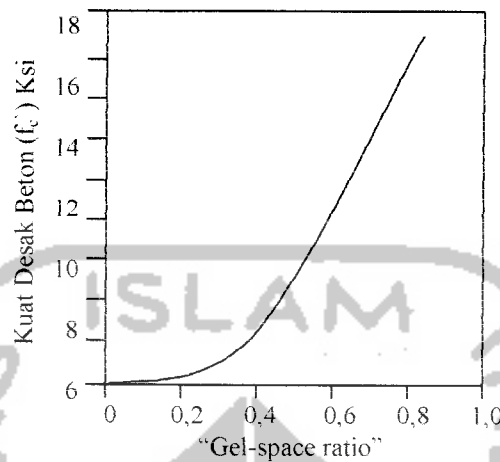
Istimawan, (1994), mengemukakan bahwa nilai kekuatan serta daya tahan (“durability”) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, di antaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan “finishing”, temperatur, dan kondisi pengerasannya.

Sagel, Kole, dan Gideon, (1993), berpendapat bahwa kekuatan desak beton ditentukan oleh pengaturan perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air, dan jenis campuran.

Popovic, (1998), mengatakan bahwa kuat desak beton dipengaruhi oleh porositas yang terdiri dari pori gel, pori kapiler dan pori udara, semakin besar porositas maka semakin kecil kuat desak beton yang terjadi.

Popovic, (1998), mengemukakan bahwa luas permukaan gel dapat didekati dengan ukuran “gel-space ratio” (X_F) dan merupakan fungsi pangkat tiga dari kuat desak beton (f_c') sehingga semakin besar “gel-space ratio” (X_F), makin besar kuat

desak beton (f'_c) yang terjadi. Hubungan antara kedua parameter tersebut dapat digambarkan dalam bentuk kurva seperti tampak pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hubungan Kuat Desak Beton dengan “Gel-Space Ratio”

Istimawan, (1994), mengatakan bahwa nilai kuat desak beton didapatkan dengan menggunakan mesin uji yang memberikan beban pada benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) dari 0 kN sampai hancur.

Menurut **Nawy, (1985)**, beban yang bekerja pada struktur menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban.

Park dan Paulay, (1975), mengemukakan bahwa karakteristik beban dan lendutan penampang lentur pada saat leleh dan pada momen ultimit tergantung pada penampang karakteristik momen lengkung.

Shah, Swartz, dan Ouyang, (1995), mengatakan bahwa semakin jauh jarak dua retak dengan beban yang sama pada balok beton bertulang yang mengalami kegagalan lentur, kekakuan yang terjadi makin besar.

2.2 Bahan Penyusun Beton

2.2.1 Semen Portland

Menurut **Kardiyono, (1989)**, semen portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan “gips” sebagai bahan tambahan. Sifat semen sangat dipengaruhi oleh komposisi kimiawi dan kehalusan penggilingan.

Mindess dan Young, (1981) mengatakan bahwa kapur, silika, dan alumina merupakan unsur-unsur penyusun semen yang paling berpengaruh terhadap jenis semen. Susunan unsur semen portland dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1. Susunan Unsur Kimia Semen Portland

Oksida	Persen, (%)
Kapur, CaO	63
Silika, SiO ₂	22
Alumina, Al ₂ O ₃	6
Besi, Fe ₂ O ₃	2,5
Magnesia, MgO	2,6
Sulfur, SO ₃	2
Soda, Na ₂ O	0,3
Potas, K ₂ O	0,6

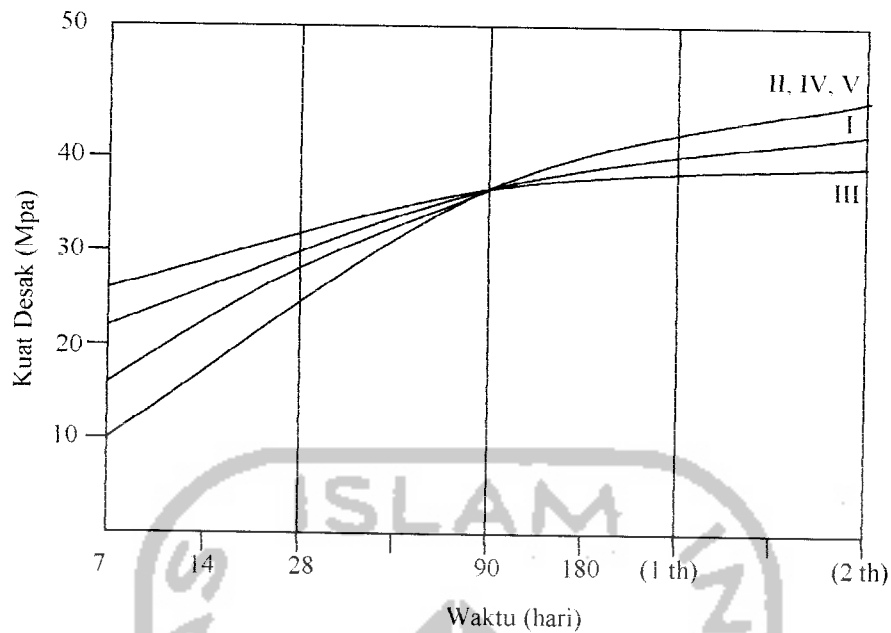
Kardiyono, (1989), mengemukakan bahwa setelah semen bersentuhan dengan air, akan terbentuk gel, C₃S₂H₃, yaitu pasta semen yang terdiri dari butiran sangat halus hasil hidrasi yang memiliki luas permukaan besar dan “calsium hidroksida”, Ca(OH)₂, yaitu sisa semen yang tak bereaksi.

Menurut **Neville, (1973)**, jumlah gel dan “calsium hidroksida”, Ca(OH)_2 , yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen tergantung pada jenis semen portland yang digunakan.

Murdock dan Brook, (1979), mengemukakan bahwa senyawa-senyawa kimia yang terbentuk pada saat hidrasi semen adalah:

- 1) “tricalcium aluminate”, C_3A atau $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
 senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah besar panas dan menyebabkan pengerasan awal,
- 2) “tricalcium silikat”, C_3S atau $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
 senyawa ini mengeras dalam beberapa jam, dengan melepas sejumlah panas dimana kuantitas yang terbentuk dalam ikatan mempengaruhi kekuatan beton pada awal umurnya, hingga mencapai 14 hari,
- 3) “dicalcium silikat”, C_2S atau $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
 formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat dimana senyawa ini mempengaruhi peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari, dan
- 4) “tetra calsium aluminoferrite”, C_4AF atau $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
 senyawa ini secara umum tidak berpengaruh terhadap kekuatan semen.

Mindess dan Young, (1981) mengemukakan bahwa di antara keempat senyawa kimia semen portland yang terbentuk, “tricalcium silikat”, C_3S , mampu menghasilkan kuat desak tertinggi. Hubungan antara umur, kuat desak dan jenis semen di gambarkan dalam Gambar 2.2



Gambar 2.2 Grafik Hubungan antara Umur dan Kuat Desak Beton

Menurut Nawy, (1990), kekuatan awal semen portland semakin tinggi apabila semakin banyak prosentase “tricalcium silikat”, C_3S . Jika perawatan kelembaban terus berlangsung maka kekuatan akhirnya akan lebih besar apabila prosentase “dicalcium silikat”, C_2S semakin besar.

Neville, (1973), mengemukakan bahwa dasar penggolongan jenis semen portland adalah menurut sifat-sifat senyawa kimianya sehingga dengan menambah/mengurangi prosentase unsur kimia yang dikandungnya, jumlah senyawa kimia yang dihasilkan akan berbeda dan diikuti dengan perubahan jenis semen portland.

Kusnadi, (1985), mengemukakan bahwa berdasarkan sifat-sifat komposisi dan senyawa kimianya, semen portland dapat dibedakan jenisnya yaitu:

1. jenis I, merupakan semen portland standard yang digunakan untuk semua bangunan beton tanpa persyaratan tertentu,

2. jenis II, dipakai untuk bangunan dengan pembetonan secara massal, seperti dam. Semen ini diperoleh dengan cara menambah prosentase C_2S dan mengurangi prosentase C_3S dari semen Portland jenis I,
3. jenis III, adalah jenis semen yang cepat mengeras dan memiliki kekuatan awal tinggi karena butirannya lebih halus dan mengandung prosentase C_3S yang lebih banyak. Jenis ini dipakai bilamana kekuatan harus dicapai dalam waktu singkat, seperti pembuatan jalan raya,
4. jenis IV, adalah semen yang memiliki panas hidrasi rendah, prosentase C_2S lebih banyak dari semen portland jenis I dan umumnya digunakan pada turap penahan tanah gravitasi, dan bendungan besar, dan
5. jenis V, merupakan semen yang tahan terhadap serangan sulfat, umumnya digunakan untuk pembuatan beton pada daerah laut/pantai.

Menurut **Kusnadi, (1985)**, jenis semen portland sangat mempengaruhi kuat desak beton. Hubungan antara jenis semen portland, prosentase senyawa kimia, dan kuat desak beton dapat disajikan dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Prosentase Senyawa Kimia Semen Portland

Jenis Semen	Prosentase				Kuat Desak (%)		
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Umur 3 hari	Umur 28 hari	Umur 3 bulan
Jenis I	53	24	8	8	100	100	100
Jenis II	47-50	32	3-8	12	80	85	100
Jenis III	58	16	8-15	8	190	130	115
Jenis IV	26-35	54-40	2-7	12	50	65	90
Jenis V	50	50	5	0	65	65	85

2.2.2 Agregat

Murdock dan Brook, (1979), mengatakan bahwa agregat yang banyak digunakan untuk beton adalah pasir dan kerikil karena pertimbangan ekonomis dan kemudahan pengerjaan. Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, pasir dan lain-lain) ialah kekuatan hancur dan ketahanannya terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap agresi kimia dan penyusutan.

2.2.3 Air

Menurut **Sagel, Kole, dan Gideon, (1993)**, air diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Kualitas air sangat mempengaruhi mutu beton. Air yang bebas dari lumpur, tidak mengandung garam-garaman, khlorida, dan senyawa sulfat sangat dianjurkan untuk digunakan.

2.3 Bahan Campuran

Menurut **Murdock dan Brook, (1979)**, “puzzolan” adalah bahan yang bereaksi dengan kapur ikat bebas selama pengikatan semen, di dalam bahan tersebut terdapat sedikit atau tiada sama sekali sifat-sifat semennya. Bahan ini digunakan untuk penambah, atau untuk pengganti sampai dengan 70 % semen.

Neville, (1973), berpendapat bahwa “puzzolan” merupakan bahan mineral yang dipakai untuk memperhalus perbedaan-perbedaan pada campuran beton dengan memberikan ukuran butir yang tidak ada atau kurang pada agregat.

Nawy, (1985), mengatakan bahwa banyaknya kapur bebas yang dilepaskan pada reaksi hidrasi semen sekitar 20 % dari berat semen sehingga memungkinkan terjadinya pemisahan struktur, oleh karena itu harus dicegah dengan menambahkan pada semen suatu mineral silika seperti “puzzolan” yang bereaksi dengan kapur membentuk bahan yang kuat, yaitu gel, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Menurut **Murdock dan Brook, (1979)**, sejumlah bahan tersedia dalam bentuk tepung dapat digunakan untuk menambah karakteristik kohesip dari beton dan oleh karenanya memperbaiki ketahanan terhadap “bleeding”.

Kardiyono, (1989) mengatakan bahwa kaca termasuk benda padat buangan/limbah yang dapat dipakai sebagai pengganti agregat dalam pembuatan beton.

Tata dan Saito, (1992), mengemukakan bahwa unsur dari botol kaca didominasi oleh kandungan silika (SiO_2) yang berkisar antara 72,3-73,3 %, tergantung dari jenisnya seperti di tunjukkan pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Komposisi Kimia dari Botol Kaca.

Jenis	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	BaO	F ₂	SO ₃
Kalsit	72.3	1.86	0.60	0.17	10.63	13.46	0.54	0.31	0.55	0.25	-
Dolomit	73.3	1.93	0.37	3.76	5.82	14.07	0.46	0.23	0.34	0.06	0.04
Amber	72.5	1.45	0.09	3.77	7.34	13.71	0.61	-	0.29	0.26	-

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Karakteristik dari beton harus dipertimbangkan dalam hubungannya dengan kualitas yang dituntut untuk suatu tujuan konstruksi tertentu. Kuat desak beton dipengaruhi oleh jenis dan kualitas semen, bentuk dan tekstur permukaan agregat, bahan campuran, perawatan, suhu, dan umur beton. Menurut **SK-SNI, (1993)**, untuk menghitung modulus elastisitas beton normal dipakai nilai $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$. Jika kuat desak beton (f'_c) makin meningkat maka modulus elastisitas beton (E_c) naik, semakin besar nilai E_c faktor kekakuan lentur komponen struktur (EI) akan makin meningkat dan semakin besar EI , kekakuan yang terjadi (k) akan naik sehingga kekuatan beton akan bertambah.

3.2 Beton Bertulang

Beton sederhana dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar, udara, dengan atau tanpa bahan campuran lainnya. Dalam adukan beton, air dan semen membentuk pasta semen yang mengisi pori-pori antar butiran-butiran agregat halus dan bersifat sebagai perekat/pengikat dalam proses pengerasan sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat

hingga terbentuk massa yang kompak/padat. Bahan yang terbentuk ini ,mempunyai kekuatan desak yang tinggi, dan ketahanan terhadap tarik rendah, atau kira-kira kuat tariknya 0,1 kali kekuatan terhadap desak. Oleh karena itu penguatan tarik dan geser harus diberikan pada daerah tarik dari penampang untuk mengatasi kelemahan pada daerah elemen beton bertulang sehingga jika beton dikombinasikan dengan baja tulangan maka akan menjadi elemen utama pada suatu sistem struktur.

3.3 Hubungan Silika dan Perubahan Mutu Semen Portland

Menurut **Kusnadi, (1985)**, komposisi silika untuk semen portland dibatasi dengan menentukan perbandingan “silica ratio” yang didekati dengan persamaan:

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (3.1)$$

Dari Persamaan (3.1) tampak bahwa semakin tinggi kandungan silika dalam semen portland, makin besar nilai SR. Nilai SR dibatasi: $1,6 < SR < 3,5$ dengan nilai rata-rata 2,0-2,5.

Neville, (1973), mengatakan bahwa penggolongan jenis semen dapat dibedakan menurut komposisi mineral yang dihitung dalam persen berat terhadap semen portland. Pengurangan/penambahan salah satu unsur kimia semen seperti silika, akan mengubah prosentase senyawa kimia semen portland. Analisis kimia tersebut adalah sebagai berikut:

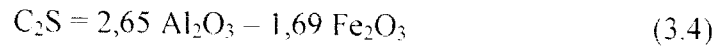
1. “Tricalcium silikat”, $3 CaO \cdot SiO_2$ atau C_3S

$$C_3S = 4,07 CaO - 7,60 SiO_2 - 6,72 Al_2O_3 - 1,43 Fe_2O_3 - 2,85 SO_3 \quad (3.2)$$

2. “Dicalcium silikat”, $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ atau C_2S



3. “Tricalcium aluminat”, $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ atau C_3A



4. “Tetracalciumaluminoferrit”, $4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ atau C_4AF

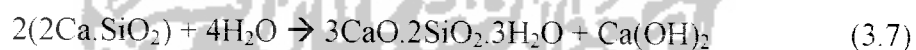


Dari persamaan-persamaan di atas akan didapatkan data prosentase senyawa kimia dari semen portland dan mengacu dari Tabel 2.2, jenis semen dapat diketahui, yaitu jenis I, jenis II, jenis III, jenis IV, atau jenis V.

3.4 Tinjauan Tepung Kaca sebagai “Puzzolan”

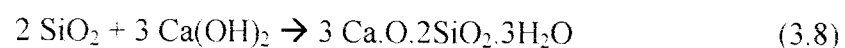
Dari hasil pengujian yang dilakukan oleh Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Yogyakarta (BTKL), pecahan botol kaca didominasi oleh silika, SiO_2 sebesar 71,9 %, sehingga bahan ini termasuk “puzzolan”.

Menurut **Kardiyono, (1989)**, reaksi hidrasi semen terjadi ketika semen bersentuhan dengan air, reaksinya adalah sebagai berikut:



Persamaan (3.6) dan (3.7) menghasilkan gel, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ atau $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ dan sisa reaksinya adalah kapur bebas, $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Jika tepung kaca yang mengandung 71,9% silika, SiO_2 , dimasukkan dalam adukan beton, maka terjadi reaksi sebagai berikut:



Persamaan (3.8) menghasilkan gel, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ atau $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ sehingga penambahan tepung kaca mengakibatkan peningkatan jumlah gel dalam adukan beton.

Menurut **Popovic, (1998)**, luas permukaan gel didekati dengan ukuran “gel-space ratio” (X_F) yang dapat dihitung dengan rumus:

$$X_F = \frac{V_g}{V_w + V_a + V_p} \quad (3.9)$$

Dari Persamaan (3.9) tampak bahwa semakin besar jumlah gel yang terbentuk maka “gel space ratio” makin besar. Hubungan antara “gel space ratio” dan kuat desak beton dihitung dengan rumus:

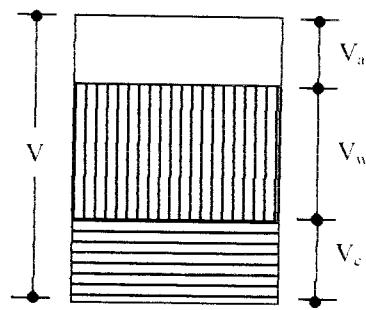
$$f_c' = 29000 \cdot X_F^3 \quad (3.10)$$

Dari Persamaan (3.10) tampak bahwa “gel-space ratio” (X_F) merupakan fungsi pangkat tiga dari kuat desak beton (f_c') sehingga semakin besar “gel-space ratio” (X_F), makin besar kuat desak beton (f_c').

3.5 Tinjauan Tepung Kaca sebagai Bahan Pengisi (“filler”)

Bahan pengisi (“filler”) yang digunakan dalam penelitian ini adalah pecahan kaca yang ditumbuk dan digiling menjadi butiran halus dengan ukuran 75 – 150 μm sehingga bahan ini diharapkan dapat mengisi/mengurangi porositas yang terjadi pada adukan beton.

Menurut **Popovic, (1998)**, porositas terbentuk pada saat hidrasi semen berlangsung. Komposisi volume udara, air, dan semen pada saat hidrasi semen dapat digambarkan seperti tampak pada Gambar 3.1.

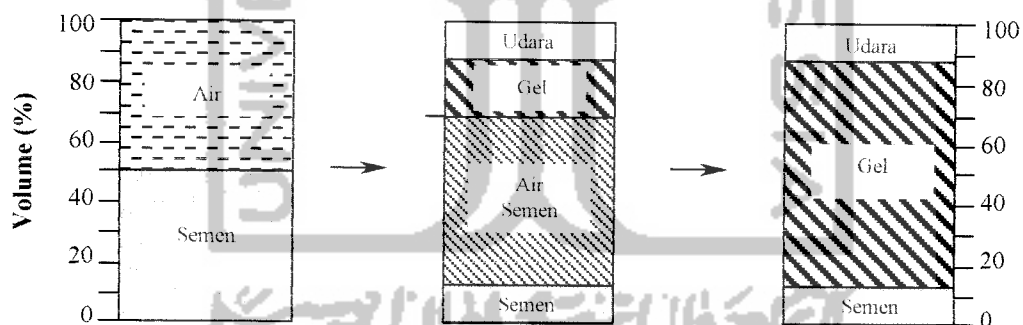


Gambar 3.1 Skema Komposisi Pasta Semen

Dari Gambar 3.1 hubungan antara volume pasta semen (V), volume udara (V_a), volume air (V_w), dan volume semen (V_c) dapat didekati dengan persamaan:

$$V = V_a + V_w + V_c \quad (3.12)$$

Proses pembentukan porositas pada saat hidrasi semen dapat digambarkan seperti tampak pada Gambar 3.2

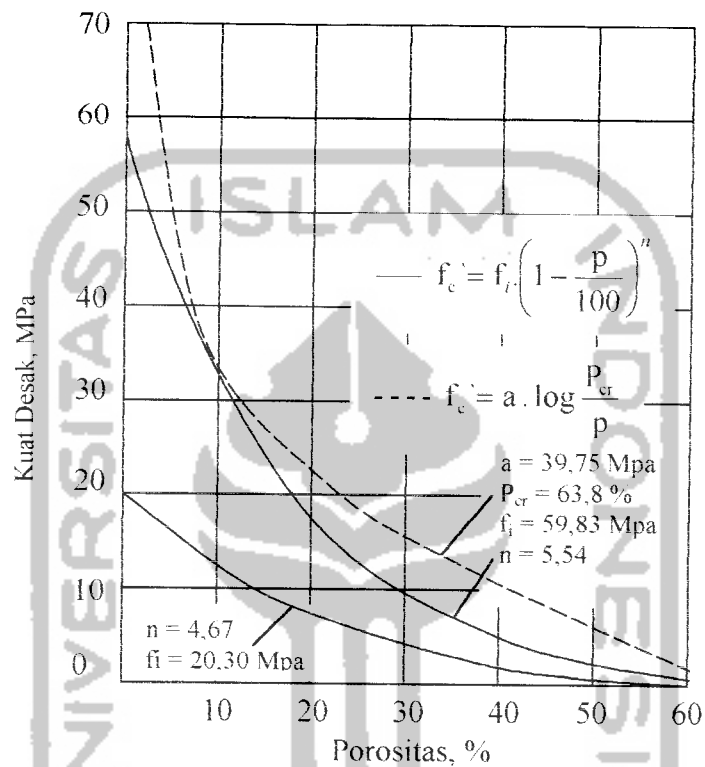


Gambar 3.2 Skema Hidrasi Semen

Dari Gambar 3.2 pada saat hidrasi semen berlangsung, proses pencampuran antara air dan semen menghasilkan gel yang diikuti dengan naiknya air semen ke permukaan (“bleeding”) melalui pori kapiler. Jumlah pori kapiler yang terbentuk dalam hidrasi semen dihitung dalam persen yang didekati dengan persamaan:

$$p = \frac{V_w + V_a + V_p - V_g}{V} \quad (3.13)$$

Porositas merupakan fungsi dari kuat desak beton, hubungan dua parameter tersebut dapat digambarkan dalam bentuk kurva seperti tampak pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Hubungan Kuat Desak dan Porositas

Mengacu dari Gambar 3.3 hubungan kuat desak beton dan porositas didekati dengan persamaan:

$$f'_c = f_i \left(1 - \frac{p}{100}\right)^n \quad (3.14)$$

dan

$$f'_c = a \log \frac{p_{cr}}{p} \quad (3.15)$$

Dari Persamaan (3.13) dan (3.14) tampak bahwa semakin besar porositas (p), kuat desak beton (f_c') makin berkurang. Oleh karena itu untuk memperoleh kualitas beton yang baik, pori pada beton harus dikurangi dengan memberikan bahan pengisi (“filler”) yang berukuran sangat kecil.

3.6 Kuat Desak Beton

Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia, (1971), dengan menganggap nilai-nilai dari hasil pemeriksaan benda uji menyebar normal (mengikuti lengkung dari Gauss) dan hanya 5 % benda uji yang mengalami penyimpangan maka kekuatan beton karakteristik (σ'_{bk}) dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1,64 s \quad (3.16)$$

Dari Persamaan (3.16) σ'_{bm} merupakan kuat desak beton rata-rata benda uji yang dihitung dengan rumus:

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma'_{b_i}}{N} \quad (3.17)$$

Mengacu dari persamaan (3.16) standar deviasi (s) dapat didekati dengan rumus:

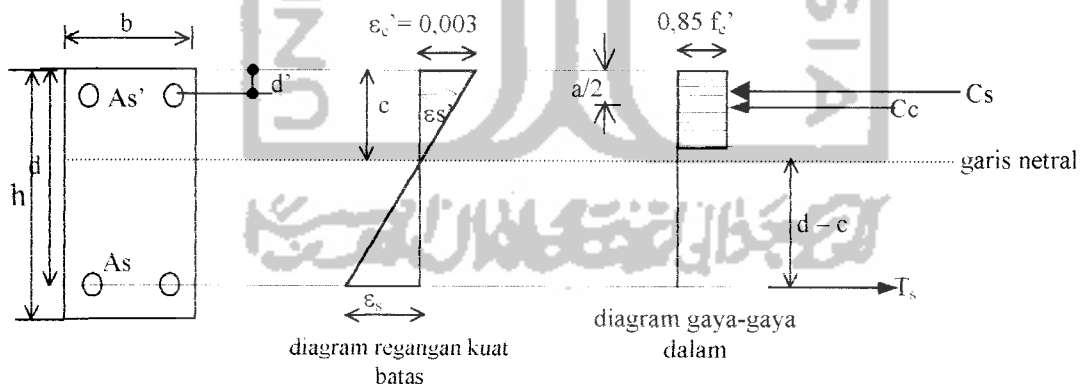
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\sigma'_{b_i} - \sigma'_{bm})^2}{N-1}} \quad (3.18)$$

Dari Persamaan (3.18) tampak bahwa semakin besar standar deviasi maka kekuatan beton karakteristik makin kecil.

3.7 Momen Lentur Balok Normal

Menurut **Istimawan, (1994)**, pendekatan dan pengembangan perencanaan didasarkan atas anggapan-anggapan sebagai berikut:

1. nilai regangan dalam penampang komponen struktur sebanding lurus dengan jarak ke garis netral,
2. tegangan sebanding dengan regangan hanya sampai sekitar beban sedang, tegangan beton desak adalah $\pm \frac{1}{2} f_c'$. Jika beban meningkat hingga ultimit maka tegangan regangannya terdistribusi tidak linier lagi, membentuk garis lengkung di mulai dari garis netral hingga serat desak terluar,
3. untuk memperhitungkan kapasitas momen ultimit komponen struktur, kuat tarik beton diabaikan dan seluruh tarik ditahan tulangan baja tarik, dan
4. tegangan tulangan baja desak (f_c') merupakan fungsi dari regangannya tepat pada titik berat tulangan baja desak.



Gambar 3.4 Distribusi Regangan dan Tegangan Lentur Balok Beton Bertulang

Untuk alasan praktis maka hubungan antara distribusi tegangan desak dan regangan dari beton pada saat tercapai kekuatan normal dapat diambil sebagai distribusi tegangan persegi ekuivalen, dengan intensitas tegangan beton yang merata sebesar $0,85 \cdot f_c$ setinggi $a = \beta_1 \cdot c$ dari syarat desak maksimum. Harga β_1 diberikan oleh rumus sebagai berikut:

Untuk $f_c < 30$ MPa maka:

$$\beta_1 = 0,85 \quad (3.19)$$

Untuk $f_c > 30$ MPa maka:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f_c - 30) \geq 0,65 \quad (3.20)$$

Dari Gambar 3.4 periksa regangan tulangan baja desak dan baja tarik:

$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{c} (0,003) \quad (3.21)$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} (0,003) \quad (3.22)$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (3.23)$$

Ada dua anggapan:

- a) jika tulangan baja desak (A_s') telah leleh sebelum beton mencapai regangan 0,003 atau $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$ maka:

nilai a dihitung dengan rumus:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \quad (3.24)$$

letak garis netral adalah:

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (3.25)$$

b) jika tulangan baja desak (A_s') belum leleh pada saat beton mencapai regangan desak 0,003 atau $\epsilon_s' \leq \epsilon_y$ dan $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ maka:

letak garis netral (c) didekati dengan persamaan:

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta \cdot c^2 + (600A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 d' \cdot A_s' = 0 \quad (3.26)$$

tegangan tulangan baja desak (f_s') dicari dengan rumus:

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} (600) \quad (3.27)$$

tinggi blok tegangan desak (a) dihitung dengan persamaan:

$$a = \beta \cdot c \quad (3.28)$$

Mengacu dari Gambar 3.4 gaya desak yang terjadi adalah:

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \quad (3.29)$$

Untuk kondisi I:

$$C_s = A_s' \cdot f_y \quad (3.30)$$

Untuk kondisi II:

$$C_s = A_s' \cdot f_s' \quad (3.31)$$

Gaya tarik dihitung dengan rumus:

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.32)$$

Keseimbangan gaya-gaya dalam adalah:

$$C_c + C_s - T_s = 0 \quad (3.33)$$

Kekuatan momen lentur nominal dapat dihitung dengan rumus:

$$M_n = C_c \left(d - \frac{1}{2} a \right) + C_s \cdot (d - d') \quad (3.34)$$

atau

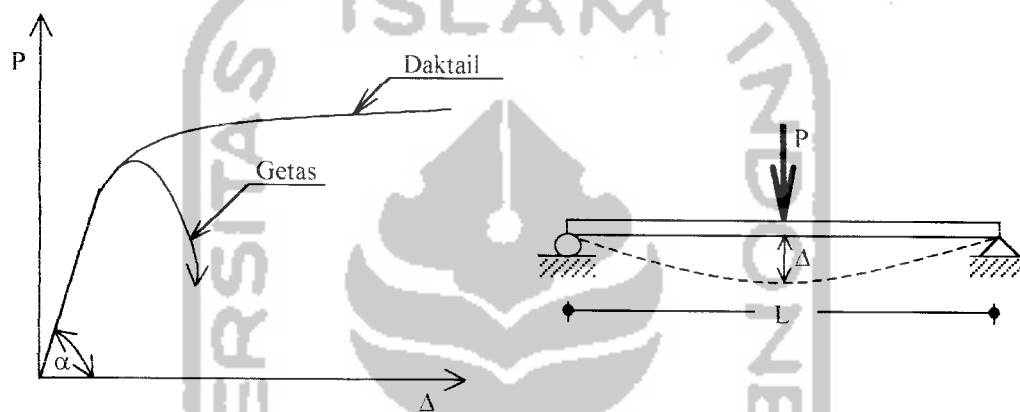
$$M_n = T_s \left(d - \frac{1}{2} a \right) + C_s \cdot \left(\frac{1}{2} a - d' \right) \quad (3.35)$$

Kekuatan momen lentur ultimit dapat dihitung dengan rumus:

$$M_u = \Phi \cdot M_n \quad (3.36)$$

3.8 Hubungan Beban dan Lendutan

Menurut **Park dan Paulay, (1975)**, jika suatu balok menerima beban (P) maka akan mengakibatkan terjadi lendutan (Δ). Struktur balok beton bertulang mengalami 2 fase yaitu fase linier dan fase plastis.



Gambar 3.5 Hubungan Beban dan Lendutan

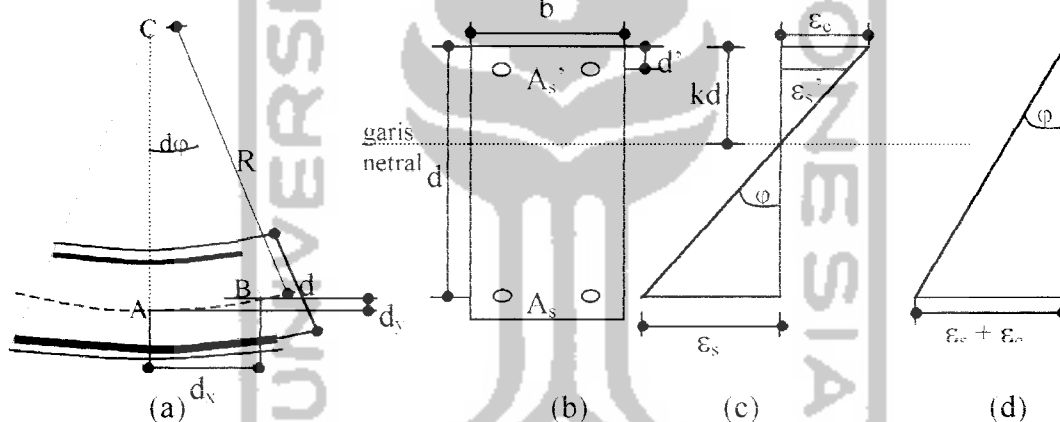
Dari Gambar 3.5 tampak bahwa semakin besar beban yang bekerja pada balok beton bertulang, lendutan yang terjadi makin besar sehingga balok akan mengalami “daktail”, dan jika beban bekerja pada balok tanpa tulangan maka struktur akan mengalami getas, sehingga kekakuan balok (k) dapat dihitung dengan rumus:

$$k = \text{tg } \alpha = \frac{P}{\Delta} \quad (3.37)$$

3.9 Hubungan Momen dan Kelengkungan

Menurut **Park dan Pauley, (1975)**, kelengkungan terjadi saat balok mengalami retak karena dibebani gaya aksial yang bekerja. Adanya retak pada beton menunjukkan terjadinya penambahan tegangan pada balok sehingga merubah jari-jari kelengkungan (R), tinggi garis netral (c), regangan beton (ϵ_c) dan regangan baja tarik (ϵ_s). Hubungan ketiga parameter tersebut dapat di dekati dengan rumus:

$$\frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} \quad (3.38)$$



Gambar 3.6 Kelengkungan Balok Beton Bertulang

Untuk mencari kelengkungan (ϕ) dapat dilakukan dengan memasang alat “strain gauge” pada daerah regangan beton dan regangan baja. Mengacu dari Gambar 3.6 (c), dengan menggeser daerah regangan baja (ϵ_s) ke kanan sejauh ϵ_c dengan tinggi (d) konstan, maka sesuai dengan Gambar 3.6 (d) kelengkungan (ϕ) dapat dihitung dengan rumus:

$$\phi = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d} \quad (3.39)$$

Pengujian kuat lentur dengan “strain gauge” sangat praktis, tetapi dari segi ekonomis biayanya sangat mahal sehingga untuk mencari kelengkungan digunakan cara lain yaitu dengan menggunakan metode numeris “central difference”.

Mengacu dari Gambar 3.6 (a) ordinat garis elastis (AB) dapat didekati dengan persamaan:

$$AB = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} = d_x \sqrt{1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2} = R \cdot d\varphi \quad (3.40)$$

Dari Persamaan (3.40) jari-jari kelengkungan dapat dihitung dengan rumus:

$$R = \frac{AB}{d\varphi} = \frac{AB}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{d\varphi} \quad (3.41)$$

dengan ketentuan bahwa:

$$\frac{d\varphi}{d\varphi} = \sec^2 \varphi = 1 + \operatorname{tg}^2 \varphi = 1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2 \quad (3.42)$$

Jika Persamaan (3.42) disubstitusikan ke Persamaan (3.41) maka:

$$R = \frac{d_x \sqrt{1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2}}{d\varphi} \left\{ 1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2 \right\} \quad (3.43)$$

Persamaan (3.43) dapat ditulis menjadi:

$$\frac{1}{R} = \frac{d\varphi}{d_x} \left\{ 1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2 \right\}^{-3/2} \quad (3.44)$$

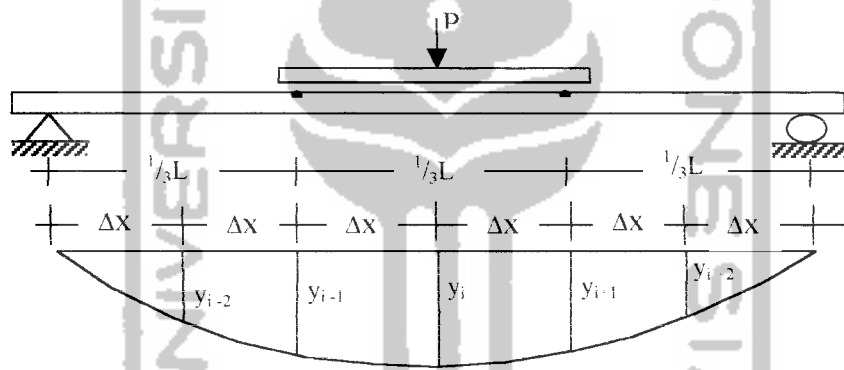
Persamaan (3.44) disederhanakan sehingga diperoleh:

$$\frac{1}{R} = \frac{d_y^2}{d_x^2} \left\{ 1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2 \right\}^{-3/2} \quad (3.45)$$

mengingat bahwa $\sqrt{1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2} = R \cdot \frac{d\varphi}{d_x}$ dan karena ordinat-ordinat garis elastis sangat kecil, dianggap $\frac{d_y}{d_x} \approx 0$ sehingga kelengkungan (φ) merupakan $\frac{1}{R}$ maka:

$$\varphi = \frac{1}{R} = \frac{d^2_y}{d_x^2} \quad (3.46)$$

Metode numeris “central difference” adalah suatu cara pendekatan untuk mendapatkan besarnya lendutan balok akibat pembebanan statis yang diperoleh dengan mengukur lendutan 3 titik secara berurutan pada jarak $1/3$ bentang (L) seperti tampak pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Lendutan balok

Mengacu dari Gambar 3.7, hubungan antara mode “displacement” (y) dengan panjang elemen (Δ_x) dapat didekati dengan rumus:

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta_x} \quad (3.47)$$

Jika persamaan (3.47) diturunkan maka didapat persamaan:

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{\frac{d_y}{d_x} \cdot (y_{i+1} - y_{i-1}) \cdot 2\Delta_x - \frac{d_y}{d_x} \cdot (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.48)$$

karena Δ_x nilainya konstan, maka $\frac{d_y}{d_x}(y_{i+1} - y_{i-1}) \approx 0$, sehingga:

$$\frac{d_y^2}{d_x^2} = \frac{d_y}{d_x} \frac{(y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}) \cdot 2\Delta_x}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.49)$$

Persamaan (3.49) dapat disederhanakan menjadi:

$$\frac{d_y^2}{d_x^2} = \frac{\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{2\Delta_x}\right) - \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{2\Delta_x}\right)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.50)$$

atau:

$$\frac{d_y^2}{d_x^2} = \frac{(y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.51)$$

Dari substitusi Persamaan (3.51) ke Persamaan (3.46) diperoleh:

$$\varphi = \frac{d_y^2}{d_x^2} = \frac{(y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.52)$$

Mengacu dari Gambar 3.7 momen (M) yang terjadi pada bentang (L) karena adanya beban (P) dapat diketahui dengan rumus:

$$M = \frac{1}{6} PL \quad (3.53)$$

Dari Persamaan (3.52) dan (3.53), faktor kekakuan untuk balok beton bertulang dapat didekati dengan persamaan:

$$EI = \frac{M}{\varphi} \quad (3.54)$$

Menurut **Park dan Pauley, (1975)**, hubungan momen dan kelengkungan dinyatakan dalam tiga bagian, yaitu:

a. momen-kelengkungan sebelum retak

Momen dan kelengkungan didekati dengan rumus:

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I}{\bar{y}} \quad (3.55)$$

$$\phi_{cr} = \frac{f_r}{E_c \cdot \bar{y}} \quad (3.56)$$

b. momen-kelengkungan setelah retak pada saat leleh pertama

Momen dan kelengkungan yang terjadi pada balok yang terjadi adalah:

$$M_y = A_s \cdot f_y \cdot j \cdot d \quad (3.57)$$

$$\phi_y = \frac{(f_y \cdot E_s)}{d(1-k)} \quad (3.58)$$

c. momen-kelengkungan saat beban ultimit

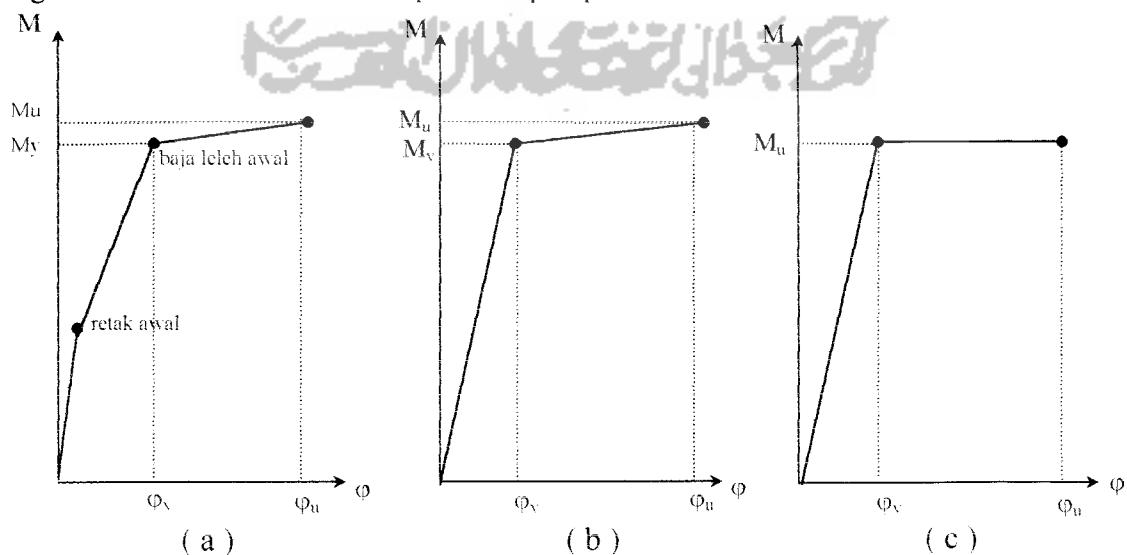
Momen dan kelengkungan di tunjukkan dalam persamaan berikut:

$$M_u = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \quad (3.59)$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_c \cdot \beta_1}{a} \quad (3.60)$$

Hubungan M- ϕ ideal pada balok beton bertulang dapat digambarkan dengan

grafik trilinear dan bilinear seperti tampak pada Gambar 3.8.



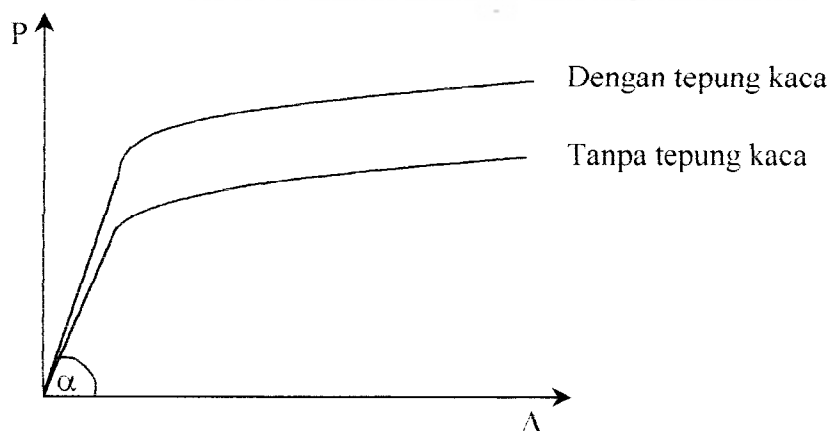
Gambar 3.8 Kurva Momen-Kelengkungan Ideal

Mengacu dari Gambar 3.8 (a), garis pertama menunjukkan retak awal, kedua adalah tegangan leleh baja dan ketiga merupakan regangan ultimit dari beton sehingga grafik ini disebut grafik trilinear. Gambar 3.8 (c) merupakan grafik bilinear yang merupakan hasil pendekatan dari Gambar 3.8 (b) karena saat hubungan $M-\phi$ terjadi dari beban 0 kN hingga baja leleh, garis pertama dan kedua hampir linier sehingga grafik hubungan $M-\phi$ digambarkan dalam bentuk bilinear.

3.10 Hipotesis

Dengan memperhatikan latar belakang, tujuan penelitian, tinjauan pustaka dan landasan teori, maka dapat dikemukakan hipotesis sebagai berikut:

- Penambahan tepung kaca dengan prosentase silika 10 % dari berat semen akan menghasilkan kuat desak dan kuat lentur balok beton maksimum.
- Penambahan tepung kaca akan meningkatkan kuat desak (f'_c) yang diikuti dengan naiknya modulus elastisitas beton (E_c), semakin besar nilai E_c , faktor kekakuan lentur komponen struktur (EI) akan makin meningkat dan semakin besar EI , kekakuan yang terjadi (k) akan naik sehingga kekuatan beton akan bertambah.



Gambar 3.9 Diagram $P - \Delta$ dari Pengujian Kuat Lentur

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Material Pembentuk Beton

4.1.1 Semen

Digunakan semen portland jenis I merk Semen Gresik kemasan 50 kg.

4.1.2 Agregat

Ada dua macam agregat yang digunakan, yaitu:

1. agregat halus, digunakan pasir yang diambil dari Kali Krasak, Sleman, Yogyakarta dengan diameter lolos saringan 4,75 mm.
2. agregat kasar, digunakan kerikil yang didatangkan dari daerah Celereng, Kulon Progo, Yogyakarta dengan ukuran butir maksimum 20 mm.

4.1.3 Air

Air diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

4.1.4 Baja Tulangan

Digunakan baja tulangan polos, $\varnothing 12$ mm sebagai tulangan baja tarik, $\varnothing 8$ mm sebagai tulangan baja desak dan $\varnothing 6$ mm sebagai tulangan sengkang.

4.1.5 Tepung Kaca

Diperoleh dari pecahan botol kaca yang dihancurkan dan digiling menjadi tepung serta lolos saringan No. 200 ASTM (“American Society for Testing Materials”).

4.2 Peralatan Pengujian

Untuk penelitian ini digunakan beberapa peralatan sebagai sarana dalam mencapai maksud dan tujuan penelitian yaitu:

4.2.1 Timbangan

Timbangan merk “Fa gani” dengan kapasitas 150 kg dan merk “O house” kapasitas 20 kg dan 5 kg digunakan untuk menimbang bahan susun campuran adukan beton ketika melakukan uji berat jenis, berat volume, agregat kerikil dan modulus halus butir pasir.

4.2.2 Mistar dan Kaliper

Mistar dari logam digunakan untuk mengukur dimensi cetakan model, sedangkan kaliper untuk mengukur diameter tulangan dan benda uji.

4.2.3 Ayakan

Ayakan digunakan untuk mengetahui gradasi pasir dan kerikil. Ukuran yang dipakai untuk memisahkan fraksi-fraksi dalam pasir adalah 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 mm sedangkan untuk kerikil adalah 20; 12,5; 9,5; 4,75 mm.

4.2.4 Mesin Pemecah Batu

Jenis mesin pemecah batu yang dipakai adalah “Roll Crusher” merk “Control”, alat ini digunakan untuk menghancurkan dan menggiling pecahan kaca menjadi tepung.

4.2.5 Mesin Penyaring

Mesin penyaring digunakan untuk menyaring tepung kaca, pada penelitian ini dipakai “Universal Material Testing Equipment” (UMTE) merk “Mektan”, dilengkapi dengan saringan No. 200 ASTM (“American Society for Testing Materials”).

4.2.6 Mesin Pengaduk Beton

Mesin pengaduk beton (“Mixer”), digunakan untuk mengaduk bahan susun beton (semen, pasir, kerikil, tepung kaca, dan air) sehingga diperoleh campuran adukan beton yang homogen.

4.2.7 Cetok dan Talam Baja

Cetok digunakan untuk memasukkan adukan beton ke dalam cetakan balok dan silinder beton. Talam baja digunakan sebagai penampung sementara adukan beton yang dikeluarkan dari mesin pengaduk.

4.2.8 Kerucut Abrahms

Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan beton, tinggi 30 cm dengan diameter atas 10 cm dan diameter bawah 20 cm dilengkapi dengan alat penumbuk besi dengan panjang 60 cm dan diameter 16 mm.

4.2.9 Mesin Uji Kuat Tarik

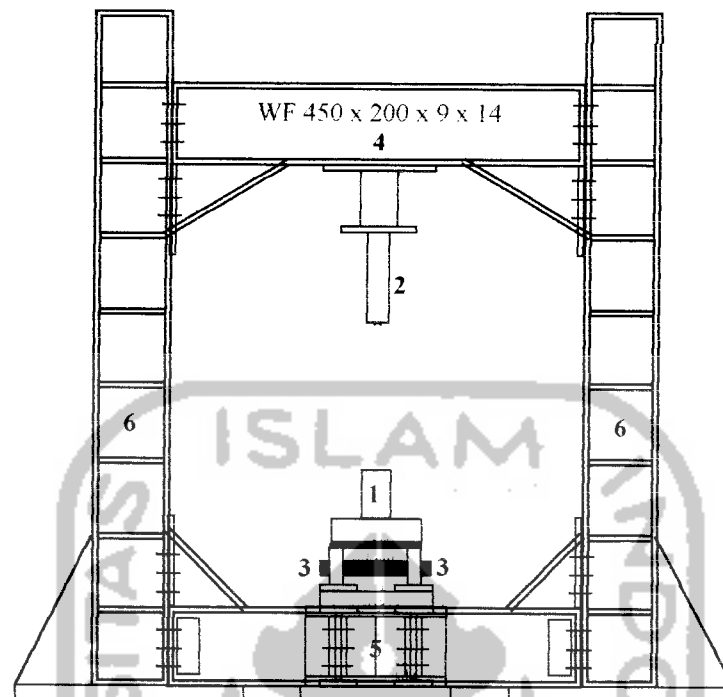
Digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan kuat leleh baja tulangan. Pada penelitian ini digunakan “Universal Testing Material” (UTM) merk “Shimadzu” tipe UMH 30, kapasitas 30 ton.

4.2.10 Mesin Uji Kuat Desak

Mesin uji kuat desak digunakan untuk mengetahui kuat desak dan kuat tarik silinder beton, di dalam penelitian ini dipakai mesin uji kuat desak merk “Control” dengan kapasitas 2000 kN.

4.2.11 “Loading Frame”

Untuk keperluan penelitian ini dibuat “Loading frame” dari bahan baja profil WF 450x200x9x14. Bentuk dasar “Loading frame” berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (“Rigid floor”) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm, agar “Loading frame” tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9x14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut. Bentuk fisik “Loading frame” dapat dilihat pada Gambar 4.1.



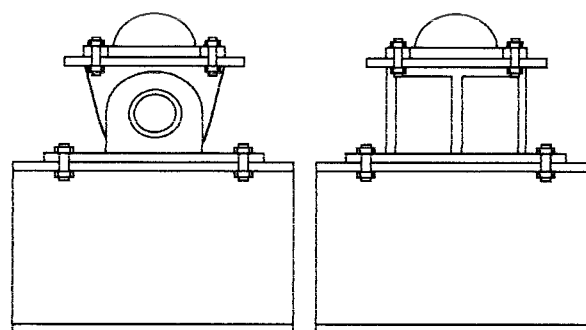
Keterangan:

- | | |
|----------------------|----------------------------------|
| 1. Model balok | 4. Balok portal (bisa digeser) |
| 2. Dongkrak Hidrolik | 5. Balok lintang |
| 3. Dukungan | 6. Kolom |

Gambar 4.1 "Loading Frame"

4.2.12 Dukungan Sendi dan Rol

Dukungan sendi (engsel) dipasang pada salah satu ujung model balok, sedangkan pada ujung yang lain dipasang dukungan rol, sehingga model balok mendekati balok sederhana atau "simple beam" seperti tampak pada Gambar 4.2



(a.) Dukungan Rol

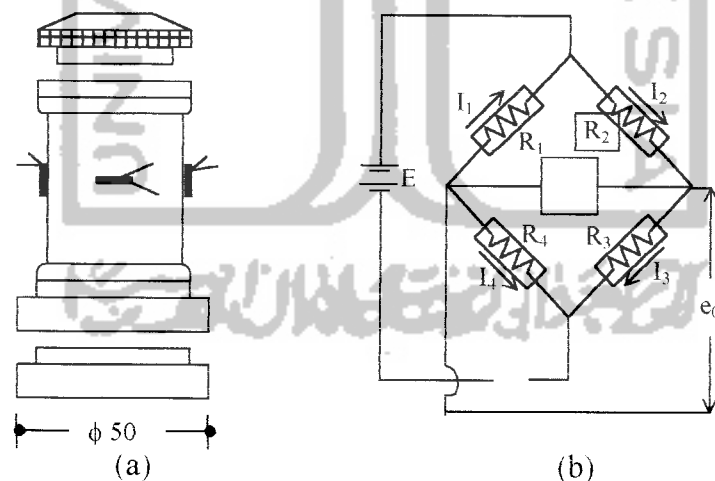
(b.) Dukungan Sendi

Gambar 4.2 Dukungan Sendi dan Rol

4.2.13 Sel Beban

Sel beban (“Load cell”) digunakan mengukur beban statis yang dibangkitkan oleh dongkrak hidrolik ke model balok. Bagian dari “Load cell” di tunjukkan oleh Gambar 4.3 (a), terdiri dari inti “Load cell”, landasan dan penutup atas. Pada inti “Load cell” direkatkan empat buah “Electrical strain gauge” aktif membentuk rangkaian jembatan “Wheatstone” dengan susunan “Full bridge” (Gambar 4.3 (b)).

Prinsip kerja “Load cell” dijelaskan dengan uraian berikut; beban yang dibangkitkan oleh dongkrak hidrolik menekan inti “Load cell” dan menimbulkan regangan. Rangkaian “Strain gauge” yang menempel pada inti “Load cell”, merespon regangan tersebut, sehingga tahanan listrik empat buah “Strain gauge” mengalami perubahan.



Gambar 4.3 (a) Bentuk “Load Cell” (b) Siskuit “Full Bridge”

Pada Gambar 4.3 (b), “Strain gauge” R_1 dan R_3 mengalami regangan desak, sebaliknya R_2 dan R_4 mengalami tarik akibat “Poisson’s effect” sebesar μ kali

regangan desak. Dengan orientasi “Strain gauge” pada gambar 4.3 (b), terukur potensial E_{bd} yang kemudian dapat dibaca oleh “Tranducer indikator”. Intensitas beban yang dibangkitkan oleh dongkrak hidrolis diukur dengan “Load cell” merk “Showa” tipe RCT 8T, kapasitas 30 ton.

4.2.14 “Tranducer Indikator”

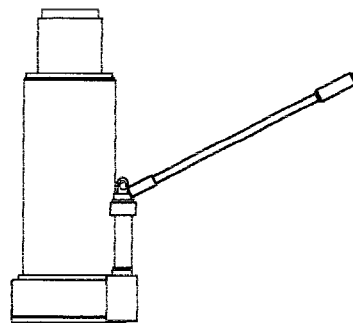
Alat ini merupakan perangkat digital yang berfungsi untuk merubah energi mekanik menjadi energi potensial (Inman,1996), seperti tampak pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 “Tranducer Indikator”

4.2.15 Dongkrak Hidrolis

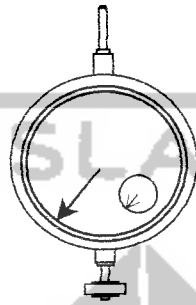
Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada benda uji dengan kapasitas maksimum 15 ton. (lihat Gambar 4.5).



Gambar 4.5 Dongkrak Hidrolis

4.2.16 “Dial Gauge”

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan tingkat ketelitian 0,01 mm (lihat Gambar 4.6).



Gambar 4.6 “Dial Gauge”

4.3 Pelaksanaan Penelitian

4.3.1 Persiapan

Pekerjaan persiapan meliputi: uji sifat-sifat teknis bahan susun beton (pasir, kerikil, dan semen), perancangan adukan beton, uji kuat desak silinder beton, uji kuat tarik baja tulangan, kalibrasi peralatan, dan “Set-up instrument” pengujian.

a) Uji pasir

Hasil uji pasir didapat berat jenis SSD 2,7891 dan modulus kehalusan butir 2,8.

b) Uji kerikil

Uji kerikil bertujuan mendapatkan berat jenis dan berat volume kerikil keadaan SSD (“saturated surface-dry”). Didapat berat jenis SSD 2,62 dan berat volume SSD 1,368 t/m³.

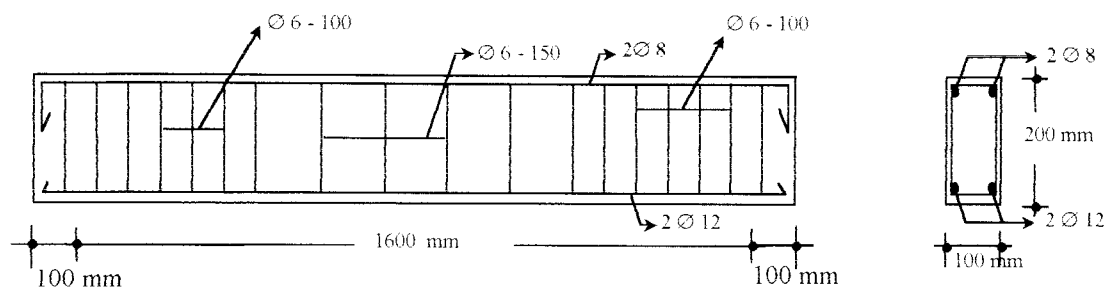
c) Perencanaan campuran adukan beton

Perencanaan campuran adukan beton menggunakan cara yang direkomendasi oleh ACI (“American Concrete Institute”), hitungan disajikan dalam lampiran 6. Untuk setiap 1 m^3 beton dengan kuat desak rencana 25 Mpa, bahan penyusun yang diperlukan yaitu semen 451 kg, pasir 853 kg, kerikil 834 kg, air 203 liter, dan tepung kaca 17 kg.

4.3.2 Pembuatan dan Perawatan Model

Dalam penelitian ini, dibuat 50 buah silinder beton dengan ukuran (150 mm x 300 mm) dan 10 buah balok beton bertulang dengan ukuran (100 mm x 200 mm x 1800 mm) dengan ketentuan untuk tiap variasi campuran dibuat 10 buah silinder beton dan 2 buah balok beton bertulang. Model balok uji dapat dilihat pada gambar 4.7. Variasi yang dipakai adalah sebagai berikut :

1. sampel (A) tanpa campuran tepung kaca (normal),
2. sampel (B) dengan campuran tepung kaca 2,5% dari berat semen,
3. sampel (C) dengan campuran tepung kaca 5% dari berat semen,
4. sampel (D) dengan campuran tepung kaca 7,5% dari berat semen, dan
5. sampel (E) dengan campuran tepung kaca 10% dari berat semen.



Gambar 4.7 Model Balok Uji

Perawatan terhadap balok uji dilaksanakan dengan menyelimuti balok dengan karung basah yang disiram setiap hari. Untuk silinder beton dilakukan dengan cara merendam di dalam bak air. Perawatan terhadap sampel tersebut dilakukan selama 28 hari. Dengan cara tersebut diharapkan hidrasi semen berlangsung dengan baik.

4.3.3 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian meliputi uji tarik baja, uji desak silinder beton, dan uji lentur yang uraian pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Kontruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian tarik baja adalah beban maksimum, beban patah, dan batas luluh awal. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari diameter baja tulangan.

2. Pengujian Kuat Desak Silinder Beton

Langkah-langkah yang ditempuh dalam pengujian kuat desak beton adalah:

- a. Setelah silinder beton direndam dalam air selama 28 hari, tinggi dan diameternya diukur, setelah itu ditimbang beratnya, kemudian diletakkan pada alas pembebanan mesin uji kuat desak beton.
- b. Mesin uji dihidupkan, pembebanan diberikan dari 0 kN hingga benda uji hancur dan besarnya beban maksimal dicatat sesuai pembacaan.

3. Pengujian Kuat Lentur Beton

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Sebelum pengujian dilakukan, sisi permukaan balok beton di cat putih dan dibuat skala dengan ukuran yang seragam, kemudian setelah kering dapat diletakkan pada tumpuan dari "Loading frame" sesuai dengan tanda yang telah diberikan. Pemasangan "Dial" dilakukan pada jarak $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, dan $\frac{2}{3}$ bentang (L) dari tumpuan.
- b. Setelah "Load cell", "Tranducer indicator", dan dongkrak hidrolik sudah terpasang, pengujian lentur dapat dimulai. Mula-mula balok beton diberi pembebanan dengan interval 100 kg melalui Dongkrak hidrolik, besarnya beban yang terjadi dicatat sesuai dengan pembacaan pada "Tranducer indicator", sedangkan lendutan dapat dibaca melalui "Dial" dan dicatat.
- c. Pada saat pengujian berlangsung, pola retak yang muncul pada permukaan sisi balok beton diperjelas dengan spidol dan diberi notasi angka yang menunjukkan nomor retak saat pembebanan.
- d. Setelah tinggi pola retak primer yang terjadi hampir mendekati tinggi penampang balok, pembebanan dihentikan dan pola retak tersebut digambar.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data primer berupa kuat desak silinder beton, dan kuat lentur balok beton bertulang dengan dan tanpa campuran tepung kaca. Data tersebut dianalisis untuk memperoleh kekakuan dari beban dan lendutan serta faktor kekakuan dari momen dan kelengkungan.

5.1.1 Hasil Uji Kandungan Silika Tepung Kaca

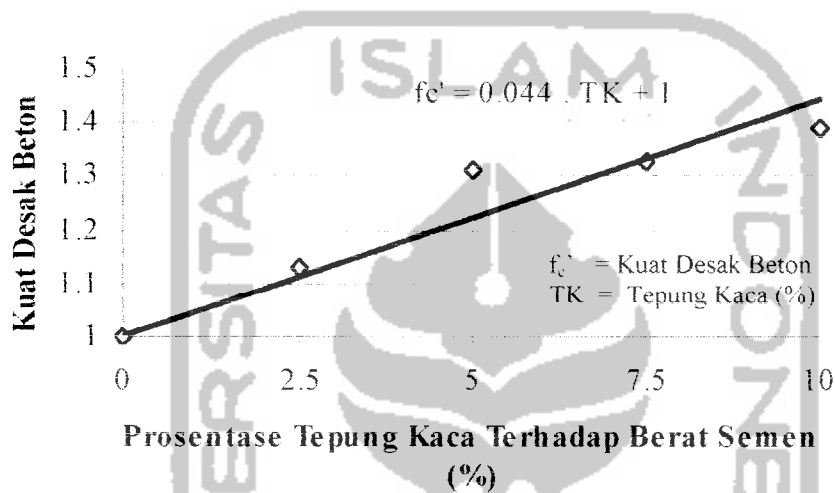
Berdasarkan hasil uji kandungan kimia, diperoleh prosentase silika sebesar 71,9%. Data kemudian dianalisis dan dicari pengaruhnya terhadap perubahan jumlah senyawa kimia semen portland jenis I seperti tampak pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil Analisis Silika Tepung Kaca

Jenis Semen	Prosentase (%)				Silika Ratio (SR)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
Jenis I	54,82	16,1	11,68	7,6	2,35
Modifikasi	41,12	24,75	10,54	6,85	2,53

5.1.2 Hasil Uji Kuat Desak Beton

Kuat desak beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah 25 Mpa. Dari hasil uji desak beton, dapat digambarkan diagram yang memberikan hubungan prosentase tepung kaca terhadap kenaikan/penurunan kuat desak beton sebagai berikut:



Gambar 5.1 Grafik Kenaikan Kuat Desak Silinder Beton

Hasil analisis dari Gambar 5.1 dapat dilihat dari Tabel 5.2 berikut:

Tabel 5.2 Hasil Uji Desak Silinder Beton

Sampel	f_{cr} (MPa)	Standar Deviasi	f_c' (MPa)	f_c' (%)	f_c'
					f_c' Normal
Normal	33,54	2,09	30,11	100,0	1,0
Variasi 2,5 %	37,83	2,28	34,09	113,2	1,132
Variasi 5 %	42,64	1,86	39,59	131,5	1,315
Variasi 7,5 %	44,62	2,81	40,02	132,9	1,329
Variasi 10 %	48,50	4,09	41,80	138,8	1,388

5.1.3 Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan

Untuk mengetahui kualitas baja tulangan yang terpasang dalam model balok, dilakukan uji tarik baja tulangan, hasil uji tarik baja di tunjukkan pada Tabel 5.3 berikut:

Tabel 5.3 Hasil Uji Tarik Baja

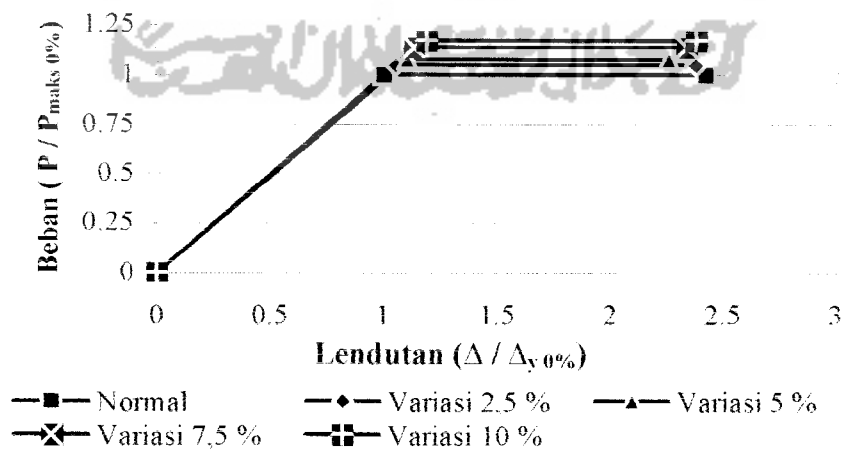
Diameter (mm)	Kuat Leleh (MPa)	Kuat Tarik (Mpa)
6	253	264
8	306	308
12	385	430

5.1.4 Hasil Uji Lentur Balok Beton Bertulang

Hasil pengujian balok beton bertulang dengan dan tanpa campuran tepung kaca pada penelitian ini di jabarkan sebagai berikut:

1. Hubungan beban dan lendutan

Gambar 5.2 menunjukkan diagram yang memberikan gambaran hubungan antara beban dan lendutan.



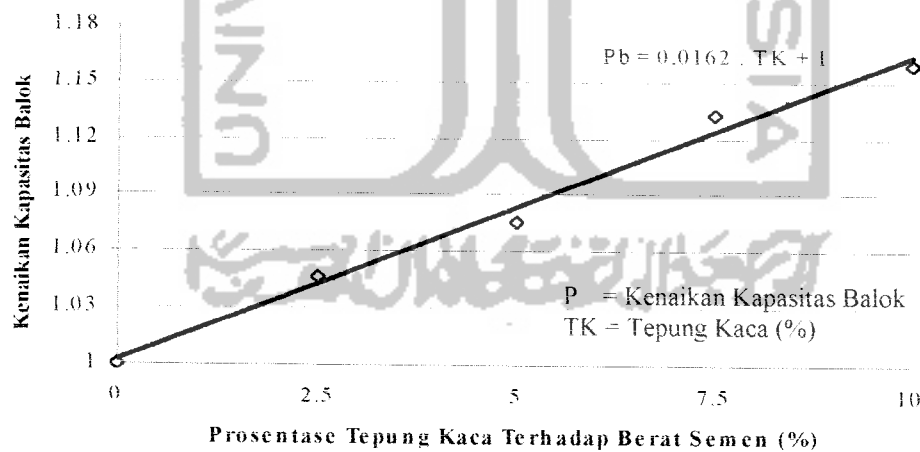
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan

Hasil analisis hubungan beban dan lendutan dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut:

Tabel 5.4 Hasil Analisis Hubungan Beban dan Lendutan

Var.	P (%)	Kap. (%)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	k (kN/mm)	k (%)	$\frac{P}{P_{maksimum}}$	$\frac{\Delta_y}{\Delta_y(0\%)}$	$\frac{\Delta_u}{\Delta_u(0\%)}$
0	32,5	100,00	6.81	16.49	2,35	100,00	1	1	2,42
2,5	34,0	104,62	7.17	16.2	2.52	106,48	1,05	1,05	2,38
5	35,0	107,56	7.51	15.4	2.57	114,78	1,08	1,10	2,26
7,5	37,0	113,27	7.72	15.93	2.61	116,97	1,14	1,13	2,34
10	38,0	115,97	8.1	16.2	2.65	117,96	1,17	1,19	2,38

Dari hasil analisis beban dan lendutan dapat digambarkan grafik kenaikan kapasitas balok beton bertulang seperti tampak pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafik Kenaikan Kapasitas Balok

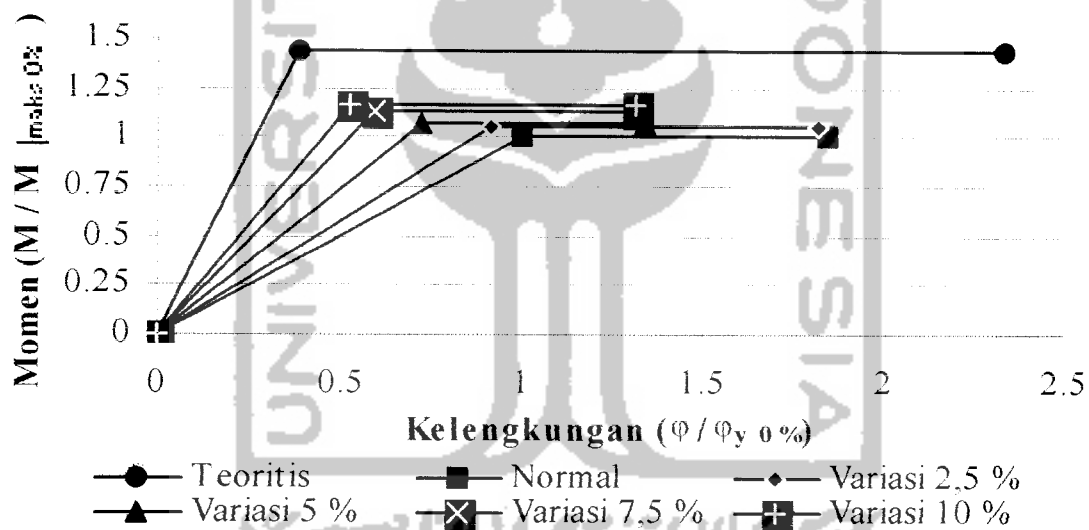
2. Hubungan Momen dan Kelengkungan

Hasil perhitungan momen dan kelengkungan secara teoritis di sajikan pada Tabel 5.5 berikut:

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Momen-Kelengkungan Teoritis

M_y (kNmm)	M_u (kNmm)	$M_{u 0\%}$ (kNmm)	φ_y (rad/mm)	φ_u (rad/mm)	$\varphi_{y 0\%}$ (rad/mm)	M_u $M_{u 0\%}$	φ_y $\varphi_{y 0\%}$	φ_u $\varphi_{y 0\%}$
12054	12500	8667	$1,22 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	1,44	0,38	2,34

Sesuai dengan hasil perhitungan momen kelengkungan secara teoritis, maka dapat digambarkan gabungan grafik bilinear momen kelengkungan dari setiap variasi balok beton bertulang seperti di tunjukkan pada Gambar 5.4.

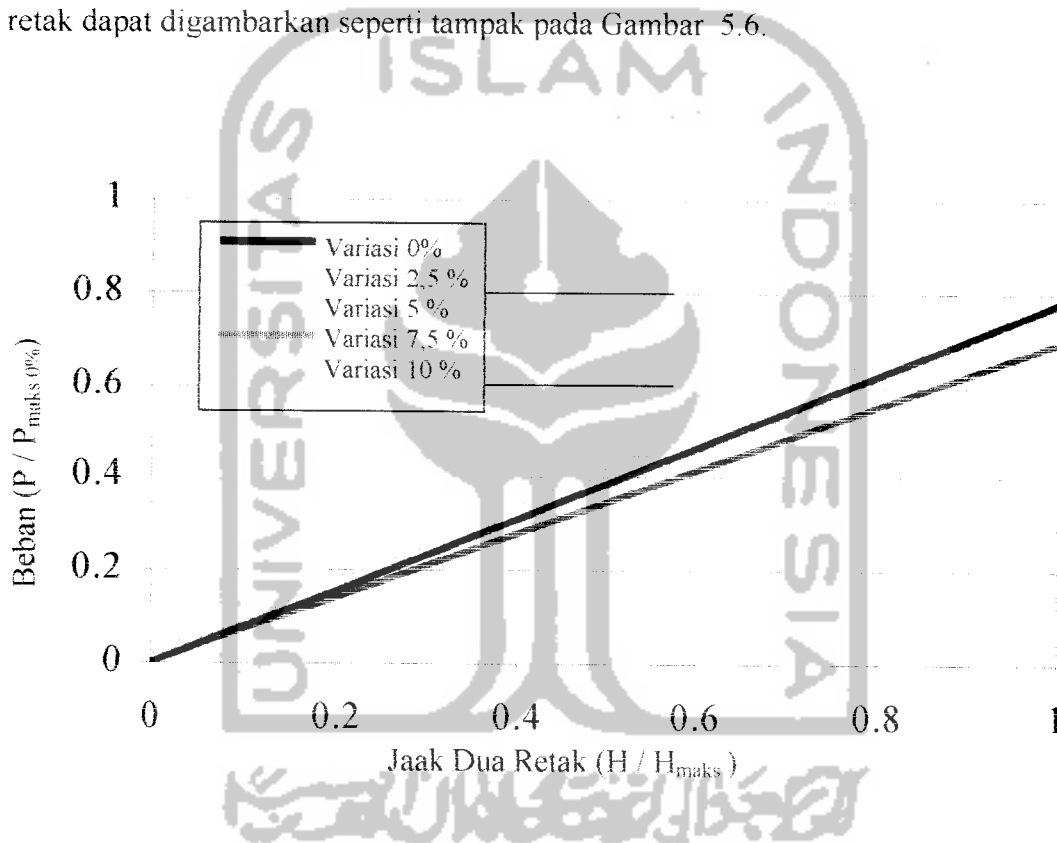


Gambar 5. 4 Grafik Bilinier Momen dan Kelengkungan

Dari hasil analisis momen dan kelengkungan didapatkan faktor kekakuan yang di sajikan pada Tabel 5.6 berikut:

3. Hubungan Beban dan Jarak Dua Retak

Dari gambar pola retak untuk balok beton bertulang dengan dan tanpa campuran tepung kaca dapat diketahui hubungan beban dan jarak dua retak. Jarak dua retak dari pola yang sama untuk masing-masing balok diukur dan dibandingkan dengan beban yang bekerja. Hasil hubungan antara beban dan jarak retak dapat digambarkan seperti tampak pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik Hubungan Beban dan Jarak Dua Retak

5.2 Pembahasan

5.2.1 Kandungan Silika Tepung Kaca

Dari data prosentase silika tepung kaca dapat dihitung perubahan jumlah senyawa kimia semen portland. Dengan membandingkan kandungan senyawa

kimia untuk semen portland jenis I dan semen dengan penambahan tepung kaca dapat diketahui adanya kenaikan/penurunan jumlah senyawa kimia semen. Hasil dari perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan data pada Tabel 2.2 dan ternyata penambahan tepung kaca 10% dari berat semen mengubah sifat semen portland dari jenis I menjadi jenis II.

5.2.2 Kuat Desak Beton

Dari beban (P) dan luas penampang (A) silinder beton, kuat desak yang terjadi dapat diketahui. Dengan membandingkan kuat desak silinder beton untuk variasi normal dengan variasi campuran akan didapatkan besarnya prosentase kenaikan/penurunan kuat desak sebagai berikut:

- a. silinder beton dengan variasi campuran tepung kaca 2,5 % dari berat semen mengalami kenaikan kuat desak sebesar 3,981 MPa atau naik 13,2 % ,
- b. silinder beton dengan variasi campuran tepung kaca 5 % dari berat semen mengalami kenaikan kuat desak sebesar 9,481 MPa atau naik 31,5 % ,
- c. silinder beton dengan variasi campuran tepung kaca 7,5 % dari berat semen mengalami kenaikan kuat desak sebesar 9,906 MPa atau naik 32,9 % , dan
- d. silinder beton dengan variasi campuran tepung kaca 10 % dari berat semen mengalami kenaikan kuat desak sebesar 11,69 MPa atau naik 38,8 % .

5.2.3 Kuat Tarik Baja

Dari uji tarik terhadap tulangan baja yang digunakan yaitu D_6 untuk tulangan sengkang, D_8 untuk tulangan baja desak, dan D_{12} untuk tulangan baja tarik dapat diketahui besarnya gaya (P) saat baja mengalami leleh. Tegangan leleh dihitung dengan cara membagi gaya (P) dengan luas penampang baja yang diuji.

5.2.4 Kuat Lentur Ditinjau dari Hubungan Beban dan Lendutan

Dari Tabel 5.4 dapat diamati dan dianalisis pengaruh tepung kaca terhadap kuat lentur balok dalam menahan beban, serta perilaku lendutan yang terjadi pada benda uji. Dari penelitian didapatkan hubungan beban (P) dan lendutan (Δ), dalam hal ini nilai kekakuan didapat dari $tg \alpha = P/\Delta$. Perbedaan perilaku kekakuan pada balok dengan dan tanpa variasi campuran secara umum tidak berbeda jauh.

Dengan membandingkan grafik beban dan lendutan balok variasi normal dengan campuran dapat diketahui besarnya nilai kekakuan. Grafik beban dan lendutan dianggap mempunyai kekakuan 100 %, sedangkan pada balok dengan variasi campuran kekakuan harus dibandingkan dengan grafik beban dan lendutan balok variasi normal. Dengan demikian diperoleh angka kenaikan/penurunan kuat sisa dan nilai kekakuan sebagai berikut:

- a. balok dengan variasi campuran tepung kaca 2,5 % dari berat semen mengalami kenaikan kapasitas sebesar 4,62 % atau mempunyai kapasitas sebesar 104,62 % dan kenaikan kekakuan sebesar 6,48 %,
- b. balok dengan variasi campuran tepung kaca 5 % dari berat semen mengalami kenaikan kapasitas sebesar 7,56 % atau mempunyai kapasitas sebesar 107,56 % dan kenaikan kekakuan sebesar 14,78 %,
- c. balok dengan variasi campuran tepung kaca 7,5 % dari berat semen mengalami kenaikan kapasitas sebesar 13,27 % atau mempunyai kapasitas 113,27 % dan kenaikan kekakuan sebesar 16,97 %, dan
- d. balok dengan variasi campuran tepung kaca 10 % dari berat semen mengalami kenaikan kuat sisa sebesar 15,97 % dengan atau mempunyai kapasitas sebesar 115,97 % dan kenaikan kekakuan sebesar 17,96 %.

5.2.5 Kuat Lentur Ditinjau dari Hubungan Momen dan Kelengkungan

Pada Gambar 5.4 terlihat grafik momen-kelengkungan teoritis lebih tinggi dari grafik hasil penelitian variasi normal, karena kuat tarik beton diperhitungkan dalam perhitungan secara teoritis.

Hubungan momen dan kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan. Dalam hal ini didapat dari M/ϕ , faktor kekakuan pada balok dengan variasi campuran secara umum berbeda. Gambar 5.4 menunjukkan grafik M/ϕ yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium.

Dengan membandingkan grafik momen kelengkungan balok variasi normal dengan campuran, dapat diketahui besarnya faktor kekakuan (%) seperti di sajikan dalam Tabel 5.6. Grafik momen-kelengkungan balok variasi normal dianggap mempunyai faktor kekakuan 100%, sedangkan untuk variasi campuran faktor kekakuan harus dibandingkan dengan grafik momen-kelengkungan balok variasi normal.

Dari Tabel 5.6 dapat dilihat terjadinya kenaikan momen dan faktor kekakuan untuk perhitungan secara teoritis dan dengan variasi campuran jika dibandingkan dengan balok beton normal. Hasil analisis dapat di jabarkan sebagai berikut:

- a. untuk perhitungan secara teoritis kenaikan momen 44,23 % dan kenaikan faktor kekakuan sebesar 73,62 %,
- b. balok dengan variasi campuran tepung kaca 2,5 % dari berat semen terjadi kenaikan momen sebesar 4,62 % dan kenaikan faktor kekakuan sebesar 14,68%,

- c. balok dengan variasi campuran tepung kaca 5 % dari berat semen terjadi kenaikan momen sebesar 12,31 % dan kenaikan faktor kekakuan sebesar 48,81%,
- d. balok dengan variasi campuran tepung kaca 7,5 % dari berat semen terjadi kenaikan momen sebesar 26,15 % dan kenaikan faktor kekakuan sebesar 91,56 %, dan
- e. balok dengan variasi campuran tepung kaca 10 % dari berat semen terjadi kenaikan momen sebesar 43,07 % dan kenaikan faktor kekakuan sebesar 122,15 %.

5.2.6 Kuat Lentur ditinjau dari Hubungan Beban dan Jarak Dua Retak

Dengan mengamati gambar pola retak yang terjadi pada balok beton bertulang baik dengan maupun tanpa campuran tepung kaca dapat diketahui data jarak dua retak (h), tinggi balok (H), gaya maksimum (P_{maks}), dan gaya yang bekerja (P). Hubungan antara $\frac{P}{P_{maks}}$ dan $\frac{h}{H_{maks}}$ dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti tampak pada Gambar 5.6. Jika dibandingkan dengan balok normal, jarak dua retak untuk balok variasi campuran semakin jauh.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai perilaku silinder dan balok beton bertulang dengan penambahan tepung kaca yang telah diuraikan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. penambahan tepung kaca dengan prosentase 10 % dari berat semen pada adukan beton mampu meningkatkan kuat desak silinder beton sebesar 38,8% dan meningkatkan kekakuan balok beton bertulang sebesar 17,96%.
2. Penambahan tepung kaca dengan prosentase 10 % dari berat semen mampu mereduksi jumlah kebutuhan semen sebesar $\pm 10\%$ dan meningkatkan mutu semen portland dari jenis I menjadi jenis II, dan
3. penambahan tepung kaca dengan prosentase 10 % dari berat semen pada adukan beton mampu menghasilkan beton mutu tinggi.

6.2 Saran

Untuk memperoleh pengetahuan lebih mendalam mengenai beton dengan penambahan tepung kaca perlu diadakan penelitian lebih lanjut, dan beberapa saran yang dapat diberikan di antaranya yaitu:

1. untuk penelitian di masa mendatang, perlu dilakukan penambahan variasi yaitu jenis dan warna kaca sedangkan nilai prosentase tepung kaca terhadap berat semen harus ditingkatkan ($>10\%$), karena pada penelitian ini kenaikan kuat desak beton terhadap prosentase tepung kaca masih bersifat linier,
2. perlu dicermati adanya kandungan kimia lain dari tepung kaca yang mampu meningkatkan kuat desak beton yakni kapur, CaO (10,63%) dan alumina, Al_2O_3 (1,86%),
3. perlu dicermati adanya kandungan alkali dalam tepung kaca yang dapat merusak beton yaitu soda, Na_2O (13,46%) dan potas, K_2O (0,54%),
4. untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih valid jumlah sampel balok untuk tiap variasi perlu ditambah menjadi 3 atau lebih, dan
5. pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pengamatan dalam membaca “Dial” dan munculnya retak awal sehingga didapat data yang lebih valid.

DAFTAR PUSTAKA

- , 1971, **PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA**, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- , 1991, **TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK BANGUNAN GEDUNG**, Standar SK-SNI T-15-1991-03, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Istimawan D., 1994, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Kardiyono T., 1992, **TEKNOLOGI BETON**, Pusat Antar Universitas (PAU), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kusnadi, 1985, **TEKNOLOGI BETON**, Buku 1, Departemen Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Mindess, S. and Young, J.F., 1981, **CONCRETE**, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Murdock, L.J., dan Brook, K.M., 1986, **BAHAN DAN PRAKTEK BETON**, alih bahasa Hendarko, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E.G., 1985, **BETON BERTULANG (SUATU PENDEKATAN DASAR)**, alih bahasa Suryoatmono, B., Eresco, Bandung.
- Neville, A.M., 1973, **PROPERTIES OF CONCRETE (3rd.ed)**, Great British and Pitman Press, London.
- Park, R. and Paulay, T., 1975, **REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**, A Wiley-Interscience Publication, London.
- Popovic, S., 1998, **STRENGTH AND RELATIF PROPORTION OF CONCRETE**, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Sagel, R., Kole, P., dan Gideon K., 1993, **PEDOMAN Pengerjaan Beton**, Seri Beton 2, Erlangga, Jakarta.
- Shah, S.P., Swartz, S.E., dan Ouyang, C., 1995, **FRACTURE MECHANICS OF CONCRETE**, John Wiley & Son, Inc., New York
- Tata S., dan Saito, S., 1995, **PENGETAHUAN BAHAN TEKNIK**, Pradnya Paramitha, Jakarta.

LAMPIRAN



110ppm 10e
TA 30e



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1	BOBBY ENTROHADI	91 310 239		ISS
2	ARY AWAN WIDODO	91 310 209		ISS

JUDUL TUGAS AKHIR: PENGARUH TEPUNG KACA TERHADAP KEKAWIHAN DAN KUAT LENTUR BALOK BETON.

Dosen Pembimbing I :

Dosen Pembimbing II :

1

IR. HENDI SUDARMAH, MS

IR. FATKHURROHMAN, MS



Yogyakarta,
Dekan,

Ketua Jurusan Teknik Sipil.

IR. H. ALI UDDIN BAKAR, MS



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi

JUDUL TUGAS AKHIR :

Dosen Pembimbing I :

Dosen Pembimbing II :

1

2

Yogyakarta,
Dekan,

3 x 4

3 x 4



DEPARTEMEN KESEHATAN R.I.
DIREKTORAT JENDERAL PEMBERANTASAN PENYAKIT MENULAR DAN
PENYEHATAN LINGKUNGAN PEMUKIMAN
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN

JALAN POLOWIJAN NO. 11, TELP. (0274) 376288, FAX. 384637, YOGYAKARTA 55133

PEMERIKSAAN PARAMETER FISIKA DAN KIMIA


Jenis sampel : Serbuk
 Asal sampel : -
 Dikirim oleh : Sdr. Bobby Satriohadi, Mhs. Teknik Sipil UII, No. Mhs. 94310229
 Dambil oleh : Sdr. Bobby Satriohadi, Mhs. Teknik Sipil UII, No. Mhs. 94310229
 Tgl. Pengambilan/penerimaan : - / 7-2-2001
 No. lab. : 800 F
 800 F : Contoh serbuk kaca.


No.	Parameter	Satuan	Hasil analisa
			800 F
1.	Silika	%	71,93
2.	Na	%	0,311
3.	Cl	%	0,122
4.	NaO	%	0,5272

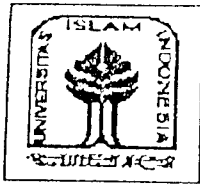
Yogyakarta, 7 Maret 2001

Mengetahui :
 Kepala Balai Teknik Kesehatan
 Lingkungan Yogyakarta

Koordinator Lab. Kimia Fisika
 Zat Padat dan Cair


 Drs. Maryadi Broto Suwandi MS
 NIP. 140093408


 Ir. Sigit Hernowo
 NIP. 140129859



DATA PEMERIKSAAN
 GRADASI AGREGAT HALUS

Jenis Benda Uji : Pasir
 Nama Benda uji :
 Asal : Krasak
 Keperluan :

Diperiksa oleh :

1) Aryan W
 2) Bobby S

Tanggal : 1 Nopember 2000

ALAT - ALAT :

1. Timbangan kapaitas 20 kg
2. Mesin penggetar / mesin ayak
3. Saringan 1 (satu) set (40, 20, 10, 4.80, 2.40, 1.20, 0.60, 0.30, 0.15, pan) mm
4. Sikat baja (Kasar / halus)
5. Kuas , Lap kaos
6. Piring, serok . dll

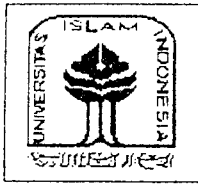
LUBANG AYAKAN (mm)	BERAT TERTINGGAL (gram)		BERAT TERTINGGAL (%)		BERAT TERTINGGAL KUMULATIF	
	I	II	I	II	I	II
PERCOBAAN KE :						
40						
20						
10						
4.80	4,3	3,2	0,22	2,1568	0,22	.....
2.40	123,2	193,2	6,277	9,466	6,406	.....
1.20	375,6	370,6	19,157	18,1507	25,633	.....
0.60	603,0	740,2	35,35	36,2732	60,982	.....
0.30	433,2	450,9	22,072	22,0932	83,054	.....
0.15	302,3	232,4	15,402	11,3871	98,456	.....
SISA	30,3	50,3	1,544	2,4646	---	---
Jumlah	1962,7	2040,9	100	100	274,8408	285,3006
Jumlah rata-rata	2001,8		100		280,07069	

Modulus Halus Butir (MHB) $\frac{280,07069}{100} = 2,8007069 \approx 2,8$

100

Yogyakarta,

LABORATORIUM
 BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Sleman Yogyakarta

DATA PEMERIKSAAN
BERAT VOLUME AGREGAT KASAR

Jenis Benda Uji : Kerikil Diperiksa oleh :
 Nama Benda uji : _____ 1) Arswan, W
 Asal : Clingg, Kota Pare 2) _____
 Keperluan : _____ Tanggal : 14 Agustus 2020

ALAT – ALAT

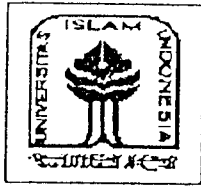
1. Timbangan Kapasitas minimal 20 Kg
2. Cetakan silinder ($\varnothing 15 \times t 30$) cm
3. Tongkat penumbuk $\varnothing 16$ mm panjang 60 cm
4. Serok /cetok
5. Dan lain-lain

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat cetakan silinder (W1)	... 6,735 Kg	... 6,50 Kg
Berat cetakan silinder + Agregat (W2)	... 14,1 Kg	... 13,5 Kg
Volume silinder (V) $\frac{1}{4} \pi d^2 t$	... 0,00053 M ³	... 0,00053 M ³
Berat Volume Agregat $\frac{W2 - W1}{V}$	... 1,3600	... 1,3600
Berat Volume Agregat Rata - rata	... 1,3600 m ³	... 1,3600 m ³

Yogyakarta, _____

LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

Arswan



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Sleman Yogyakarta

DATA PEMERIKSAAN
BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Jenis Benda Uji : Pasir
 Nama Benda uji :
 Asal : Krasak
 Keperluan :
 Diperiksa oleh :
 1) Arxawan.W
 2) Bobby.S
 Tanggal : 30 Oktober 2000

ALAT – ALAT

1. Gelas ukur kapasitas 1000 cc
2. Timbangan ketelitian 0,01 gram
3. Piring sekop kecil

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat Agregat (W)	...400... Gram	...400... Gram
Gelas ukur + Air (V1)	...400... Cc	...400... Cc
Gelas ukur + Air + Agregat (V2)	...540... Cc	...547... Cc
BERAT JENIS (BJ) $\frac{W}{V2 - v1}$	...	...
BERAT JENIS (BJ) RATA-RATA	...	...

LABORATORIUM Yogyakarta,
 BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 FAKULTAS TEKNIK UIN



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jln. Kaliurang Km. 14,4 telp. (0274) 895707, 895042 Sleman Yogyakarta

**DATA PEMERIKSAAN
BERAT JENIS AGREGAT HALUS
KASAR**

Jenis Benda Uji : Pasir Keras
 Nama Benda uji :
 Asal : Krasak Malang, MT. Widyadarmas
 Keperluan :
 Diperiksa oleh :
 1) Arsyawan, W
 2) Bobby, S
 Tanggal : 20 Oktober 2000

ALAT - ALAT

1. Gelas ukur kapasitas 1000 cc
2. Timbangan ketelitian 0,01 gram
3. Piring, sekop kecil

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat Agregat (W)	..400.. Gram	..400.. Gram
Gelas ukur + Air (V1)	..400.. Cc	..400.. Cc
Gelas ukur + Air + Agregat (V2)	..550.. Cc	..555 Cc
BERAT JENIS (BJ)	2,667	2,58
$\frac{W}{V2 - v1}$	..2,7891	..2,7211
BERAT JENIS (BJ) RATA-RATA	2,7891	2,6235

LABORATORIUM
 BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 Universitas Islam Indonesia
 Sleman Yogyakarta



LABORATORIUM STRUKTUR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Sleman Yogyakarta

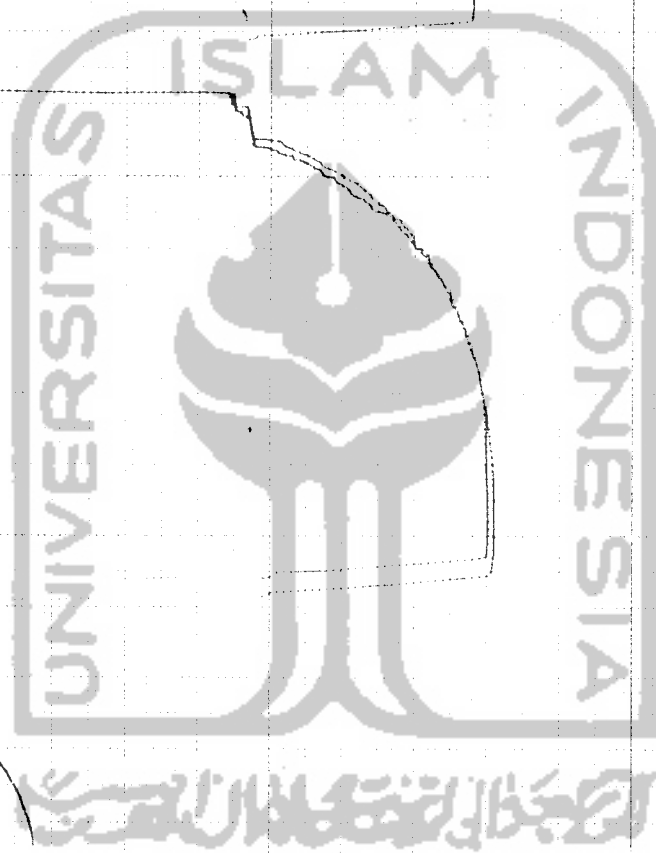
Data Hasil Kuat Tarik Baja

Baja	Diameter (mm)	P. leleh (kgf)	P. tarik (kgf)	tegangan leleh (kg/cm ²)	tegangan tarik (kg/cm ²)	regangan tarik (%)	regangan leleh (%)
6	5.10	550	520	260	264	1.54	1.54
	5.10	530	500	265	245	1.45	1.45
	5.10	540	530	261	256	1.56	1.56
8	7.10	1520	1700	332	339	1.79	1.79
	7.10	1530	1710	336	342	1.82	1.82
	7.10	1520	1700	332	339	1.79	1.79
12	11.10	2990	2950	505	508	1.98	1.98
	11.10	2960	2900	493	489	1.93	1.93
	11.10	2925	2910	487	483	1.93	1.93

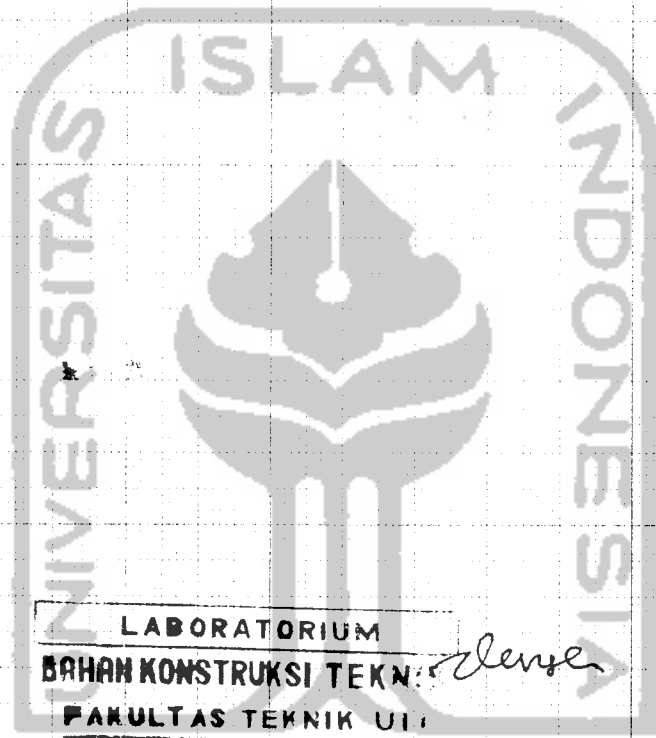
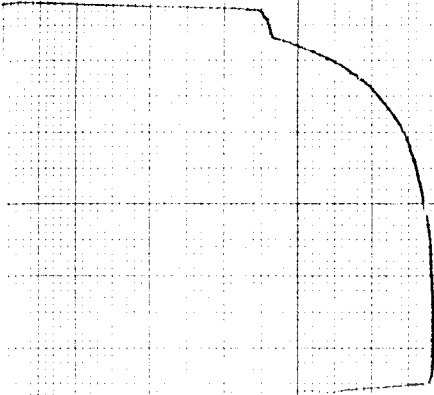
Supada Budiana (1511101101)

an *[Signature]*

LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII



LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK *Dense*
FAKULTAS TEKNIK UII





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Phone : 895330 Yogyakarta 68554

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Lampiran 7

NO. / /

VARIASI : NORMAL

Jumlah : 10 buah

Keperluan : Di terima tanggal

No.	Ukuran (cm)	Luas (cm ²)	berat (kg)	Dibuat tanggal	Diuji tanggal	Berat satuan Ton/m ³	Beban max (KN)	Kuat desak (kg/cm ²)	Ket
A1-1	15,08 x 30,5	178,676 177,022	12,519	20 NOV'00	18 DES'00	2,297 · 10 ⁴	590	33,69	
A1-2	15,01 x 30,12	175,609	12,499	20 NOV'00	18 DES'00	2,344 · 10 ⁴	590	33,99	
A1-3	14,95 x 30,05	176,079	12,614	20 NOV'00	18 DES'00	2,394 · 10 ⁴	540	31,37	
A1-4	14,92 x 30,11	177,022	12,462	20 NOV'00	18 DES'00	2,351 · 10 ⁴	565	32,73	
A1-5	15,01 x 30,01	176,786	12,391	20 NOV'00	18 DES'00	2,333 · 10 ⁴	570	32,85	
A2-1	15,0 x 30,07	172,103	12,443	20 NOV'00	18 DES'00	2,341 · 10 ⁴	580	33,47	
A2-2	14,8 x 29,89	177,494	12,212	20 NOV'00	18 DES'00	2,374 · 10 ⁴	530	31,42	
A2-3	15,03 x 30,08	179,151	12,482	20 NOV'00	18 DES'00	2,338 · 10 ⁴	555	31,90	
A2-4	15,10 x 30,10	177,258	12,264	20 NOV'00	18 DES'00	2,274 · 10 ⁴	665	37,87	
A2-5	15,02 x 30,06		12,523	20 NOV'00	18 DES'00	2,350 · 10 ⁴	630	36,26	

Keterangan :

Perkiraan rata-rata kuat desak umur 28 hari menurut PBI 1971 =

= kg/cm²

Yogyakarta,

Kepala Bagian Lab. BKT.FT. UII

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 FAKULTAS TEKNIK UII



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Phone : 895330 Yogyakarta 68554

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Lampiran 7

Variasi : $2 \frac{1}{2}$ % dari berat semen

jumlah : 10 buah

Keperluan : Di terima tanggal

No.	Ukuran (cm) d x t	Luas (cm ²)	berat (kg)	Dibuat tanggal	Diuji tanggal	Berat satuan Ton/m ³	Beban max (KN)	Kuat desak (kg/cm ²)	Ket
B1-1	15,03 x 30,05	177,994	12,450	21 NOV'00	19 DES'00	2,334 . 10 ⁻⁴	670	38,51	
B1-2	15,02 x 30,08	177,258	12,420	21 NOV'00	19 DES'00	2,329 . 10 ⁻⁴	620	35,63	
B1-3	15,01 x 30,09	177,022	12,515	21 NOV'00	19 DES'00	2,368 . 10 ⁻⁴	710	40,92	
B1-4	15,07 x 29,91	178,440	12,515	21 NOV'00	19 DES'00	2,345 . 10 ⁻⁴	700	40,02	
B1-5	15,08 x 30,06	178,677	12,510	21 NOV'00	19 DES'00	2,329 . 10 ⁻⁴	655	37,40	
B2-1	14,92 x 30,07	174,905	12,530	21 NOV'00	19 DES'00	2,382 . 10 ⁻⁴	625	36,45	
B2-2	14,93 x 30,08	175,139	12,195	21 NOV'00	19 DES'00	2,315 . 10 ⁻⁴	605		
B2-3	15,08 x 30,08	178,677	12,470	21 NOV'00	19 DES'00	2,320 . 10 ⁻⁴	625	35,68	
B2-4	14,96 x 30,09	175,844	12,480	21 NOV'00	19 DES'00	2,359 . 10 ⁻⁴	715	41,48	
B2-5	14,97 x 30,09	176,079	12,530	21 NOV'00	19 DES'00	2,368 . 10 ⁻⁴	640	37,08	

Keterangan : -

- Perkiraan rata-rata kuat desak umur 28 hari menurut PBI 1971 =

= kg/cm²

Yogyakarta,

LABORATORIUM Lab. BKT.FT. UII

BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

FACULTAS TEKNIK

(.....)

7.3. % BAHAN BERAT SEMEN

10 BUAH

Di terima tanggal

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Phone : 895330 Yogyakarta 68554

HASIL KUAT DESAK SILINDER BETON

Lampiran 7

NO. / / /
 5 % dari berat semen
 Di terima tanggal : 10 buah

No.	d x t	Ukuran (cm)	Luas (cm ²)	berat (kg)	Dibuat tanggal	Diuji tanggal	Berat satuan Ton/m ³	Beban max (KN)	Kuat desak (kg/cm ²)	Ket
1	15,02 x	29,94	177,258	12,661	22 NOV '00	20 DES '00	2,386 . 10 ⁴	755	13,45	
2	15,02 x	30,02	177,258	12,738	22 NOV '00	20 DES '00	2,394 . 10 ⁴	700	40,57	
3	15,03 x	30,03	177,494	12,665	22 NOV '00	20 DES '00	2,372 . 10 ⁴	710	41,38	
4	14,92 x	29,97	174,905	12,560	22 NOV '00	20 DES '00	2,396 . 10 ⁴	785	45,78	
5	15,01 x	29,93	177,022	12,565	22 NOV '00	20 DES '00	2,372 . 10 ⁴	750	43,24	
1	15,01 x	30,06	177,022	12,611	22 NOV '00	20 DES '00	2,370 . 10 ⁴	715	44,18	
2	15,08 x	30,09	178,677	12,609	22 NOV '00	20 DES '00	2,395 . 10 ⁴	710	30,57	
3	15,03 x	30,08	177,494	12,669	22 NOV '00	20 DES '00	2,373 . 10 ⁴	730	41,96	
4	15,07 x	30,10	178,440	12,895	22 NOV '00	20 DES '00	2,401 . 10 ⁴	715	40,33	
5	15,05 x	30,07	177,966	12,874	22 NOV '00	20 DES '00	2,406 . 10 ⁴	730	44,21	

Perangan :

- Perkiraan rata-rata kuat desak umur 28 hari menurut PBI 1971 =

kg/cm²

Yogyakarta
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 FAKULTAS TEKNIK

DATA BEBAN DAN LENDUTAN BALOK

Balok RCB - A2				
P (kN)	Cr	d1	d2	d3
0		0	0	0
1		22	24	21
2		43	45	42
3		65	67	64
4		93	99	90
5		120	125	118
6		134	138	133
7		151	156	148
8		169	175	167
9		201	207	199
10		218	223	214
11		250	258	249
12	1	272	280	273
13		312	320	312
14	2	342	350	340
15	3	367	375	364
16		391	402	388
17	4	412	428	402
18	5	453	465	448
19	6	483	490	479
20	7	512	515	481
21	8	535	540	505
22	9	559	572	533
23		574	595	554
24		592	615	572
25		610	634	590
26		630	657	609
27		650	681	630
27	10	675	712	660
27	11	705	757	724
27		722	782	750

Balok RCB - A2				
P (kN)	Cr	d1	d2	d3
28		749	825	807
29	12	793	884	880
29		816	917	914
29	13	832	940	935
30		856	972	964
30		876	1004	991
30.5		902	1050	1014
30.5	14	944	1114	1086
30.5	15	981	1168	1142
30.5		1007	1205	1195
30.5		1060	1240	1211
30.5		1081	1273	1253
31.5		1112	1308	1281
32.5		1245	1382	1291
32.5	16	1260	1439	1386
32.5		1270	1459	1406
32.5		1290	1479	1416
32.5		1300	1499	1426
32.5		1310	1539	1436
32.5		1330	1569	1446
32.5		1340	1589	1466
32.5		1350	1609	1476
32.5		1360	1629	1496
32.5	17	1370	1649	1506

Ket :

RCB-A2 = "Reinforced Concrete Beam" dgn 0 % tepung kaca (sampel 2)

P = Beban yang bekerja (kN)

Cr = Letak retak yang terjadi

d1 = Lendutan yang terjadi di titik 1 (0,01 mm)

d2 = Lendutan yang terjadi di titik 2 (0,01 mm)

d3 = Lendutan yang terjadi di titik 3 (0,01 mm)

DATA BEBAN DAN LENDUTAN BALOK

Balok RCB - B1					Balok RCB - B1				
P (kN)	Cr	d1	d2	d3	P (kN)	Cr	d1	d2	d3
0		0	0	0	31		668	706	615
1		28	29	26	31		686	728	630
2		49	51	48	31		706	749	650
3		85	87	84	31	12	730	775	675
4		119	121	118	32	13	756	820	745
5		146	148	139	32		781	860	792
6		168	171	161	32	14	801	895	832
7		181	185	177	32		825	929	875
8		194	198	189	32	15	860	965	925
9		208	211	207	32		924	1002	1002
10		221	224	211	32		961	1040	1045
11		253	256	251	33	16	987	1072	1085
12		271	275	261	33		1021	1102	1109
13		289	294	283	33		1035	1134	1130
14		315	321	311	33		1121	1190	1135
15	1	338	342	330	33	17	1127	1245	1242
16	2	352	368	348	33		1134	1305	1285
17	3	378	395	374	34		1185	1345	1298
18		400	418	398	34		1161	1425	1300
19	4	428	440	411	34	18	1196	1475	1345
20		468	472	449	34	19	1224	1410	1391
21	5	489	495	470	34		1234	1420	1401
22		505	514	496	34	20	1244	1440	1411
23	6	525	536	511	34		1254	1460	1421
24		557	572	527	34	21	1264	1480	1431
25	7	569	588	538	34	22	1274	1500	1441
26		574	604	541	34		1284	1520	1451
27	8	581	620	548	34		1294	1540	1461
28	9	613	642	575	34	23	1304	1560	1471
29	10	631	667	581	34	24	1314	1580	1481
30	11	641	690	598					

Ket :

RCB-B1 = "Reinforced Concrete Beam" dgn 2,5 % tepung kaca (sampel 1)

P = Beban yang bekerja (kN)

Cr = Letak retak yang terjadi

d1 = Lendutan yang terjadi di titik 1 (0,01 mm)

d2 = Lendutan yang terjadi di titik 2 (0,01 mm)

d3 = Lendutan yang terjadi di titik 3 (0,01 mm)

DATA BEBAN DAN LENDUTAN BALOK

Balok RCB - B2					Balok RCB - B2				
P (kN)	Cr	d1	d2	d3	P (kN)	Cr	d1	d2	d3
0		0	0	0	31		691	717	635
1		31	32	30	32	10	708	736	656
2		52	55	51	33		727	759	675
3		84	86	83	33.5		750	784	696
4		116	119	110	33.5	11	768	803	714
5		135	141	128	33.5		796	845	748
6		160	164	152	33.5	12	819	882	775
7		189	194	183	33.5	13	849	926	805
8		207	211	200	33.5	14	909	1006	864
9		229	233	225	33.5		984	1069	955
10		253	258	245	33.5		1010	1109	991
11		267	271	261	33.5	15	1036	1157	1016
12		284	289	276	33.5	16	1082	1203	1042
13	1	297	301	290	33.5	17	1117	1235	1090
14		324	330	318	33.5	18	1134	1257	1128
15	2	358	364	341	33.5	19	1148	1285	1152
16	3	374	385	368	33.5	20	1202	1311	1212
17	4	391	409	388	34		1240	1349	1249
18		421	432	420	34	21	1249	1410	1294
19	5	443	455	431	34		1259	1430	1304
20		467	474	452	34	22	1269	1450	1314
21		496	502	473	34	23	1279	1470	1334
22	6	514	524	498	34		1289	1490	1344
23		534	548	513	34		1299	1510	1354
24		554	570	523	34		1309	1520	1364
25		572	592	534	34	24	1319	1540	1374
26		593	609	549	34		1329	1560	1384
27	7	613	631	602	34		1339	1580	1394
28	8	644	654	588	34		1349	1600	1404
29		668	679	611	34	25	1359	1620	1414
30	9	671	697	617					

Ket :

RCB-B2 = "Reinforced Concrete Beam" dgn 2,5 % tepung kaca (sampel 2)

P = Beban yang bekerja (kN)

Cr = Letak retak yang terjadi

d1 = Lendutan yang terjadi di titik 1 (0,01 mm)

d2 = Lendutan yang terjadi di titik 2 (0,01 mm)

d3 = Lendutan yang terjadi di titik 3 (0,01 mm)

DATA BEBAN DAN LENDUTAN BALOK

Balok RCB - C1					Balok RCB - C1				
P (kN)	Cr	d1	d2	d3	P (kN)	Cr	d1	d2	d3
0		0	0	0	31		619	666	589
1		20	21	19	32	10	628	688	618
2		50	52	49	33	11	683	751	677
3		78	80	77	33	12	736	809	735
4		120	122	119	34	13	883	966	884
5		145	149	143	34		965	1059	987
6		159	163	157	34		1063	1195	1128
7		193	195	190	34	14	1130	1250	1169
8		212	217	210	35	15	1268	1361	1289
9		244	248	241	35		1278	1381	1299
10		265	268	263	35	16	1288	1401	1309
11		287	290	286	35		1298	1421	1329
12		309	311	304	35		1318	1441	1339
13	1	330	335	325	35	17	1328	1461	1349
14	2	336	341	331	35	18	1338	1481	1369
15	3	351	358	349	35		1348	1501	1379
16	4	362	370	360	35		1358	1521	1399
17	5	376	388	374	35	19	1368	1541	1409
18		386	391	383					
19	6	397	405	394					
20		405	415	400					
21	7	426	440	422					
22		460	468	457					
23		473	486	466					
24		482	505	479					
25		505	530	494					
26		536	554	510					
27		554	575	531					
28	8	569	596	550					
29		574	619	579					
30	9	585	640	581					

Ket :

RCB-C1 = "Reinforced Concrete Beam" dgn 5 % tepung kaca (sampel 1)

P = Beban yang bekerja (kN)

Cr = Letak retak yang terjadi

d1 = Lendutan yang terjadi di titik 1 (0,01 mm)

d2 = Lendutan yang terjadi di titik 2 (0,01 mm)

d3 = Lendutan yang terjadi di titik 3 (0,01 mm)

DATA BEBAN DAN LENDUTAN BALOK

Balok RCB - D1					Balok RCB - D1				
P (kN)	Cr	d1	d2	d3	P (kN)	Cr	d1	d2	d3
0		0	0	0	31		750	772	712
1		25	26	20	32	8	818	845	790
2		50	51	44	33	9	885	936	880
3		79	80	71	34		1011	1059	1024
4		98	101	95	35	10	1090	1147	1115
5		124	125	118	36		1180	1271	1246
6		150	151	141	37	11	1290	1405	1390
7		177	178	174	37		1300	1425	1400
8		191	193	181	37	12	1310	1445	1410
9		211	215	202	37	13	1320	1465	1420
10		235	238	228	37		1330	1485	1430
11		258	261	243	37		1350	1505	1440
12		279	282	262	37	14	1360	1525	1450
13		310	314	301	37		1370	1545	1460
14		334	339	320	37	15	1380	1565	1470
15	1	341	346	335	37	16	1390	1575	1480
16	2	405	396	388					
17		418	423	408					
18	3	440	446	432					
19	4	465	472	455					
20		490	494	477					
21		520	525	496					
22		531	540	513					
23	5	555	562	522					
24		568	586	543					
25		594	610	575					
26		630	635	582					
27	6	649	651	590					
28		652	661	603					
29		693	699	626					
30	7	715	724	684					

Ket :

RCB-D1 = "Reinforced Concrete Beam" dgn 7,5 % tepung kaca (sampel 1)

P = Beban yang bekerja (kN)

Cr = Letak retak yang terjadi

d1 = Lendutan yang terjadi di titik 1 (0,01 mm)

d2 = Lendutan yang terjadi di titik 2 (0,01 mm)

d3 = Lendutan yang terjadi di titik 3 (0,01 mm)

DATA BEBAN DAN LENDUTAN BALOK

Balok RCB - D2					Balok RCB - D2				
P (kN)	Cr	d1	d2	d3	P (kN)	Cr	d1	d2	d3
0		0	0	0	31		741	753	690
1		25	29	18	32	16	772	788	712
2		47	50	40	33		872	905	862
3		74	75	72	34		1042	1088	1035
4		97	100	95	35	17	1187	1211	1115
5		120	122	117	36		1294	1338	1277
6		145	146	140	37	18	1385	1428	1330
7		176	178	169	37		1395	1448	1340
8		189	180	165	37		1405	1468	1350
9		204	198	182	37	19	1415	1488	1360
10		224	216	198	37		1425	1508	1370
11		245	237	216	37		1435	1528	1380
12		264	256	233	37		1445	1548	1390
13	1	338	343	334	37		1455	1568	1400
14	2	358	361	354	37		1465	1588	1410
15	3	371	379	369	37	20	1475	1608	1420
16	4	365	370	351					
17	5	392	400	383					
18	6	430	435	412					
19	7	449	460	444					
20	8	480	486	471					
21	9	518	522	496					
22	10	530	536	512					
23	11	543	560	539					
24		562	576	555					
25	12	588	606	578					
26	13	628	636	581					
27		639	650	597					
28	14	651	669	614					
29		683	691	636					
30	15	715	725	662					

Ket :

RCB-D2 = "Reinforced Concrete Beam" dgn 7,5 % tepung kaca (sampel 2)

P = Beban yang bekerja (kN)

Cr = Letak retak yang terjadi

d1 = Lendutan yang terjadi di titik 1 (0,01 mm)

d2 = Lendutan yang terjadi di titik 2 (0,01 mm)

d3 = Lendutan yang terjadi di titik 3 (0,01 mm)

DATA BEBAN DAN LENDUTAN BALOK

Balok RCB - E1					Balok RCB - E1				
P (kN)	Cr	d1	d2	d3	P (kN)	Cr	d1	d2	d3
0		0	0	0	31	13	769	782	760
1		33	36	32	32		780	799	774
2		62	64	61	33	14	809	821	792
3		92	93	87	34	15	854	859	824
4		127	130	125	34	16	922	935	902
5		158	162	155	35		981	994	970
6		182	184	180	35	17	1034	1042	1011
7		210	212	209	35	18	1101	1124	1098
8		242	244	240	36		1164	1182	1138
9		268	271	262	36	18	1192	1208	1175
10		292	295	290	37	19	1264	1287	1248
11		309	311	300	37		1291	1318	1278
12		336	340	331	37	20	1322	1367	1311
13	1	352	355	343	38	21	1392	1435	1358
14		368	370	356	38		1402	1455	1368
15		370	374	366	38	22	1412	1475	1378
16	2	393	398	390	38	23	1422	1495	1388
17	3	434	439	431	38	24	1432	1515	1398
18	4	463	466	461	38		1442	1535	1408
19	5	487	490	484	38	25	1452	1555	1418
20	6	516	520	510	38		1462	1575	1428
21		534	537	530	38	26	1472	1595	1438
22	7	561	566	548	38	27	1482	1615	1448
23	8	600	608	591					
24	9	619	623	601					
25	10	643	649	639					
26	11	664	669	650					
27		675	689	669					
28	12	704	711	700					
29		720	730	719					
30		736	752	730					

Ket :

RCB-E1 = "Reinforced Concrete Beam" dgn 10 % tepung kaca (sampel 1)

P = Beban yang bekerja (kN)

Cr = Letak retak yang terjadi

d1 = Lendutan yang terjadi di titik 1 (0,01 mm)

d2 = Lendutan yang terjadi di titik 2 (0,01 mm)

d3 = Lendutan yang terjadi di titik 3 (0,01 mm)

DATA STICKS

A2			B1			B2			C1		
d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3
26.5	26.8	26.6	26.4	27.1	26	26.3	27.3	26.1	26.5	27.4	27
26.4	26.6	26.4	26.3	27	25.9	26.2	27.1	26	26.4	27.2	26.9
26.2	26.4	26.3	26.2	26.8	25.8	26.1	26.9	25.9	26.3	27	26.8
26.1	26.2	26.2	26.1	26.6	25.7	26	26.7	25.7	26.2	26.8	26.6
26	25.8	26.1	26	26.4	25.6	25.9	26.5	25.6	26	26.6	26.5
25.8	25.5	26	25.9	26.2	25.5	25.8	26.3	25.5	25.9	26.4	26.4
25.7	25.3	25.8	25.8	26	25.4	25.7	26.2	25.4	25.8	26.2	26.2
25.6	25.1	25.7	25.7	25.8	25.3	25.6	26	25.3	25.7	26	26.1
25.5	24.9	25.5	25.6	25.6	25.2	25.5	25.8	25.2	25.6	25.8	25.9
25.4	24.7	25.4	25.5	25.4	25.1	25.4	25.6	25.1	25.5	25.6	25.8

A2			B1			B2			C1		
d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3
0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
0.1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2
0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1

DATA STICKS

D1			D2			E1		
d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3
26.8	27.1	26.3	26.2	27.1	26.3	26.4	27.5	26.2
26.7	26.9	26.2	26.1	26.9	26.2	26.3	27.3	26.1
26.6	26.7	26.1	26	26.7	26.1	26.2	27.1	26
26.5	26.5	26	25.9	26.5	26	26.1	26.9	25.9
26.4	26.3	25.9	25.8	26.3	25.9	26	26.7	25.8
26.2	26.1	25.8	25.7	26.1	25.8	25.9	26.5	25.7
26.1	25.9	25.7	25.6	25.9	25.7	25.8	26.3	25.6
26	25.7	25.6	25.5	25.7	25.6	25.7	26.1	25.5
25.9	25.5	25.5	25.4	25.5	25.5	25.6	25.9	25.4
25.8	25.4	25.4	25.3	25.3	25.4	25.5	25.7	25.3

D1			D2			E1		
d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3
0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1

Balok RCB - A2						
P (kN)	Defleksi (mm)			Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	
	d1	d2	d3			
26	6.3	6.57	6.09	6933.33	1.0547E-05	
27	6.5	6.81	6.3	7200.00	1.15314E-05	
27	6.75	7.12	6.6	7200.00	1.25158E-05	
27	7.05	7.57	7.24	7200.00	1.19533E-05	
27	7.22	7.82	7.5	7200.00	1.29377E-05	
28	7.49	8.25	8.07	7466.67	1.32189E-05	
29	7.93	8.84	8.8	7733.33	1.33595E-05	
29	8.16	9.17	9.14	7733.33	1.46252E-05	
29	8.32	9.4	9.35	7733.33	1.58908E-05	
30	8.56	9.72	9.64	8000.00	1.74377E-05	
30	8.76	10.04	9.91	8000.00	1.98284E-05	
30.5	9.02	10.5	10.14	8133.33	2.58753E-05	
30.5	9.44	11.14	10.86	8133.33	2.78441E-05	
30.5	9.81	11.68	11.42	8133.33	2.99535E-05	
30.5	10.07	12.05	11.95	8133.33	2.92504E-05	
30.5	10.6	12.4	12.11	8133.33	2.9391E-05	
30.5	10.81	12.73	12.53	8133.33	2.98129E-05	
31.5	11.12	13.08	12.81	8400.00	3.13598E-05	
32.5	12.45	13.82	12.91	8666.67	3.20629E-05	
32.5	12.6	14.39	13.86	8666.67	3.26254E-05	
32.5	12.7	14.59	14.06	8666.67	3.40317E-05	
32.5	12.9	14.79	14.16	8666.67	3.54379E-05	
32.5	13	14.99	14.26	8666.67	3.82505E-05	
32.5	13.1	15.39	14.36	8666.67	4.66881E-05	
32.5	13.3	15.69	14.46	8666.67	5.09069E-05	
32.5	13.4	15.89	14.66	8666.67	5.23132E-05	
32.5	13.5	16.09	14.76	8666.67	5.51257E-05	
32.5	13.6	16.29	14.96	8666.67	5.6532E-05	
32.5	13.7	16.49	15.06	8666.67	5.93445E-05	

Balok RCB - A2						
P (kN)	Defleksi (mm)			Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	
	d1	d2	d3			
0	0	0	0	0.00	0	
1	0.22	0.24	0.21	266.67	7.03134E-07	
2	0.43	0.45	0.42	533.33	7.03134E-07	
3	0.65	0.67	0.64	800.00	7.03134E-07	
4	0.93	0.99	0.9	1066.67	2.1094E-06	
5	1.2	1.25	1.18	1333.33	1.68752E-06	
6	1.34	1.38	1.33	1600.00	1.26564E-06	
7	1.51	1.56	1.48	1866.67	1.82815E-06	
8	1.69	1.75	1.67	2133.33	1.96877E-06	
9	2.01	2.07	1.99	2400.00	1.96877E-06	
10	2.18	2.23	2.14	2666.67	1.96877E-06	
11	2.5	2.58	2.49	2933.33	2.39065E-06	
12	2.72	2.8	2.73	3200.00	2.1094E-06	
13	3.12	3.2	3.12	3466.67	2.25003E-06	
14	3.42	3.5	3.4	3733.33	2.53128E-06	
15	3.67	3.75	3.64	4000.00	2.67191E-06	
16	3.91	4.02	3.88	4266.67	3.51567E-06	
17	4.12	4.28	4.02	4533.33	5.90632E-06	
18	4.53	4.65	4.48	4800.00	4.07818E-06	
19	4.83	4.9	4.79	5066.67	2.53128E-06	
20	5.12	5.15	4.81	5333.33	5.20319E-06	
21	5.35	5.4	5.05	5600.00	5.62507E-06	
22	5.59	5.72	5.33	5866.67	7.31259E-06	
23	5.74	5.95	5.54	6133.33	8.71886E-06	
24	5.92	6.15	5.72	6400.00	9.28137E-06	
25	6.1	6.34	5.9	6666.67	9.56262E-06	

P (kN)	Balok RCB - B1				Lengkung 1/mm	P (kN)	Balok RCB - B2					Lengkung 1/mm	Momen kN-mm	Nilai Rata - Rata Lengkung 1/mm
	Defleksi (mm)		Momen kN-mm	Lengkung 1/mm			d1	d2	d3	Momen kN-mm	Lengkung 1/mm			
	d1	d2													d3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.28	0.29	0.26	5.62507E-07	1	0.31	0.32	0.3	266.67	4.2188E-07	266.67	266.67	4.92194E-07	
2	0.49	0.51	0.48	7.03134E-07	2	0.52	0.55	0.51	533.33	9.84387E-07	533.33	533.33	8.43761E-07	
3	0.85	0.87	0.84	7.03134E-07	3	0.84	0.86	0.83	800.00	7.03134E-07	800.00	800.00	7.03134E-07	
4	1.19	1.21	1.18	7.03134E-07	4	1.16	1.19	1.1	1066.67	1.68752E-06	1066.67	1066.67	1.19533E-06	
5	1.46	1.48	1.39	1.54689E-06	5	1.35	1.41	1.28	1333.33	2.67191E-06	1333.33	1333.33	2.1094E-06	
6	1.68	1.71	1.61	1.82815E-06	6	1.6	1.64	1.52	1600.00	2.25003E-06	1600.00	1600.00	2.03909E-06	
7	1.81	1.85	1.77	1.68752E-06	7	1.89	1.94	1.83	1866.67	2.25003E-06	1866.67	1866.67	1.96877E-06	
8	1.94	1.98	1.89	1.82815E-06	8	2.07	2.11	2	2133.33	2.1094E-06	2133.33	2133.33	1.96877E-06	
9	2.08	2.11	2.07	9.84387E-07	9	2.29	2.33	2.25	2400.00	1.68752E-06	2400.00	2400.00	1.33595E-06	
10	2.21	2.24	2.11	2.25003E-06	10	2.53	2.58	2.45	2666.67	2.53128E-06	2666.67	2666.67	2.39065E-06	
11	2.53	2.56	2.51	1.12501E-06	11	2.67	2.71	2.61	2933.33	1.96877E-06	2933.33	2933.33	1.54689E-06	
12	2.71	2.75	2.61	2.53128E-06	12	2.84	2.89	2.76	3200.00	2.53128E-06	3200.00	3200.00	2.53128E-06	
13	2.89	2.94	2.83	2.25003E-06	13	2.97	3.01	2.9	3466.67	2.1094E-06	3466.67	3466.67	2.17971E-06	
14	3.15	3.21	3.11	2.25003E-06	14	3.24	3.3	3.18	3733.33	2.53128E-06	3733.33	3733.33	2.17971E-06	
15	3.38	3.42	3.3	2.25003E-06	15	3.58	3.64	3.41	4000.00	4.07818E-06	4000.00	4000.00	3.79692E-06	
16	3.52	3.68	3.48	5.06256E-06	16	3.74	3.85	3.68	4266.67	3.93755E-06	4266.67	4266.67	4.50006E-06	
17	3.78	3.95	3.74	5.34382E-06	17	3.91	4.09	3.88	4533.33	5.48444E-06	4533.33	4533.33	5.41413E-06	
18	4	4.18	3.98	5.34382E-06	18	4.21	4.32	4.2	4800.00	3.23442E-06	4800.00	4800.00	4.28912E-06	
19	4.28	4.4	4.11	5.7657E-06	19	4.43	4.55	4.31	5066.67	5.06256E-06	5066.67	5066.67	5.41413E-06	
20	4.68	4.72	4.49	3.79692E-06	20	4.67	4.74	4.52	5333.33	4.07818E-06	5333.33	5333.33	3.93755E-06	
21	4.89	4.95	4.7	4.35943E-06	21	4.96	5.02	4.73	5600.00	4.92194E-06	5600.00	5600.00	4.64068E-06	
22	5.05	5.14	4.96	3.79692E-06	22	5.14	5.24	4.98	5866.67	5.06256E-06	5866.67	5866.67	4.42974E-06	
23	5.25	5.36	5.11	5.06256E-06	23	5.34	5.48	5.13	6133.33	6.89071E-06	6133.33	6133.33	5.97664E-06	
24	5.57	5.72	5.27	8.43761E-06	24	5.54	5.7	5.23	6400.00	8.85949E-06	6400.00	6400.00	8.64855E-06	
25	5.69	5.88	5.38	9.70325E-06	25	5.72	5.92	5.34	6666.67	1.09689E-05	6666.67	6666.67	1.03361E-05	

Balok RCB - B1				Balok RCB - B2				Nilai Rata - Rata					
P (kN)	Defleksi (mm)			Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	P (kN)	Defleksi (mm)			Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	Momen kN-mm	Lengkung 1/mm
	d1	d2	d3				d1	d2	d3				
26	5.74	6.04	5.41	6933.33333	1.30783E-05	26	5.93	6.09	5.49	6933.33	1.06876E-05	6933.33	1.1883E-05
27	5.81	6.2	5.48	7200	1.56096E-05	27	6.13	6.31	6.02	7200.00	6.60946E-06	7200.00	1.11095E-05
28	6.13	6.42	5.75	7466.66667	1.35002E-05	28	6.44	6.54	5.88	7466.67	1.06876E-05	7466.67	1.20939E-05
29	6.31	6.67	5.81	7733.33333	1.71565E-05	29	6.68	6.79	6.11	7733.33	1.11095E-05	7733.33	1.4133E-05
30	6.41	6.9	5.98	8000	1.98284E-05	30	6.71	6.97	6.17	8000.00	1.49064E-05	8000.00	1.73674E-05
31	6.68	7.06	6.15	8266.66667	1.81409E-05	31	6.91	7.17	6.35	8266.67	1.51877E-05	8266.67	1.66643E-05
31	6.86	7.28	6.3	8266.66667	1.96877E-05	32	7.08	7.36	6.56	8533.33	1.51877E-05	8400.00	1.74377E-05
31	7.06	7.49	6.5	8266.66667	1.9969E-05	33	7.27	7.59	6.75	8800.00	1.63127E-05	8533.33	1.81409E-05
31	7.3	7.75	6.75	8266.66667	2.03909E-05	33.5	7.5	7.84	6.96	8933.33	1.71565E-05	8600.00	1.87737E-05
32	7.56	8.2	7.45	8533.33333	1.95471E-05	33.5	7.68	8.03	7.14	8933.33	1.74377E-05	8733.33	1.84924E-05
32	7.81	8.6	7.92	8533.33333	2.06721E-05	33.5	7.96	8.45	7.48	8933.33	2.05315E-05	8733.33	2.06018E-05
32	8.01	8.95	8.32	8533.33333	2.20784E-05	33.5	8.19	8.82	7.75	8933.33	2.39065E-05	8733.33	2.29925E-05
32	8.25	9.29	8.75	8533.33333	2.2219E-05	33.5	8.49	9.26	8.05	8933.33	2.78441E-05	8733.33	2.50316E-05
32	8.6	9.65	9.25	8533.33333	2.03909E-05	33.5	9.09	10.1	8.64	8933.33	3.36098E-05	8733.33	2.70003E-05
32	9.24	10	10	8533.33333	1.09689E-05	33.5	9.84	10.7	9.55	8933.33	2.79847E-05	8733.33	1.94768E-05
32	9.61	10.4	10.5	8533.33333	1.04064E-05	33.5	10.1	11.1	9.91	8933.33	3.0516E-05	8733.33	2.04612E-05
33	9.87	10.7	10.9	8800	1.01251E-05	33.5	10.4	11.6	10.2	8933.33	3.68442E-05	8866.67	2.34847E-05
33	10.2	11	11.1	8800	1.04064E-05	33.5	10.8	12	10.4	8933.33	3.96567E-05	8866.67	2.50316E-05
33	10.4	11.3	11.3	8800	1.44846E-05	33.5	11.2	12.4	10.9	8933.33	3.69848E-05	8866.67	2.57347E-05
33	11.2	11.9	11.4	8800	1.74377E-05	33.5	11.3	12.6	11.3	8933.33	3.54379E-05	8866.67	2.64378E-05
33	11.3	12.5	12.4	8800	1.70158E-05	33.5	11.5	12.9	11.5	8933.33	3.79692E-05	8866.67	2.74925E-05
33	11.3	13.1	12.9	8800	2.68597E-05	33.5	12	13.1	12.1	8933.33	2.92504E-05	8866.67	2.8055E-05
34	11.9	13.5	13	9066.66667	2.91097E-05	34	12.4	13.5	12.5	9066.67	2.9391E-05	9066.67	2.92504E-05
34	11.6	14.3	13	9066.66667	5.47038E-05	34	12.5	14.1	12.9	9066.67	3.89536E-05	9066.67	4.68287E-05
34	12	14.8	13.5	9066.66667	5.75163E-05	34	12.6	14.3	13	9066.67	4.17661E-05	9066.67	4.96412E-05
34	12.2	14.1	13.9	9066.66667	2.88285E-05	34	12.7	14.5	13.1	9066.67	4.45787E-05	9066.67	3.67036E-05
34	12.3	14.2	14	9066.66667	2.88285E-05	34	12.8	14.7	13.3	9066.67	4.59849E-05	9066.67	3.74067E-05
34	12.4	14.4	14.1	9066.66667	3.1641E-05	34	12.9	14.9	13.4	9066.67	4.87975E-05	9066.67	4.02193E-05
34	12.5	14.6	14.2	9066.66667	3.44536E-05	34	13	15.1	13.5	9066.67	5.161E-05	9066.67	4.30318E-05
34	12.6	14.8	14.3	9066.66667	3.72661E-05	34	13.1	15.2	13.6	9066.67	5.161E-05	9066.67	4.44381E-05
34	12.7	15	14.4	9066.66667	4.00786E-05	34	13.2	15.4	13.7	9066.67	5.44226E-05	9066.67	4.72506E-05
34	12.8	15.2	14.5	9066.66667	4.28912E-05	34	13.3	15.6	13.8	9066.67	5.72351E-05	9066.67	5.00631E-05
34	12.9	15.4	14.6	9066.66667	4.57037E-05	34	13.4	15.8	13.9	9066.67	6.00476E-05	9066.67	5.28757E-05
34	13	15.6	14.7	9066.66667	4.85162E-05	34	13.5	16	14	9066.67	6.28602E-05	9066.67	5.56882E-05
34	13.1	15.8	14.8	9066.66667	5.13288E-05	34	13.6	16.2	14.1	9066.67	6.56727E-05	9066.67	5.85007E-05

P (kN)	Balok RCB - C1					
	Defleksi (mm)			Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	
	d1	d2	d3			
26	5.36	5.54	5.1	6933.333333	8.71886E-06	
27	5.54	5.75	5.31	7200	9.14074E-06	
28	5.69	5.96	5.5	7466.666667	1.02658E-05	
29	5.74	6.19	5.79	7733.333333	1.19533E-05	
30	5.85	6.4	5.81	8000	1.60315E-05	
31	6.19	6.66	5.89	8266.666667	1.74377E-05	
32	6.28	6.88	6.18	8533.333333	1.82815E-05	
33	6.83	7.51	6.77	8800	1.9969E-05	
33	7.36	8.09	7.35	8800	2.06721E-05	
34	8.83	9.66	8.84	9066.666667	2.32034E-05	
34	9.65	10.6	9.87	9066.666667	2.3344E-05	
34	10.6	12	11.3	9066.666667	2.79847E-05	
34	11.3	12.5	11.7	9066.666667	2.8266E-05	
35	12.7	13.6	12.9	9333.333333	2.32034E-05	
35	12.8	13.8	13	9333.333333	2.6016E-05	
35	12.9	14	13.1	9333.333333	2.88285E-05	
35	13	14.2	13.3	9333.333333	3.02348E-05	
35	13.2	14.4	13.4	9333.333333	3.1641E-05	
35	13.3	14.6	13.5	9333.333333	3.44536E-05	
35	13.4	14.8	13.7	9333.333333	3.58598E-05	
35	13.5	15	13.8	9333.333333	3.86724E-05	
35	13.6	15.2	14	9333.333333	4.00786E-05	
35	13.7	15.4	14.1	9333.333333	4.28912E-05	

P (kN)	Balok RCB - C1					
	Defleksi (mm)			Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	
	d1	d2	d3			
0	0	0	0	0	0	
1	0.2	0.21	0.19	266.6666667	4.2188E-07	
2	0.5	0.52	0.49	533.3333333	7.03134E-07	
3	0.78	0.8	0.77	800	7.03134E-07	
4	1.2	1.22	1.19	1066.666667	7.03134E-07	
5	1.45	1.49	1.43	1333.333333	1.40627E-06	
6	1.59	1.63	1.57	1600	1.40627E-06	
7	1.93	1.95	1.9	1866.666667	9.84387E-07	
8	2.12	2.17	2.1	2133.333333	1.68752E-06	
9	2.44	2.48	2.41	2400	1.54689E-06	
10	2.65	2.68	2.63	2666.666667	1.12501E-06	
11	2.87	2.9	2.86	2933.333333	9.84387E-07	
12	3.09	3.11	3.04	3200	1.26564E-06	
13	3.3	3.35	3.25	3466.666667	2.1094E-06	
14	3.36	3.41	3.31	3733.333333	2.1094E-06	
15	3.51	3.58	3.49	4000	2.25003E-06	
16	3.62	3.7	3.6	4266.666667	2.53128E-06	
17	3.76	3.88	3.74	4533.333333	3.6563E-06	
18	3.86	3.91	3.83	4800	1.82815E-06	
19	3.97	4.05	3.94	5066.666667	2.67191E-06	
20	4.05	4.15	4	5333.333333	3.51567E-06	
21	4.26	4.4	4.22	5600	4.50006E-06	
22	4.6	4.68	4.57	5866.666667	2.67191E-06	
23	4.73	4.86	4.66	6133.333333	4.64068E-06	
24	4.82	5.05	4.79	6400	6.89071E-06	
25	5.05	5.3	4.94	6666.666667	8.57823E-06	

P (kN)	Balok RCB - D1				Balok RCB - D2				Nilai Rata - Rata		
	Defleksi (mm)		Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	P (kN)	Defleksi (mm)		Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	Momen kN-mm	Lengkung 1/mm
	d1	d2				d3	d1					d2	d3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.25	0.26	0.2	9.8439E-07	1	0.25	0.29	0.18	266.67	2.1094E-06	266.67
2	0.5	0.51	0.44	1.125E-06	2	0.47	0.5	0.4	533.33	1.82815E-06	533.33
3	0.79	0.8	0.71	1.4063E-06	3	0.74	0.75	0.72	800.00	5.62507E-07	800.00
4	0.98	1.01	0.95	1.2656E-06	4	0.97	1	0.95	1066.67	1.12501E-06	1066.67
5	1.24	1.25	1.18	1.125E-06	5	1.2	1.22	1.17	1333.33	9.84387E-07	1333.33
6	1.5	1.51	1.41	1.5469E-06	6	1.45	1.46	1.4	1600.00	9.84387E-07	1600.00
7	1.77	1.78	1.74	7.0313E-07	7	1.76	1.78	1.69	1866.67	1.54689E-06	1866.67
8	1.91	1.93	1.81	1.9688E-06	8	1.89	1.8	1.65	2133.33	8.43761E-07	2133.33
9	2.11	2.15	2.02	2.3907E-06	9	2.04	1.98	1.82	2400.00	1.40627E-06	2400.00
10	2.35	2.38	2.28	1.8281E-06	10	2.24	2.16	1.98	2666.67	1.40627E-06	2666.67
11	2.58	2.61	2.43	2.932E-06	11	2.45	2.37	2.16	2933.33	1.82815E-06	2933.33
12	2.79	2.82	2.62	3.2344E-06	12	2.64	2.56	2.33	3200.00	2.1094E-06	3200.00
13	3.1	3.14	3.01	2.3907E-06	13	3.38	3.43	3.34	3466.67	1.96877E-06	3466.67
14	3.34	3.39	3.2	3.375E-06	14	3.58	3.61	3.54	3733.33	1.40627E-06	3733.33
15	3.41	3.46	3.35	4000	15	3.71	3.79	3.69	4000.00	2.53128E-06	4000.00
16	4.05	3.96	3.88	4266.66667	16	3.65	3.7	3.51	4266.67	3.37504E-06	4266.67
17	4.18	4.23	4.08	4533.33333	17	3.92	4	3.83	4533.33	3.51567E-06	4533.33
18	4.4	4.46	4.32	4800	18	4.3	4.35	4.12	4800.00	3.93755E-06	4800.00
19	4.65	4.72	4.55	5066.66667	19	4.49	4.6	4.44	5066.67	3.79692E-06	5066.67
20	4.9	4.94	4.77	5333.33333	20	4.8	4.86	4.71	5333.33	2.95316E-06	5333.33
21	5.2	5.25	4.96	5600	21	5.18	5.22	4.96	5600.00	4.2188E-06	5600.00
22	5.31	5.4	5.13	5866.66667	22	5.3	5.36	5.12	5866.67	4.2188E-06	5866.67
23	5.55	5.62	5.22	6133.33333	23	5.43	5.6	5.39	6133.33	5.34382E-06	6133.33
24	5.68	5.86	5.43	6400	24	5.62	5.76	5.55	6400.00	4.92194E-06	6400.00
25	5.94	6.1	5.75	6666.66667	25	5.88	6.06	5.78	6666.67	6.46883E-06	6666.67

P (kN)	Balok RCB - D1						Balok RCB - D2						Nilai Rata - Rata		
	Defleksi (mm)			Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	P (kN)	Defleksi (mm)			Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	Momen kN-mm	Lengkung 1/mm
	d1	d2	d3				d1	d2	d3						
26	6.3	6.35	5.82	6933.33333	8.1564E-06	26	6.28	6.36	5.81	6933.33	8.85949E-06	6933.33	8.50792E-06		
27	6.49	6.51	5.9	7200	8.8595E-06	27	6.39	6.5	5.97	7200.00	9.00011E-06	7200.00	8.9298E-06		
28	6.52	6.61	6.03	7466.66667	9.422E-06	28	6.51	6.69	6.14	7466.67	1.02658E-05	7466.67	9.84387E-06		
29	6.93	6.99	6.26	7733.33333	1.111E-05	29	6.83	6.91	6.36	7733.33	8.85949E-06	7733.33	9.9845E-06		
30	7.15	7.24	6.84	8000	6.8907E-06	30	7.15	7.25	6.62	8000.00	1.02658E-05	8000.00	8.57823E-06		
31	7.5	7.72	7.12	8266.66667	1.1531E-05	31	7.41	7.53	6.9	8266.67	1.0547E-05	8266.67	1.10392E-05		
32	8.18	8.45	7.9	8533.33333	1.1531E-05	32	7.72	7.88	7.12	8533.33	1.29377E-05	8533.33	1.22345E-05		
33	8.85	9.36	8.8	8800	1.5047E-05	33	8.72	9.05	8.62	8800.00	1.06876E-05	8800.00	1.28673E-05		
34	10.11	10.59	10.24	9066.66667	1.1672E-05	34	10.4	10.9	10.35	9066.67	1.3922E-05	9066.67	1.2797E-05		
35	10.9	11.47	11.15	9333.33333	1.2516E-05	35	11.9	12.1	11.15	9333.33	1.68752E-05	9333.33	1.46955E-05		
36	11.8	12.71	12.46	9600	1.6313E-05	36	12.9	13.4	12.77	9600.00	1.47658E-05	9600.00	1.55393E-05		
37	12.9	14.05	13.9	9866.66667	1.8281E-05	37	13.9	14.3	13.3	9866.67	1.98284E-05	9866.67	1.90549E-05		
37	13	14.25	14	9866.66667	2.1094E-05	37	14	14.5	13.4	9866.67	2.26409E-05	9866.67	2.18675E-05		
37	13.1	14.45	14.1	9866.66667	2.3907E-05	37	14.1	14.7	13.5	9866.67	2.54534E-05	9866.67	2.468E-05		
37	13.2	14.65	14.2	9866.66667	2.6719E-05	37	14.2	14.9	13.6	9866.67	2.8266E-05	9866.67	2.74925E-05		
37	13.3	14.85	14.3	9866.66667	2.9532E-05	37	14.3	15.1	13.7	9866.67	3.10785E-05	9866.67	3.03051E-05		
37	13.5	15.05	14.4	9866.66667	3.0938E-05	37	14.4	15.3	13.8	9866.67	3.3891E-05	9866.67	3.24145E-05		
37	13.6	15.25	14.5	9866.66667	3.375E-05	37	14.5	15.5	13.9	9866.67	3.67036E-05	9866.67	3.5227E-05		
37	13.7	15.45	14.6	9866.66667	3.6563E-05	37	14.6	15.7	14	9866.67	3.95161E-05	9866.67	3.80395E-05		
37	13.8	15.65	14.7	9866.66667	3.9375E-05	37	14.7	15.9	14.1	9866.67	4.23287E-05	9866.67	4.08521E-05		
37	13.9	15.75	14.8	9866.66667	3.9375E-05	37	14.8	16.1	14.2	9866.67	4.51412E-05	9866.67	4.22583E-05		

Balok RCB - E1						
P (kN)	Defleksi (mm)			Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	
	d1	d2	d3			
0	0	0	0	0		
1	0.33	0.36	0.32	266.666667	9.84387E-07	
2	0.62	0.64	0.61	533.333333	7.03134E-07	
3	0.92	0.93	0.87	800	9.84387E-07	
4	1.27	1.3	1.25	1066.66667	1.12501E-06	
5	1.58	1.62	1.55	1333.33333	1.54689E-06	
6	1.82	1.84	1.8	1600	8.43761E-07	
7	2.1	2.12	2.09	1866.66667	7.03134E-07	
8	2.42	2.44	2.4	2133.33333	8.43761E-07	
9	2.68	2.71	2.62	2400	1.68752E-06	
10	2.92	2.95	2.9	2666.66667	1.12501E-06	
11	3.09	3.11	3	2933.33333	1.82815E-06	
12	3.36	3.4	3.31	3200	1.82815E-06	
13	3.52	3.55	3.43	3466.66667	2.1094E-06	
14	3.68	3.7	3.56	3733.33333	2.25003E-06	
15	3.7	3.74	3.66	4000	1.68752E-06	
16	3.93	3.98	3.9	4266.66667	1.82815E-06	
17	4.34	4.39	4.31	4533.33333	1.82815E-06	
18	4.63	4.66	4.61	4800	1.12501E-06	
19	4.87	4.9	4.84	5066.66667	1.26564E-06	
20	5.16	5.2	5.1	5333.33333	1.96877E-06	
21	5.34	5.37	5.3	5600	1.40627E-06	
22	5.61	5.66	5.48	5866.66667	3.23442E-06	
23	6	6.08	5.91	6133.33333	3.51567E-06	
24	6.19	6.23	6.01	6400	3.6563E-06	
25	6.43	6.49	6.39	6666.66667	2.25003E-06	

Balok RCB - E1						
P (kN)	Defleksi (mm)			Momen kN-mm	Lengkung 1/mm	
	d1	d2	d3			
26	6.64	6.69	6.5	6933.33333	3.37504E-06	
27	6.75	6.89	6.69	7200	4.78131E-06	
28	7.04	7.11	7	7466.66667	2.53128E-06	
29	7.2	7.3	7.19	7733.33333	2.95316E-06	
30	7.36	7.52	7.3	8000	5.34382E-06	
31	7.69	7.82	7.6	8266.66667	4.92194E-06	
32	7.8	7.99	7.74	8533.33333	6.18758E-06	
33	8.09	8.21	7.92	8800	5.7657E-06	
34	8.54	8.59	8.24	9066.66667	5.62507E-06	
34	9.22	9.35	9.02	9066.66667	6.46883E-06	
34	9.81	9.94	9.7	9066.66667	5.20319E-06	
35	10.3	10.4	10.1	9333.33333	5.48444E-06	
35	11	11.2	11	9333.33333	6.89071E-06	
36	11.6	11.8	11.4	9600	8.71886E-06	
36	11.9	12.1	11.8	9600	6.89071E-06	
37	12.6	12.9	12.5	9866.66667	8.71886E-06	
37	12.9	13.2	12.8	9866.66667	9.42199E-06	
37	13.2	13.7	13.1	9866.66667	1.42033E-05	
38	13.9	14.4	13.6	10133.33333	1.68752E-05	
38	14	14.6	13.7	10133.33333	1.96877E-05	
38	14.1	14.8	13.8	10133.33333	2.25003E-05	
38	14.2	15	13.9	10133.33333	2.53128E-05	
38	14.3	15.2	14	10133.33333	2.81254E-05	
38	14.4	15.4	14.1	10133.33333	3.09379E-05	
38	14.5	15.6	14.2	10133.33333	3.37504E-05	
38	14.6	15.8	14.3	10133.33333	3.6563E-05	
38	14.7	16	14.4	10133.33333	3.93755E-05	
38	14.8	16.2	14.5	10133.33333	4.2188E-05	

ANALISA KANDUNGAN SILIKA TEPUNG KACA TERHADAP PERUBAHAN MUTU SEMEN PORTLAND

Pada penelitian ini dipakai tepung kaca dengan data:

Tabel Komposisi Kimia Tepung Kaca

Unsur Kimia	Prosentase (%)
Kapur, CaO	10,63
Silika, SiO ₂	71,9
Alumina, Al ₂ O ₃	1,86
Besi, FeO ₃	0,6
Sulfur, SO ₃	0,31

Semen portland yang digunakan adalah jenis I dengan data:

Tabel Komposisi Kimia Semen Jenis I

Unsur Kimia	Prosentase (%)
Kapur, CaO	63
Silika, SiO ₂	20
Alumina, Al ₂ O ₃	6
Besi, FeO ₃	2,5
Sulfur, SO ₃	2

Lampiran 9

Asumsi: tepung kaca dianggap mampu mereduksi 10% dari berat semen sehingga besarnya "silica ratio" adalah:

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

$$SR = \frac{(20 \times 90\%) + (20 \times 10\% \times 71,9\%)}{(6 \times 90\% + 6 \times 10\% \times 1,86\%) + (2,5 \times 90\% + 2,5 \times 10\% \times 0,6\%)}$$
$$= 2,53$$

check: $1,6 < SR < 3,5$ O.K.

Besar "silica ratio" untuk semen portland jenis I adalah:

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = \frac{20}{6 + 2,5} = \frac{20}{8,5} = 2,35$$

check: $1,6 < SR < 3,5$ O.K.

Hitungan prosentase senyawa kimia untuk semen portland jenis I:

$$C_3S = 4,07 CaO - 7,60 SiO_2 - 6,72 Al_2O_3 - 1,43 FeO_3 - 2,85 SO_3$$
$$= 4,07 (63\%) - 7,60 (20\%) - 6,72 (6\%) - 1,43 (2,5\%) - 2,85 (2\%)$$
$$= 54,815\%$$

$$C_2S = 2,87 SiO_2 - 0,754 C_3S$$
$$= 2,87 (20\%) - 0,754 (54,815\%) = 16,1\%$$

$$C_3A = 2,65 Al_2O_3 - 1,69 Fe_2O_3$$
$$= 2,65 (6\%) - 1,69 (2,5\%) = 11,671\%$$

$$C_4AF = 3,04 Fe_2O_3$$
$$= 3,04 (2,5\%) = 7,6\%$$

Hitungan senyawa kimia untuk semen modifikasi (jenis I + silika tepung kaca):

$$C_3S = 4,07 CaO - 7,60 SiO_2 - 6,72 Al_2O_3 - 1,43 FeO_3 - 2,85 SO_3$$

Lampiran 9

$$= 4,07 (63 \times 90\% + 63 \times 10\% \times 10,63\%) - 7,60 (20 \times 90\% + 20 \times 10\% \times 71,9\%) - 6,72 (6 \times 90\% + 6 \times 10\% \times 1,86\%) - 1,43 (2,5 \times 90\% + 2,5 \times 10\% \times 0,6\%) - 2,85 (2 \times 90\% + 2 \times 10\% \times 0,31\%)$$

$$= 41,12\%$$

$$C_2S = 2,87 SiO_2 - 0,754 C_3S$$

$$= 2,87 (20 \times 90\% + 20 \times 10\% \times 71,9\%) - 0,754 (41,12\%) = 24,75\%$$

$$C_3A = 2,65 Al_2O_3 - 1,69 Fe_2O_3$$

$$= 2,65 (6 \times 90\% + 6 \times 10\% \times 1,86\%) - 1,69 (2,5 \times 90\% + 2,5 \times 10\% \times 0,6\%)$$

$$= 10,53\%$$

$$C_4AF = 3,04 Fe_2O_3$$

$$= 3,04 (2,5 \times 90\% + 2,5 \times 10\% \times 0,31\%) = 6,845\%$$

Dan hasil perhitungan di atas dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel Analisa Silika Tepung Kaca

Jenis Semen	Prosentase (%)				Silika Ratio (SR)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
Jenis I	54,82	16,1	11,68	7,6	2,35
Modifikasi	41,12	24,75	10,54	6,85	2,53

Dari tabel tersebut tampak bahwa prosentase C₃S mengalami penurunan sedangkan prosentase C₂S mengalami kenaikan. Dengan kondisi yang demikian dan berdasarkan Tabel 2.2 dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi perubahan sifat-sifat semen dari semen portland jenis I menjadi semen portland jenis II.

Mix Design with ACI Methode

Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Variasi Campuran Tepung Kaca

Cetakan silinder : - Tinggi = 30 cm
 - Diameter = 15 cm

Volume = $0,25 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \times 50 = 0,27 \text{ m}^3$

Balok : - Tinggi = 20cm
 - Lebar = 10 cm
 - Panjang = 200 cm

Volume = $0,2 \times 0,1 \times 1,8 \times 10 = 0,36 \text{ m}^3$

Hasil Penelitian Bahan Penyusun Beton:
 Pasir : $B_j = 2,7$
 MHB = 2,8
 Kerikil : $B_j = 2,62$
 Berat satuan ditusuk = $1,368 \text{ t/m}^3$
 Semen : $B_j = 3,15$

Jadi volume total = $0,63 \text{ m}^3$

Jenis konstruksi (Plat, Balok, Kolom)

Digunakan nilai slump : min = 7,5 cm ; max = 15 cm

- Deviasi Standar

Vol. Tot. = $0,63 \text{ m}^3 < 1000 \text{ m}^3$, maka dari tabel 1 didapat :

Mutu pelaksanaan baik, diambil nilai $ds = 60 \text{ kg/cm}^2$

Tabel 1. Pelaksanaan diukur dengan deviasi standart.

	Volume Pekerjaan M^3	Mutu Pelaksanaan		
		Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil	< 1000	$45 < s < 55$	$55 < s < 65$	$65 < s < 85$
Sedang	1000 – 3000	$35 < s < 45$	$45 < s < 55$	$55 < s < 75$
Besar	> 3000	$25 < s < 35$	$35 < s < 45$	$45 < s < 65$

- Kuat Desak Rata-Rata

Kuat Desak Rencana $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$

$f'_{cr} = f'_c + m$; $m = 1,64 \cdot ds$

$$= 250 + (1,64 \cdot 60)$$

$$= 348 \text{ kg/cm}^2 = 34,8 \text{ Mpa}$$

Lampiran 10

- Penentuan Faktor Air Semen

Tabel 2 Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari.

Faktor air Semen	Perkiraan Kuat Tekan (Mpa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Untuk $f_{cr} = 34,8 \text{ kg/cm}^3 \rightarrow f.a.s. = 0,0,45$ (dari tabel 2)

- Penentuan Faktor Air Semen Maksimum

Tabel 3 Faktor air semen maksimum

Beton di dalam ruangan bangunan :	
a. Keadaan keliling non korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif.	0,52
Beton di luar ruangan bangunan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
Beton yang kontinyu berhubungan dengan air :	
a. Air tawar	0,57
b. Air laut	0,52

∴ Dipakai f_{as} maksimum 0,6

- Penentuan Nilai Slump dan Ukuran Agregat Maksimum

Tabel 4. Nilai *Slump* (cm)

Pemakaian Beton	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur dibawah tanah.	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	7,5	2,5

∴ dipakai slump antara 7,5-15,0 cm

Tabel 5. Ukuran Maksimum Agregat (mm)

Dimensi minimum (mm)	Balok/Kolom	Plat
62,5	12,5	20
150	40	40
300	40	80
750	80	80

∴ dipakai ukuran maksimum agregat 20 mm

- Kebutuhan Air

Tabel 6 Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai *slump* dan ukuran maksimum agregat (liter)

<i>Slump</i> (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

∴ Dipakai perkiraan kebutuhan air 203 liter dengan udara terperangkap 2%

$$f.a.s. = 0,45 \rightarrow \text{Air} / \text{Semen}$$

$$\text{Semen} = \text{Air} / 0,45 \rightarrow 203 / 0,45 = 451 \text{ kg/m}^3$$

- Kebutuhan Volume Agregat Kasar per Satuan Volume

Tabel 7. Perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halusnya (m³)

Ukuran maksimum agregat (mm)	Modulus halus butir pasir			
	2,4	2,6	2,8	3,0
10	0,46	0,44	0,61	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

$$\text{Berat agregat kasar} = 0,61 \cdot 1,368 = 0,834 \text{ ton} \times 1000 = 834 \text{ kg}$$

$$\text{Volume kerikil} = 0,834 \times 2,62 = 0,318 \text{ m}^3$$

- Kebutuhan Volume Agregat Halus per Satuan Volume

$$\text{Vol. Semen} = 451 / (3,15 \times 1000) = 0,143 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Air} = 203 / 1000 = 0,203 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Ag. Kasar} = 0,834 / 2,62 = 0,318 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Udara} = 2\% = 0,020 \text{ m}^3 \quad +$$

$$\text{Total} = 0,684 \text{ m}^3$$

Lampiran 10

$$\text{Volume Agregat halus} = 1 - 0,684 = 0,316 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat agregat halus} = 0,316 \times 2,7 \times 1000 = 853$$

- Perbandingan Adukan beton per 1 m³

$$\begin{aligned} \text{SP : Ps : Kr : Air} &= 451 : 853 : 834 : 203 \\ &= 1 : 1,89 : 1,85 : 0,45 \end{aligned}$$

- Kebutuhan material dari total volume pekerjaan (0,63 m³)

$$\text{Semen} = 451 \times 0,63 = 284 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 853 \times 0,63 = 537 \text{ kg}$$

$$\text{Krikil} = 834 \times 0,63 = 525 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 203 \times 0,63 = 131 \text{ kg}$$

- Kebutuhan Kerikil, dibagi menjadi 3 gradasi, yaitu :

$$\text{- Ukuran besar (} \varnothing 12,5 \text{ mm s/d } \varnothing 20 \text{ mm) } = 83\% \times 525 = 436$$

$$\text{- Ukuran Sedang (} \varnothing 9,5 \text{ mm s/d } \varnothing 12,5 \text{ mm) } = 62\% \times 525 = 326$$

$$\text{- Ukuran Kecil (} \varnothing 4,75 \text{ mm s/d } \varnothing 9,5 \text{ mm) } = 44\% \times 525 = 231$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan gradasi kerikil} &= 436 : 326 : 231 \\ &= 1,887 : 1,411 : 1 \end{aligned}$$

- Kebutuhan material per adukan

$$\text{Volume "mixer"} = 0,08 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume 1 balok} = 0,036 \text{ m}^3$$

$$5 \text{ silinder} = 0,0265 \text{ m}^3$$

$$\text{Total} = 0,0625 \text{ m}^3$$

Untuk cadangan, ditambahkan 20% adukan sehingga volume total adalah
 $0,0625 + 20\% 0,0625 = 0,075 \text{ m}^3 < 0,08 \text{ m}^3$

$$\text{Perbandingan SP : Ps : Kr : A} = 451 : 853 : 834 : 203$$

☐ Kebutuhan Semen per Adukan

$$\begin{aligned}
 0 \% &\rightarrow 451 \times 0,075 &= 33,825 \text{ kg} \\
 2,5 \% &\rightarrow 97,5\% \times 451 \times 0,075 &= 32,980 \text{ kg} \\
 5 \% &\rightarrow 95 \% \times 451 \times 0,075 &= 32,134 \text{ kg} \\
 7,5 \% &\rightarrow 92,5\% \times 451 \times 0,075 &= 31,288 \text{ kg} \\
 10 \% &\rightarrow 90 \% \times 451 \times 0,075 &= 30,443 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Total = 160,67 kg

☐ Kebutuhan Pasir per Adukan: $853 \times 0,075 = 63,98 \text{ kg}$

☐ Kebutuhan Kerikil per Adukan

$$\begin{aligned}
 \emptyset 4,75 - \emptyset 9,5 &\rightarrow \frac{1,887}{4,298} \times 834 \times 0,075 = 27,46 \text{ kg} \\
 \emptyset 9,5 - \emptyset 12,5 &\rightarrow \frac{1,411}{4,298} \times 834 \times 0,075 = 20,53 \text{ kg} \\
 \emptyset 12,5 - \emptyset 20 &\rightarrow \frac{1,000}{4,298} \times 834 \times 0,075 = 14,55 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

☐ Kebutuhan Air per Adukan: $203 \times 0,075 = 15,225 \text{ kg}$

☐ Kebutuhan Tepung Kaca per Adukan

$$\begin{aligned}
 2,5 \% &\rightarrow 2,5\% \times 451 \times 0,075 &= 0,85 \text{ kg} \\
 5 \% &\rightarrow 5 \% \times 451 \times 0,075 &= 1,69 \text{ kg} \\
 7,5 \% &\rightarrow 7,5\% \times 451 \times 0,075 &= 2,54 \text{ kg} \\
 10 \% &\rightarrow 10 \% \times 451 \times 0,075 &= 3,38 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Total = 8,46 kg

• Kebutuhan Total Material :

- ◆ Semen : $2 \times 160,67 = 322 \text{ kg}$ (6 zak + 22 kg)
- ◆ Pasir : $63,98 \times 10 = 639,8 \text{ kg}$
- ◆ Kerikil : - $\emptyset 4,75 - \emptyset 9,5 \rightarrow 27,46 \times 10 = 274,6 \text{ kg}$
 - $\emptyset 9,5 - \emptyset 12,5 \rightarrow 20,53 \times 10 = 205,3 \text{ kg}$
 - $\emptyset 12,5 - \emptyset 20 \rightarrow 14,55 \times 10 = 145,5 \text{ kg}$
- ◆ Air : $15,225 \times 10 = 152,25 \text{ kg}$
- ◆ Tepung Kaca: $8,46 \times 2 = 17 \text{ kg}$

ANALISA TEORITIS MOMEN DAN KELENGKUNGAN

$$\begin{aligned} \text{Ø}8 &\rightarrow A = 40 \text{ mm}^2 && ; A_s' = 80 \text{ mm}^2 && ; f_y = 385 \text{ Mpa} \\ \text{Ø}12 &\rightarrow A = 97 \text{ mm}^2 && ; A_s = 194 \text{ mm}^2 && ; f_y = 306 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$f_c' = 30,11051 \text{ Mpa}$$

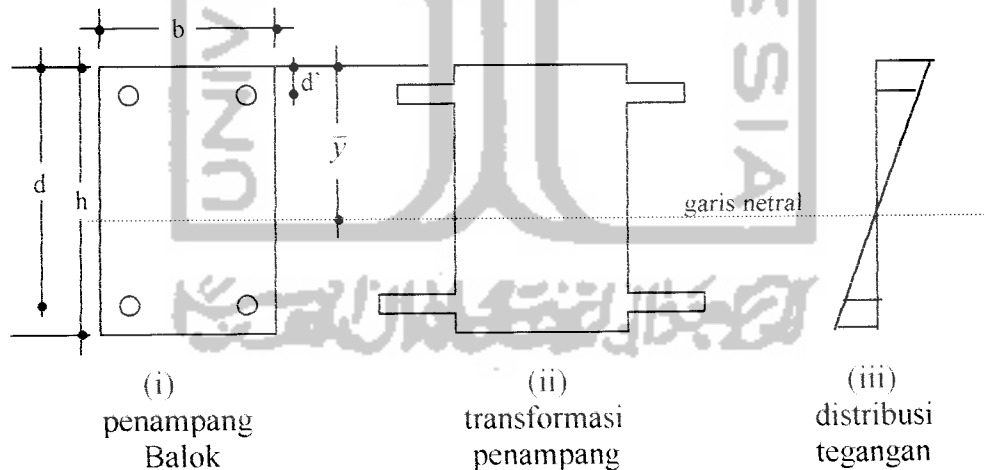
$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{194}{100 \cdot 180} = 0,0107 \quad \rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} = \frac{80}{100 \cdot 180} = 4,444 \cdot 10^{-3}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa} = 200 \text{ kN/mm}^2$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} = 4700 \cdot \sqrt{30,11051} = 25,790331 \text{ kN/mm}^2$$

$$\text{Rasio Modular (n)} = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200}{25,790331} = 7,755$$

• KONDISI SEBELUM RETAK



$$\begin{aligned} A &= b \cdot h + [(n-1)(A_s + A_s')] \\ &= 100 \cdot 200 + [(7,755-1) \cdot (194 + 80)] \\ &= 21850,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Garis netral diperoleh dengan mengalikan titik berat dimensi ke suatu sisi, yaitu :

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{(100 \cdot 200) \cdot 100 + (7,755 - 1) \cdot 80 \cdot 20 + (7,755 - 1) \cdot 194 \cdot 180}{21850,87} \\ &= \frac{2246692,6}{21850,87} = 103,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Inersia (I) :

$$I = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 200^3 + (100 \cdot 200 \cdot 2,82^2) + [(7,755 - 1) \cdot 194,77,18^2] + [(7,755 - 1) \cdot 80,82,82^2]$$

$$= 78338545,9416 \text{ mm}^4$$

Retak terjadi jika modulus retak (f_r) tercapai pada serat paling bawah dari struktur.

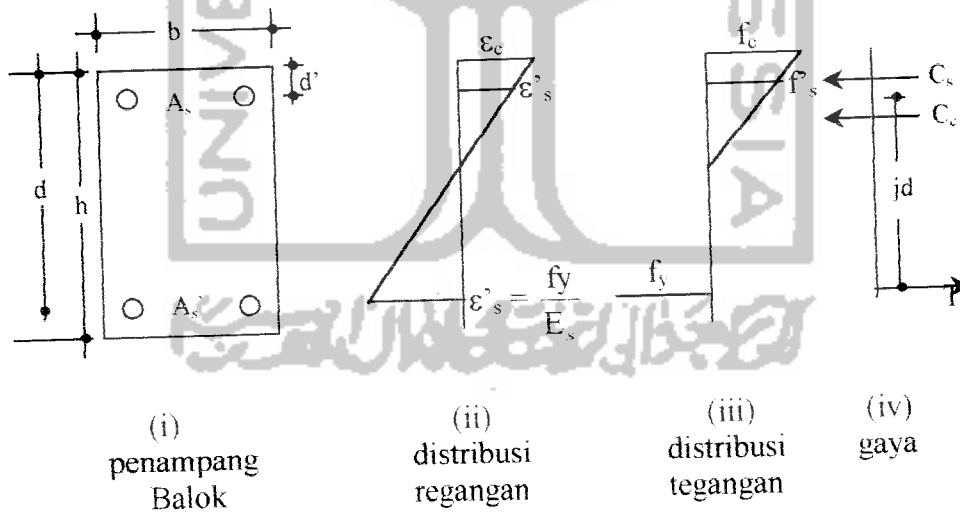
$$f_r = 0,55 \cdot \sqrt{f_c}$$

$$= 0,55 \cdot \sqrt{30,11051} = 3,018 \text{ Mpa}$$

$$M_{cr} = \phi \cdot \frac{f_r \cdot I}{\bar{y}} = 3,018 \cdot \frac{78338545,9416}{102,82} = 2299,414 \text{ N-mm}$$

$$\phi_{cr} = \frac{f_r}{E_c \cdot \bar{y}} = \frac{3,018}{25,790331 \cdot 1000 \cdot 102,82} = 1,1381 \cdot 10^{-6} \text{ rad/mm}$$

• **SETELAH RETAK SAAT LELEH PERTAMA**



Asumsikan bahwa struktur beton berperilaku elastis.

$$k = \left[(\rho - \rho')^2 \cdot n^2 + 2 \left(\rho + \frac{\rho' \cdot d'}{d} \right) n \right]^{1/2} - (\rho + \rho') n$$

$$k = \left[(0,0107 - 4,444 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7,755^2 + 2 \left(0,0107 + \frac{4,444 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{180} \right) 7,755 \right]^{1/2} - (0,0107 + 4,444 \cdot 10^{-3}) 7,755$$

$$k = 0,302045$$

Lampiran 11

maka $kd = 0,302045 \cdot 180 = 54,3681$ mm

$$\varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\varepsilon_s = \frac{306}{200000} = 0,00153$$

Dari diagram diatas didapat :

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \cdot \frac{kd}{d - kd} = 0,00153 \cdot \frac{54,3681}{180 - 54,3681} = 6,6212 \cdot 10^{-4}$$

$$f_c = \varepsilon_c \cdot E_c = 6,6212 \cdot 10^{-4} \cdot 25,790331 \cdot 1000 = 17,07625 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_c \cdot \frac{kd - d'}{kd} = 6,6212 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{54,3681 - 20}{54,3681} = 4,1855 \cdot 10^{-4}$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = 4,1855 \cdot 10^{-4} \cdot 200 \cdot 1000 = 83,71 \text{ Mpa}$$

$$C_c = \frac{1}{2} \cdot f_c \cdot b \cdot kd = \frac{1}{2} \cdot 17,07625 \cdot 100 \cdot 54,3681 = 46420,1634 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s' = 194,83,71 = 16239,74 \text{ N}$$

Gaya gaya ($C_c + C_s$) bekerja pada y_a , dimana :

$$y_a = \frac{(d' \cdot C_s) + C_c (kd/3)}{(C_c + C_s)}$$
$$\frac{(20 \cdot 16239,74) + 46420,1634 \left(\frac{54,3681}{3} \right)}{(16239,74 + 46420,1634)} = 18,60924 \text{ mm}$$

$$jd = d - y_a = 180 - 18,60924 = 161,39 \text{ mm}$$

$$M_y = A_s \cdot f_y \cdot jd$$

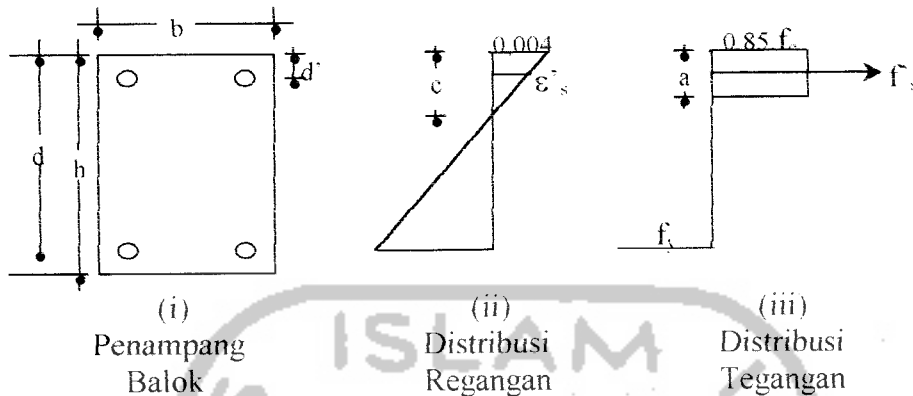
$$M_y = 194,385 \cdot 161,39$$

$$M_y = 12054219 \text{ N-mm} = 12054,219 \text{ kN-mm}$$

$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_s}{d(1 - k)}$$

$$\varphi_y = \frac{0,00153}{180 - 54,3681} = 1,2178 \cdot 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

• **SETELAH RETAK, BEBAN MAKSIMUM**



Diasumsikan bahwa semua baja, baik tekan maupun tarik mengalami leleh.

$$\epsilon_s' , \epsilon_s \geq \epsilon_y$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 30,11051 \cdot a \cdot 100 = 2559,4 \cdot a \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y' = 80,385 = 30800 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y = 194,306 = 59364 \text{ N}$$

$$C_c + C_s = T_s$$

$$2559,4 \cdot a + 30800 = 59364$$

$$a = 11,16$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$c = 13,13 \text{ mm}$$

Cek regangan baja:

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{385}{200000} = 1,925 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_s' = 0,003 \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,003 \cdot \frac{13,13 - 20}{13,13} = -1,03 \cdot 10^{-5} < \epsilon_y \rightarrow f_s' < f_y$$

$$\epsilon_s = 0,003 \cdot \frac{d - c}{c} = 0,003 \cdot \frac{180 - 13,13}{13,13} = 0,038 > \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$$

Nampak bahwa $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_s'$. Kondisi ini menunjukkan bahwa tulang baja tarik telah luluh, sedangkan tulangan baja tekan belum leleh. Maka asumsi awal salah.

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \cdot E_s = \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \cdot 0,003 \cdot E_s$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s' = 80 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot 20}{a} \cdot 0,003 \cdot 200000$$

$$C_s = \frac{48000 \cdot a - 816000}{a}$$

$$C_c + C_s = T_s$$

Lampiran 11

$$C_c + C_s - T_s$$

$$2559,4.a + \frac{48000.a - 816000}{a} = 59364$$

dari persamaan diatas diperoleh nilai $a = 20,2132$ mm

$$C_s = \frac{48000.a - 816000}{a}$$

$$C_s = 7630,34 \text{ N}$$

$$f_s' = \frac{C_s}{A_s'} = \frac{7630,34}{80} = 95,38 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 2559,4.a = 2559,4.20,2132 = 51733,66 \text{ N}$$

Cek :

$$C_c + C_s = T_s$$

$$51733,66 + 7630,34 = 59364 \text{ N} \approx T_s = 59364 \text{ N}$$

Ok!

Maka momen ultimit dapat dihitung dengan rumus:

$$M_u = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d')$$

$$= 51733,66 \left(180 - \frac{20,2132}{2} \right) + 7630,34 (180 - 20)$$

$$= 12500001,548 \text{ N-mm} \approx 12500 \text{ kN-mm}$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

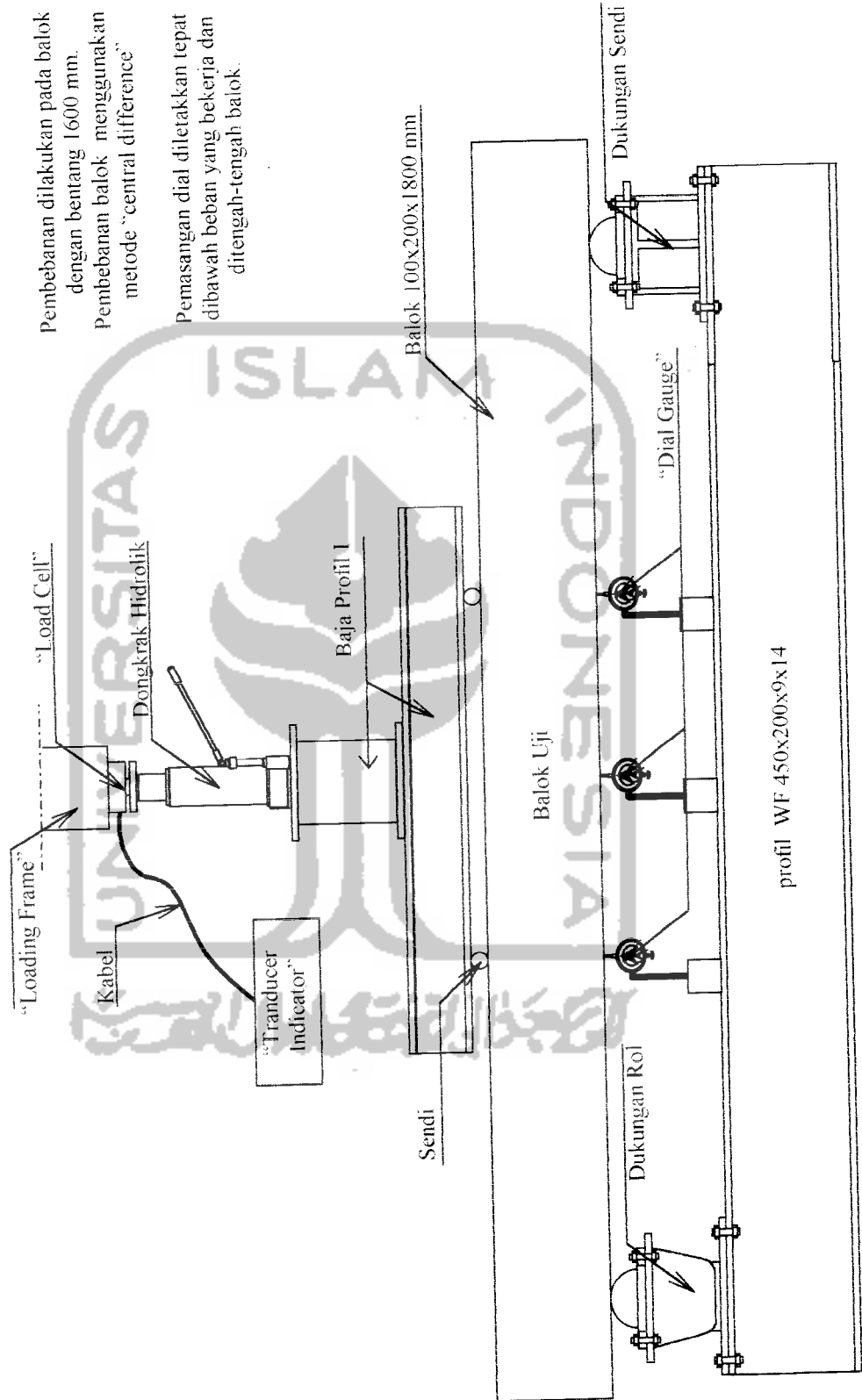
$$c = 23,78 \text{ mm}$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0,003}{23,78} = 7,5 \cdot 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

Tabel A. Momen dan Kelengkungan

	Sebelum Retak	Leleh Pertama	Ultimit
M (N-mm)	2299414	12054219	12500001,54
ϕ (rad/mm)	$1,1381 \cdot 10^{-6}$	$1,2178 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$

Rencana Pembebanan Balok Beton Bertulang

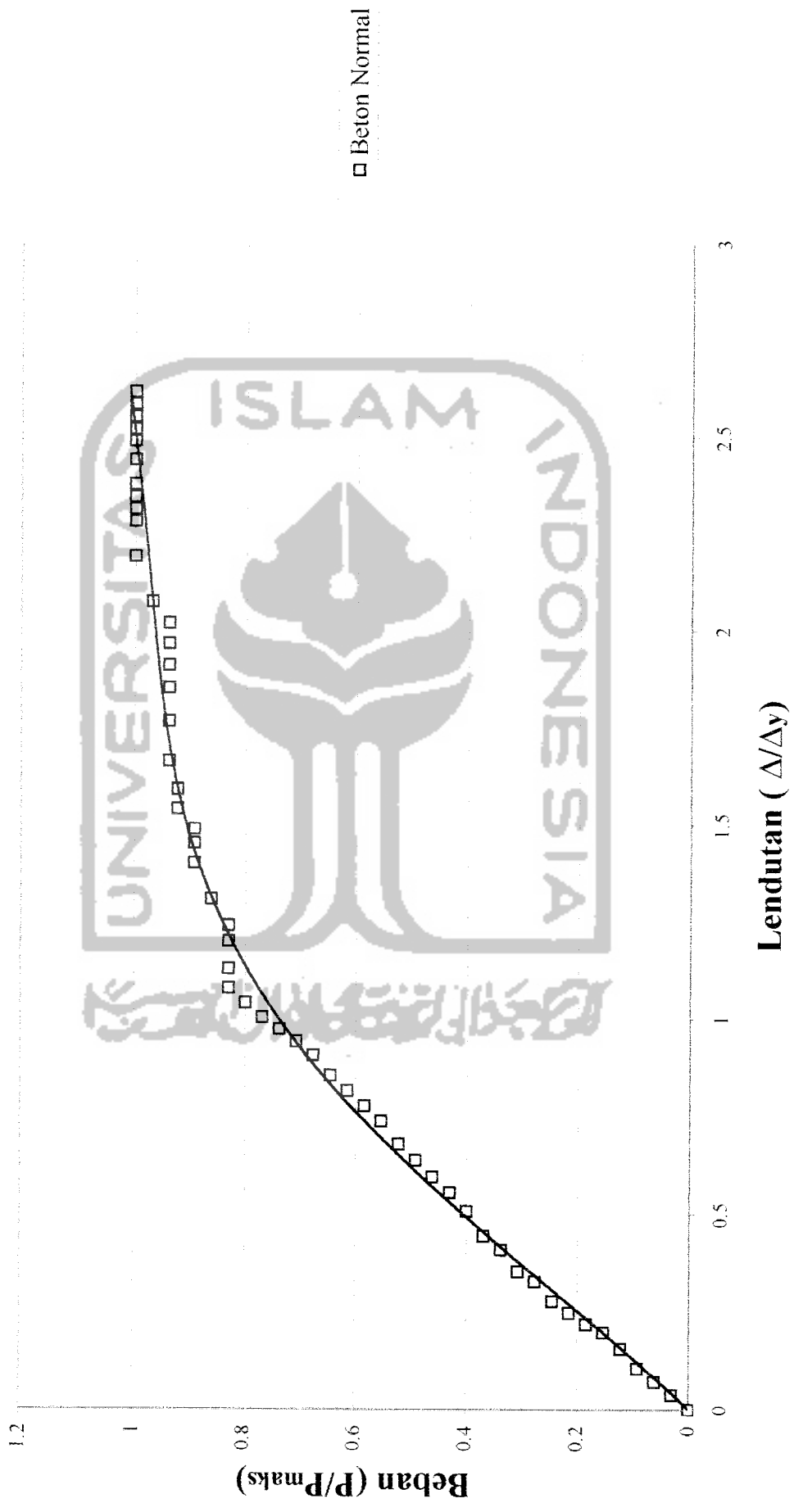


Pembebanan dilakukan pada balok dengan bentang 1600 mm. Pembebanan balok menggunakan metode “central difference”

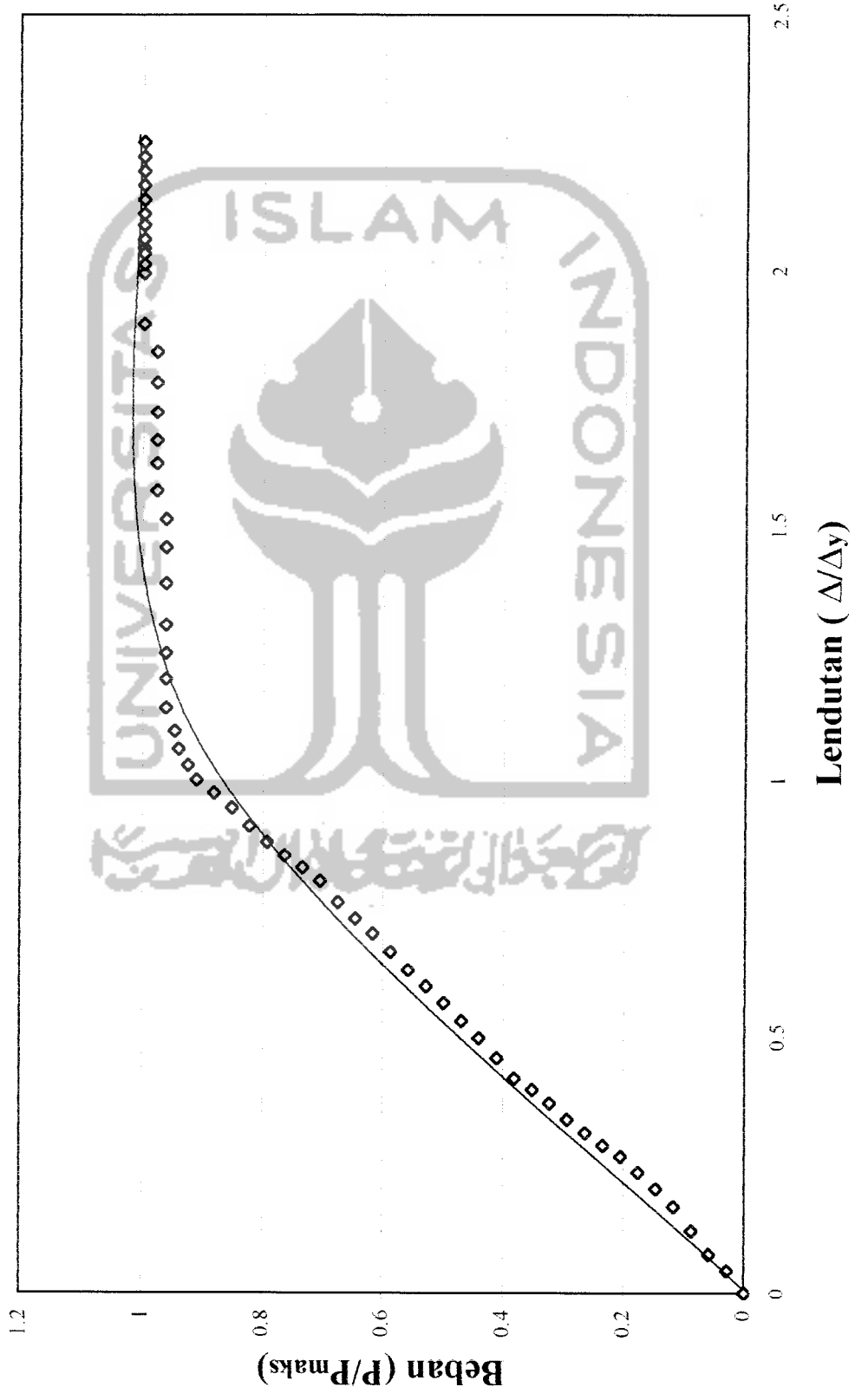
Pemasangan dial diletakkan tepat dibawah beban yang bekerja dan ditengah-tengah balok.

Sampel	Ukuran		Luas (cm)	P Max (kN)	Kuat Desak	fr (Mpa)	Standar Deviasi	f _c (Mpa)	Kenaikan		P (kN)	M _{cr} (kNm)	
	D (cm)	f (cm)							f _c	%			
C1	C1-1	15.02	29.94	177.2574571	755	43.432503							
	C1-2	15.02	30.02	177.2574571	705	40.556178							
	C1-3	15.03	30.08	177.4935643	720	41.363979							
	C1-4	14.92	29.97	174.9050286	785	45.765665							
	C1-5	15.01	29.93	177.0215071	750	43.202378	42.64	1.85864	39.591427	9.481	31.5	3.4607	7.008	1868.775043
C2	C2-1	15.01	30.06	177.0215071	765	44.066425							
	C2-2	15.08	30.09	178.6764571	710	40.51944							
	C2-3	15.03	30.08	177.4935643	730	41.938478							
	C2-4	15.07	30.01	178.4395643	715	40.85896							
	C2-5	15.05	30.07	177.96625	780	44.691957							
D1	D1-1	15.04	29.95	177.7298286	765	43.890804							
	D1-2	15.05	29.93	177.96625	740	42.400062							
	D1-3	15.02	29.95	177.2574571	860	49.472785							
	D1-4	15.09	30.05	178.9135071	805	45.880186							
	D1-5	14.93	30.01	175.1395643	845	49.197707	44.617	2.80509	40.016403	9.906	32.9	3.4792	7.0455	1878.778041
D2	D2-1	15.01	29.91	177.0215071	755	43.490393							
	D2-2	15.03	29.92	177.4935643	745	42.800228							
	D2-3	15.02	30.08	177.2574571	785	45.158298							
	D2-4	15.02	29.9	177.2574571	730	41.99434							
	D2-5	15.04	30.06	177.7298286	730	41.882728							
E1	E1-1	15.03	30.01	177.4935643	895	51.417723							
	E1-2	15.08	29.9	178.6764571	835	47.653144							
	E1-3	15.04	29.96	177.7298286	880	50.488768							
	E1-4	15.01	29.05	177.0215071	860	49.538726							
	E1-5	15.02	30.09	177.2574571	930	53.499639	48.5	4.08592	41.799352	11.69	38.8	3.5559	7.2007	1920.17682
E2	E2-1	15	29.9	176.7857143	945	54.5076							
	E2-2	15.06	30.1	178.2028286	780	44.632625							
	E2-3	15.07	30.2	178.4395643	785	44.859138							
	E2-4	15.05	30.1	177.96625	810	46.410878							
	E2-5	15.02	30.08	177.2574571	730	41.99434							

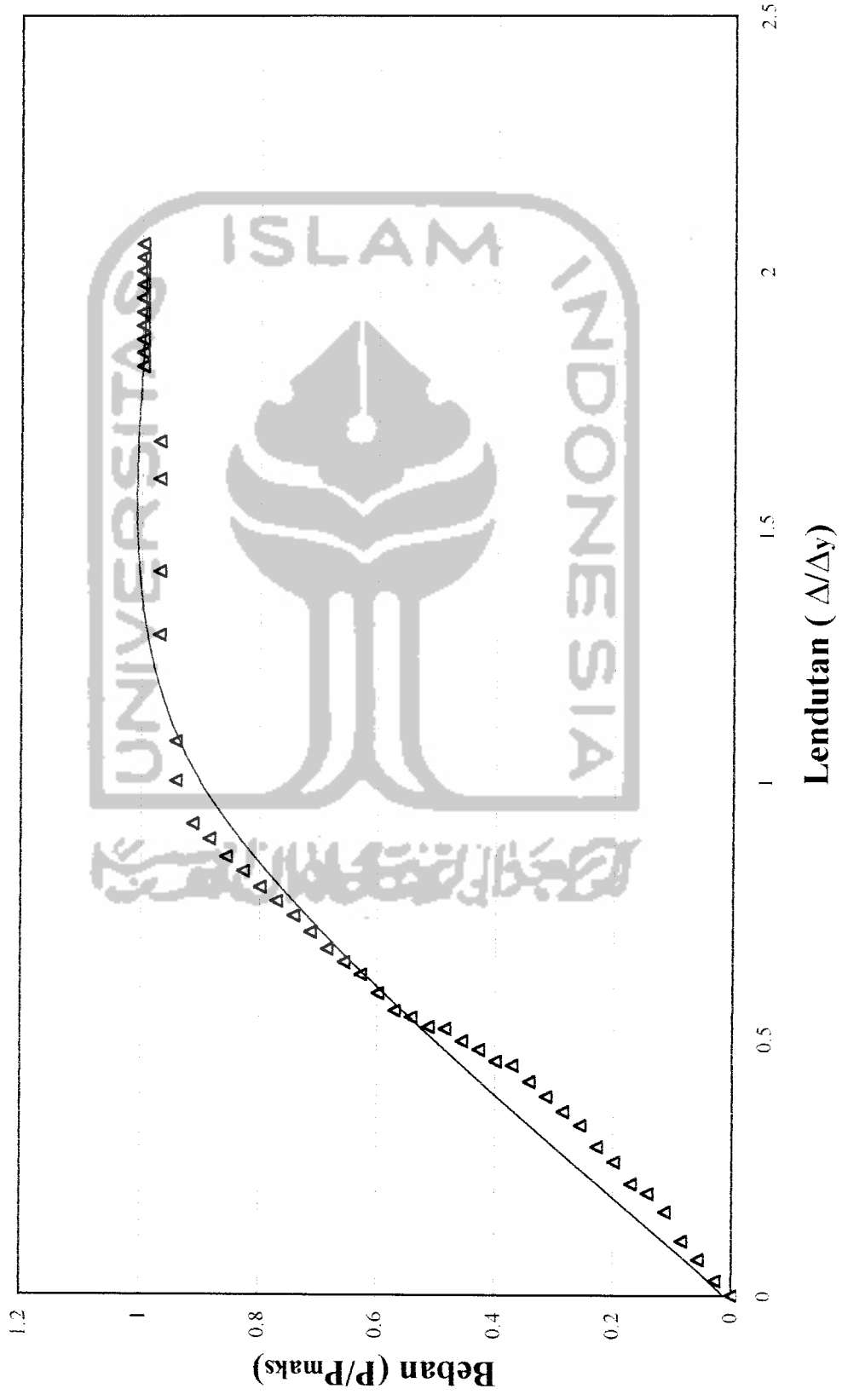
Grafik Beban - Lendutan Balok Normal



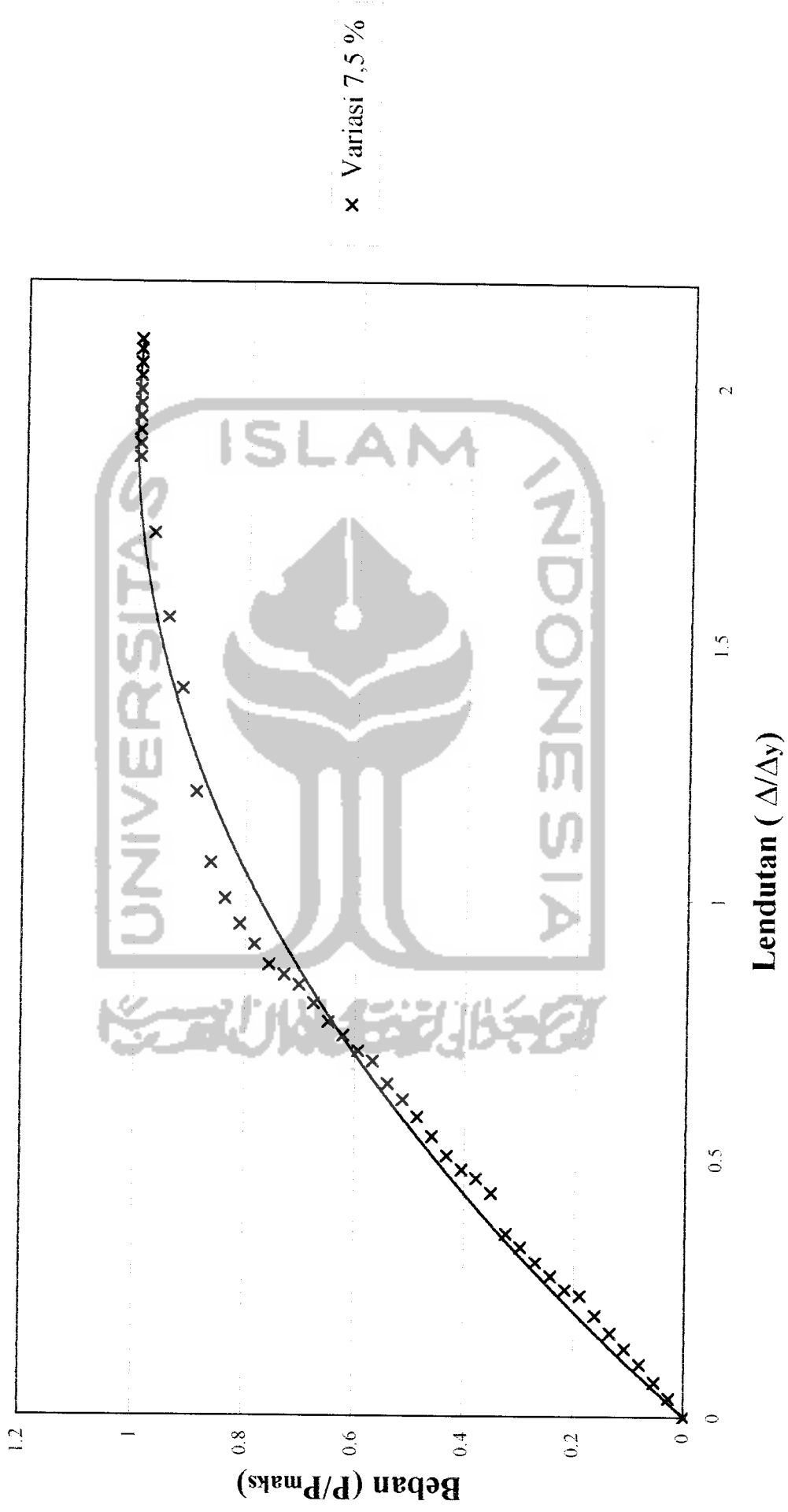
Grafik Beban - Lendutan Balok Variasi 2,5 %



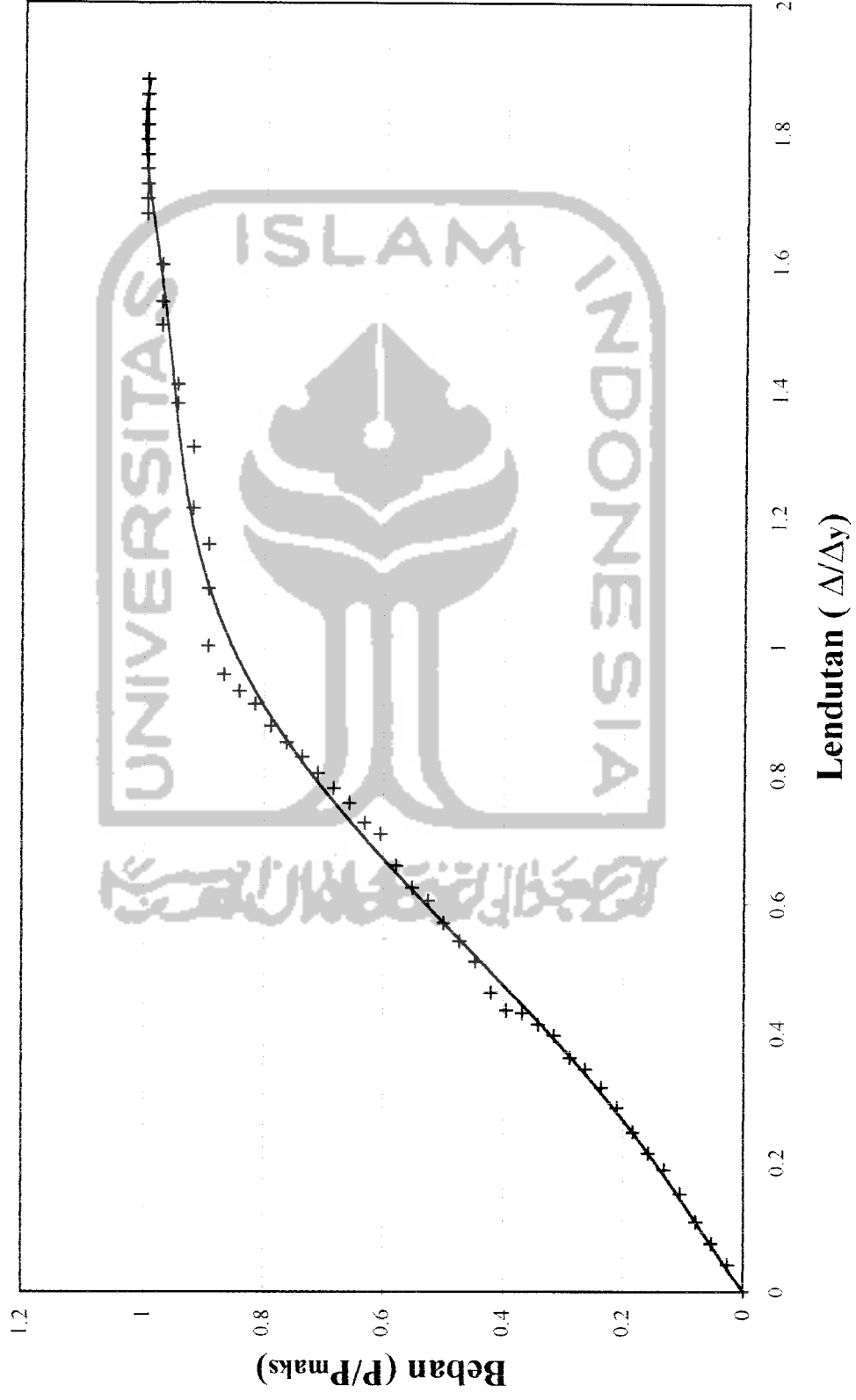
Grafik Beban - Lendutan Balok Variasi 5 %



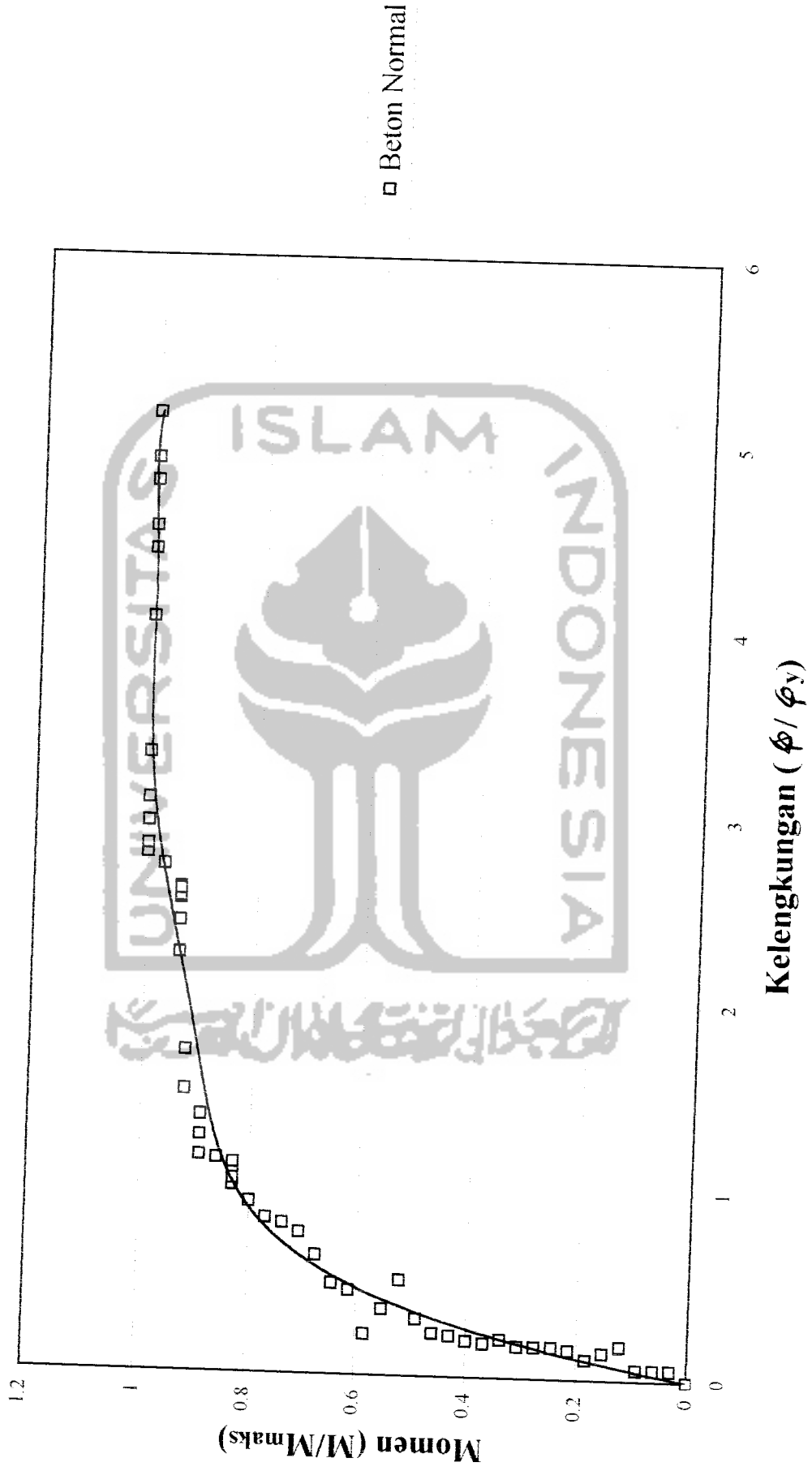
Grafik Beban-Lendutan Balok Variasi 7,5 %



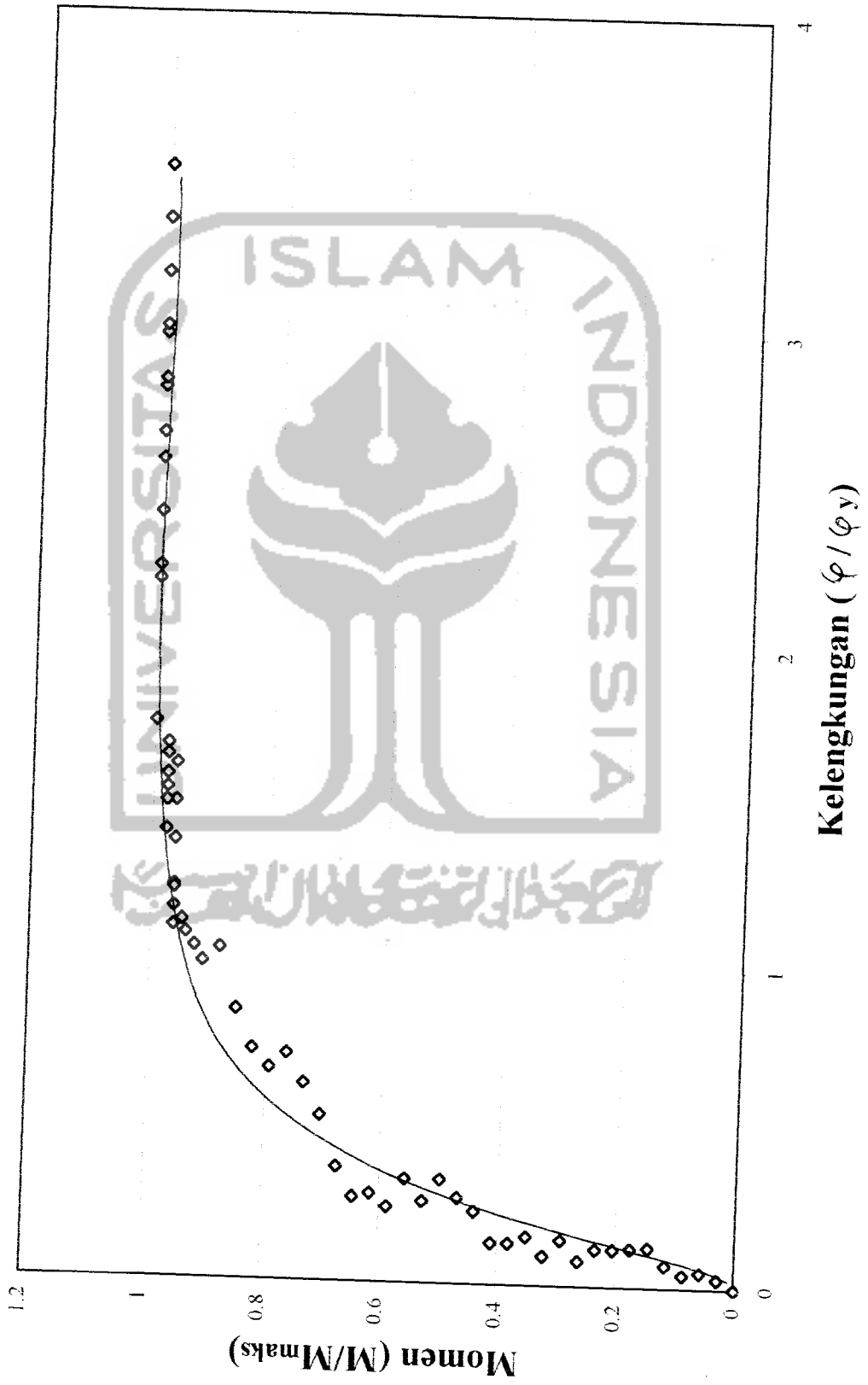
Grafik Beban - Lendutan Balok Variasi 10 %



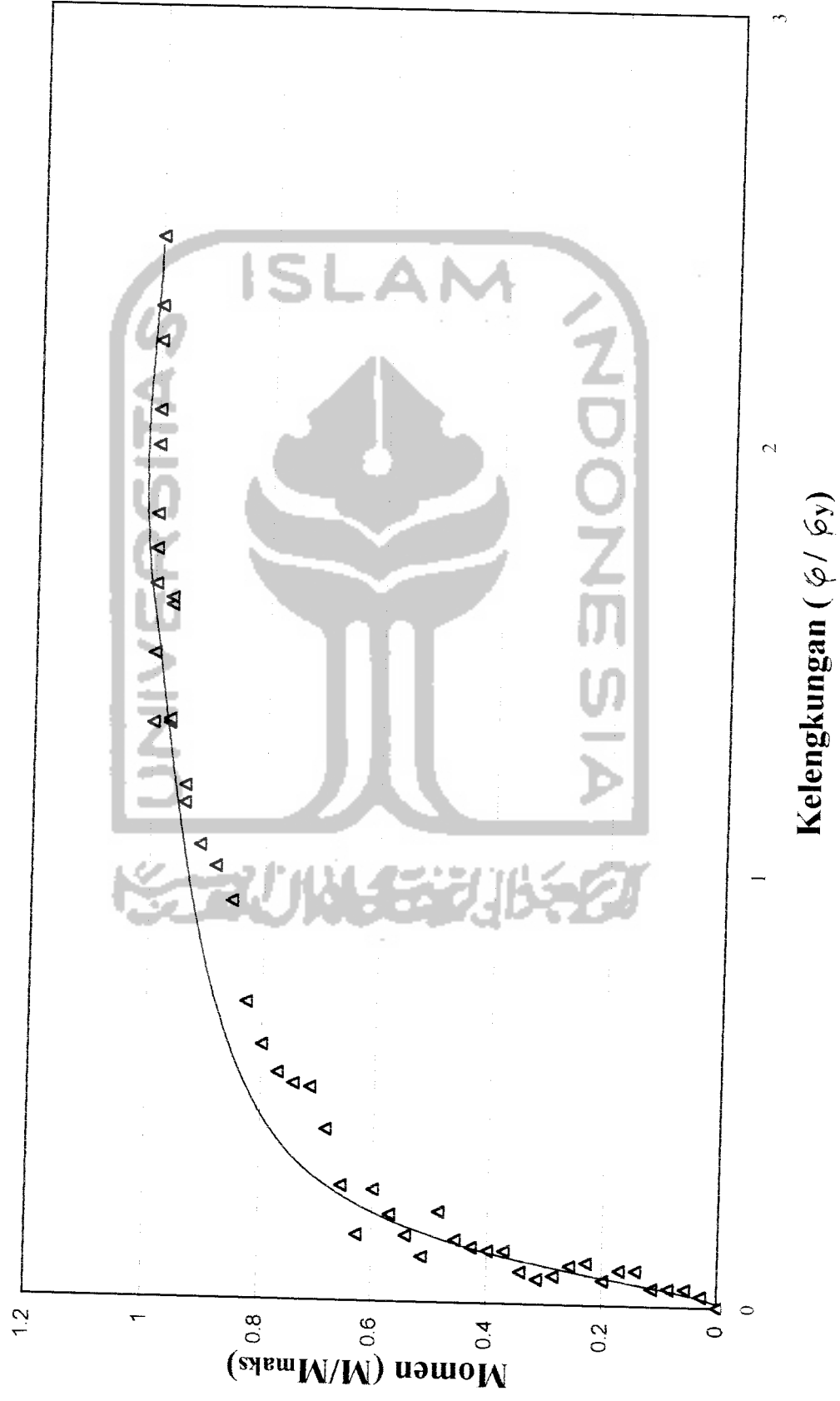
Grafik Momen - Kelengkungan Balok Normal



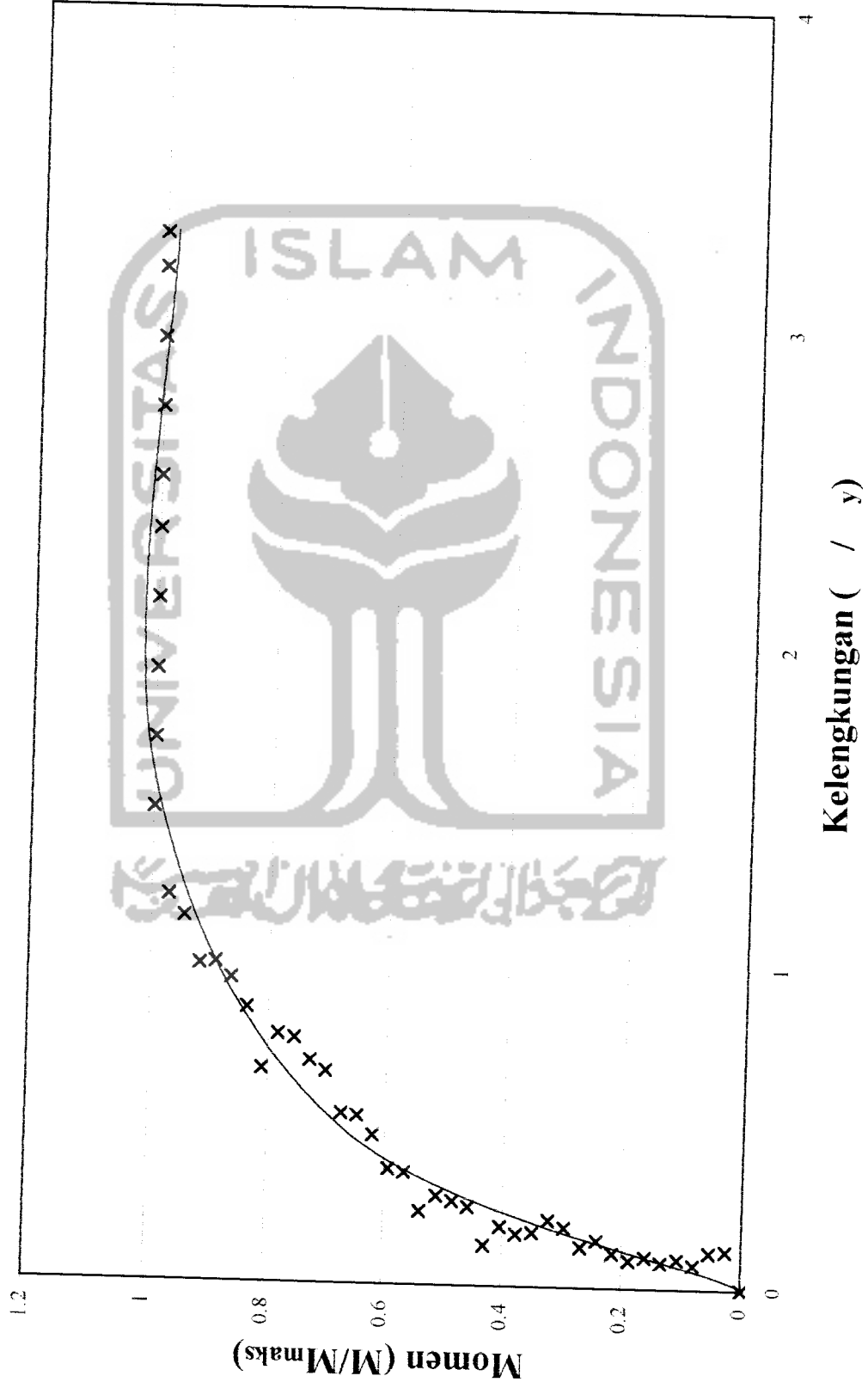
Grafik Momen - Kelengkungan Balok Variasi 2,5 %



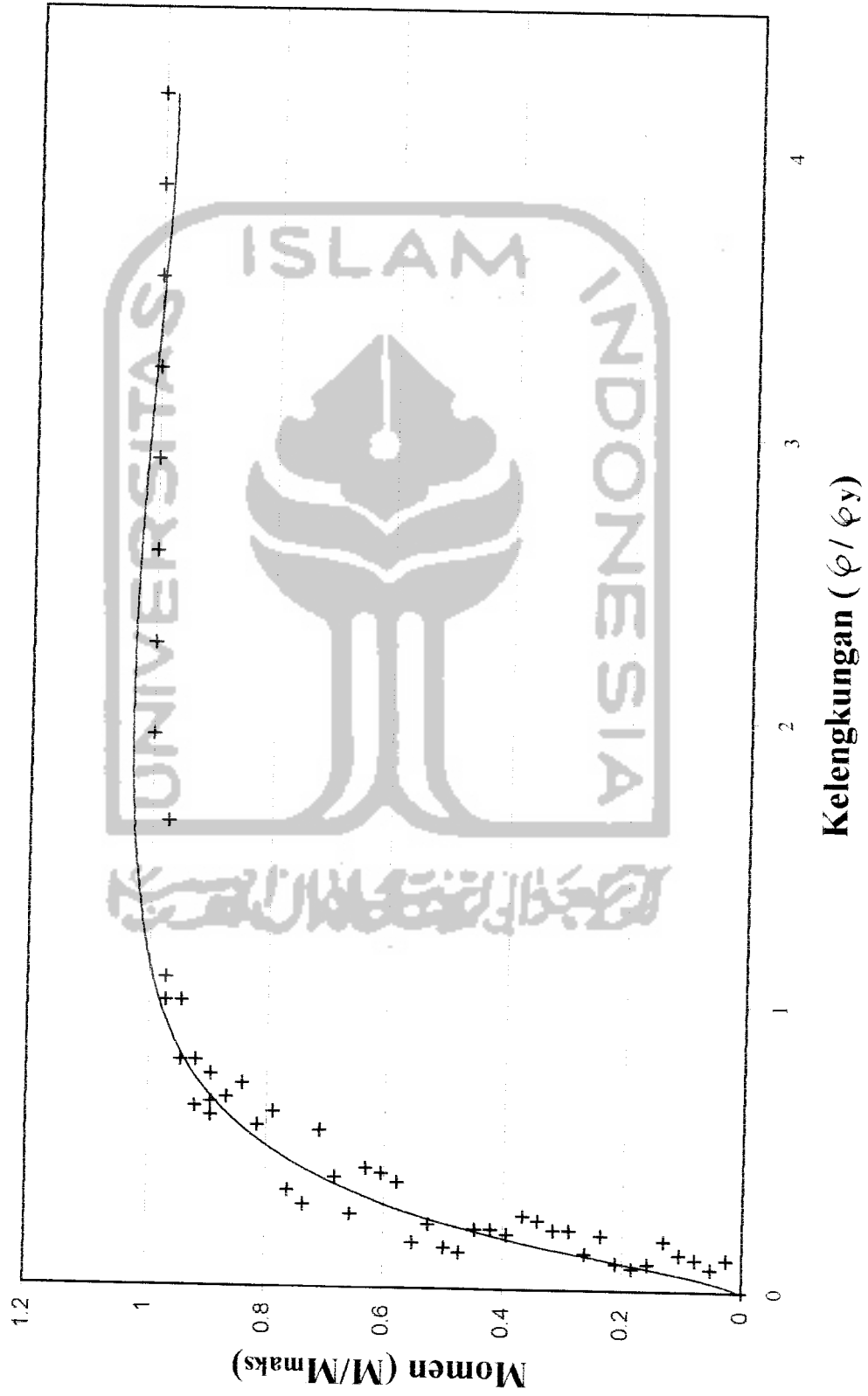
Grafik Momen - kelengkungan Balok Variasi 5 %



Grafik Momen - Kelengkungan Balok Variasi 7,5 %



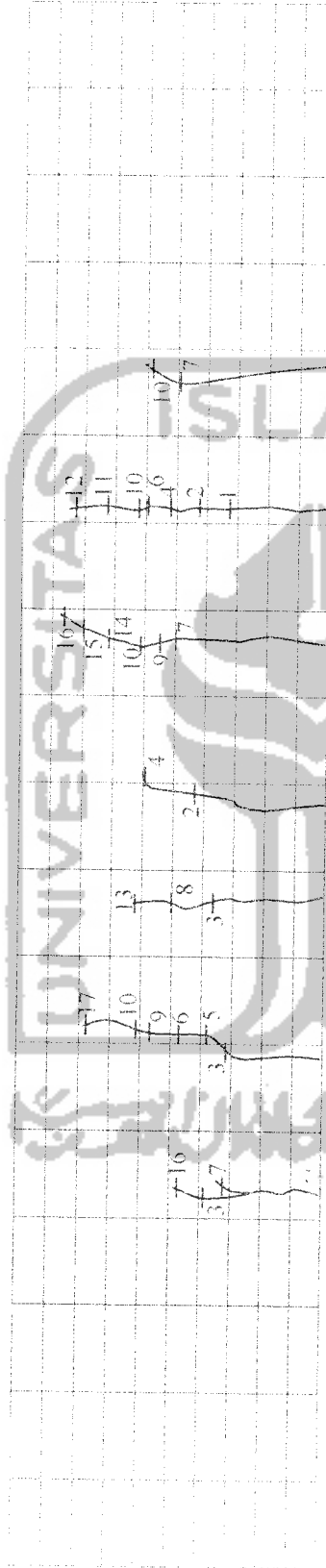
Grafik Momen - Kelengkungan Balok Variasi 10 %



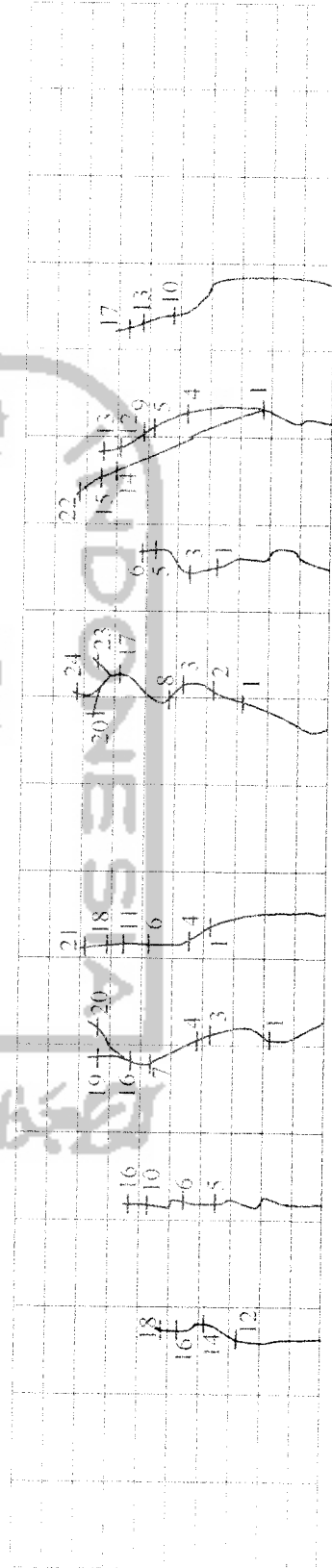
+ Variasi 10 %

GAMBAR POLA RETAK BALOK BETON BERTULANG

Sampel RCB-A2

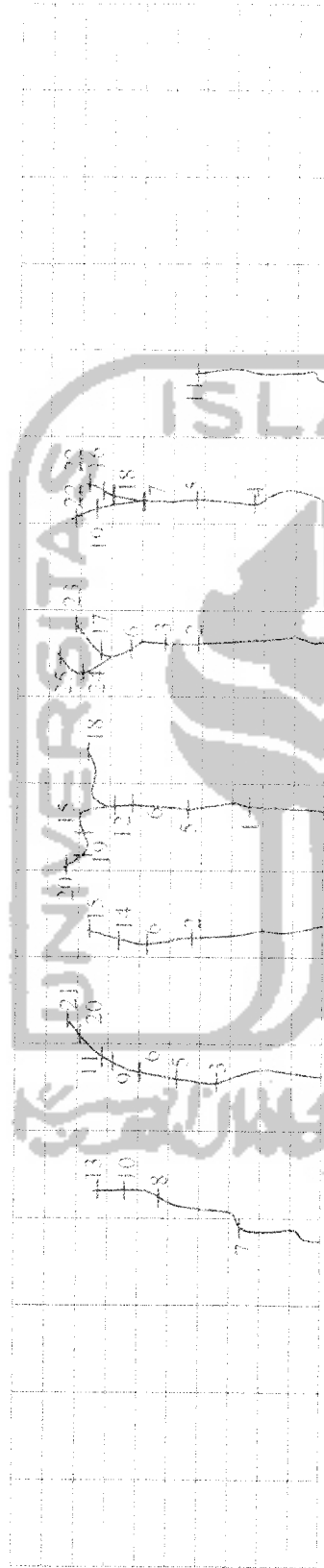


Sampel RCB-B1

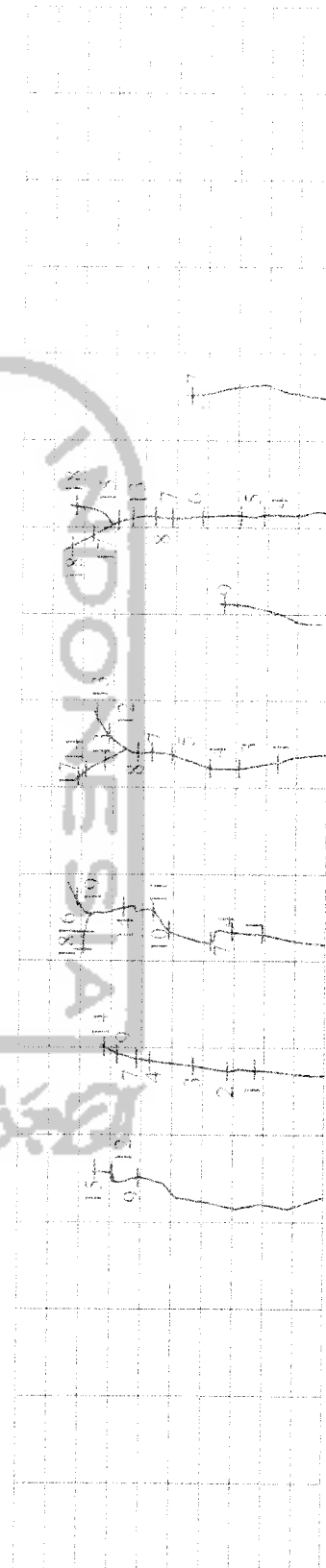


GAMBAR POLA RETAK BALOK BETON BERTULANG

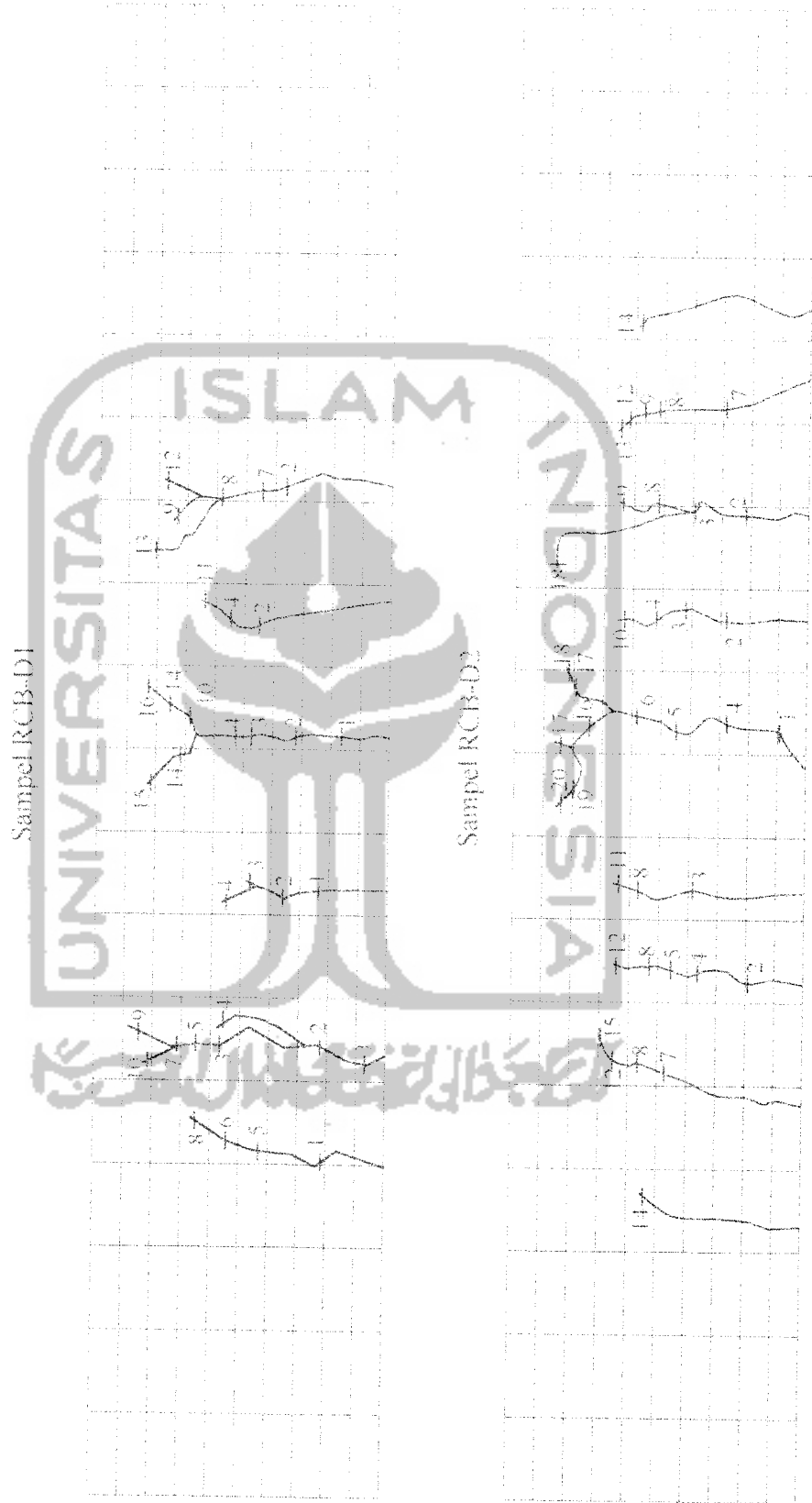
Sampel RCB-B2



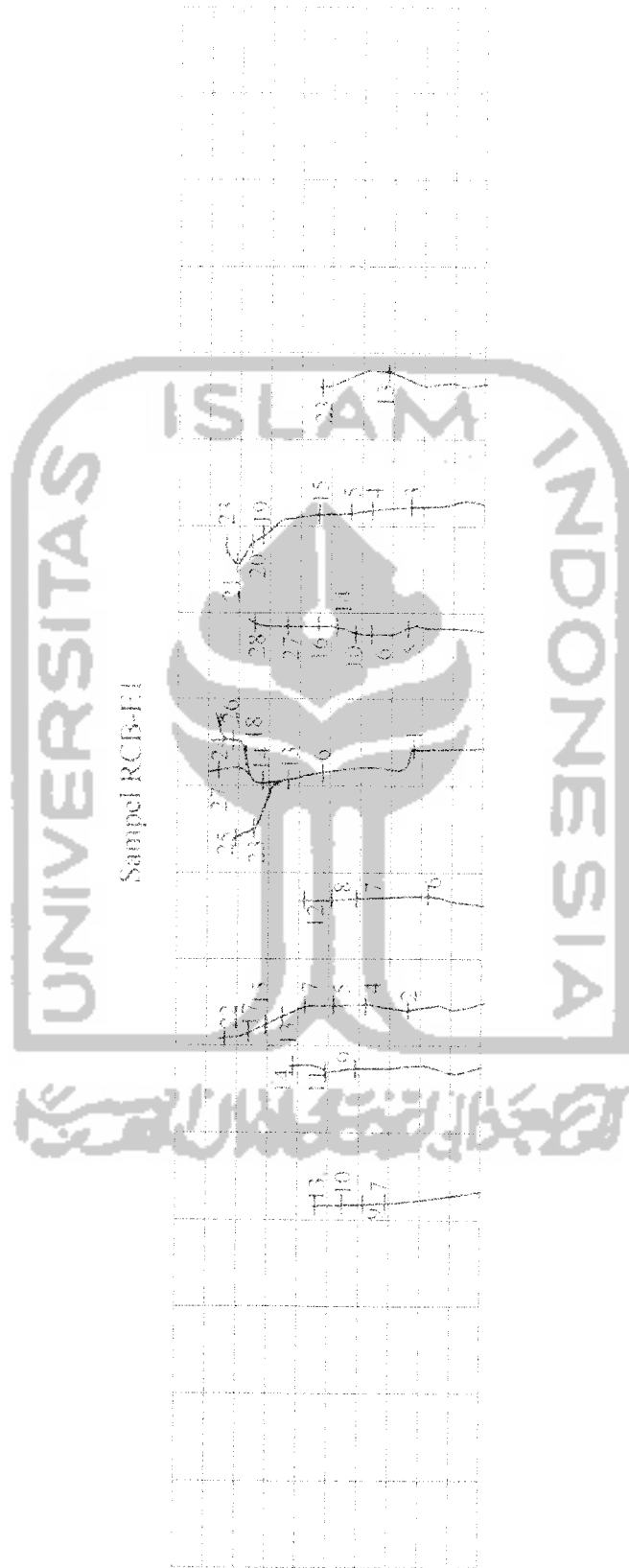
Sampel RCB-C1



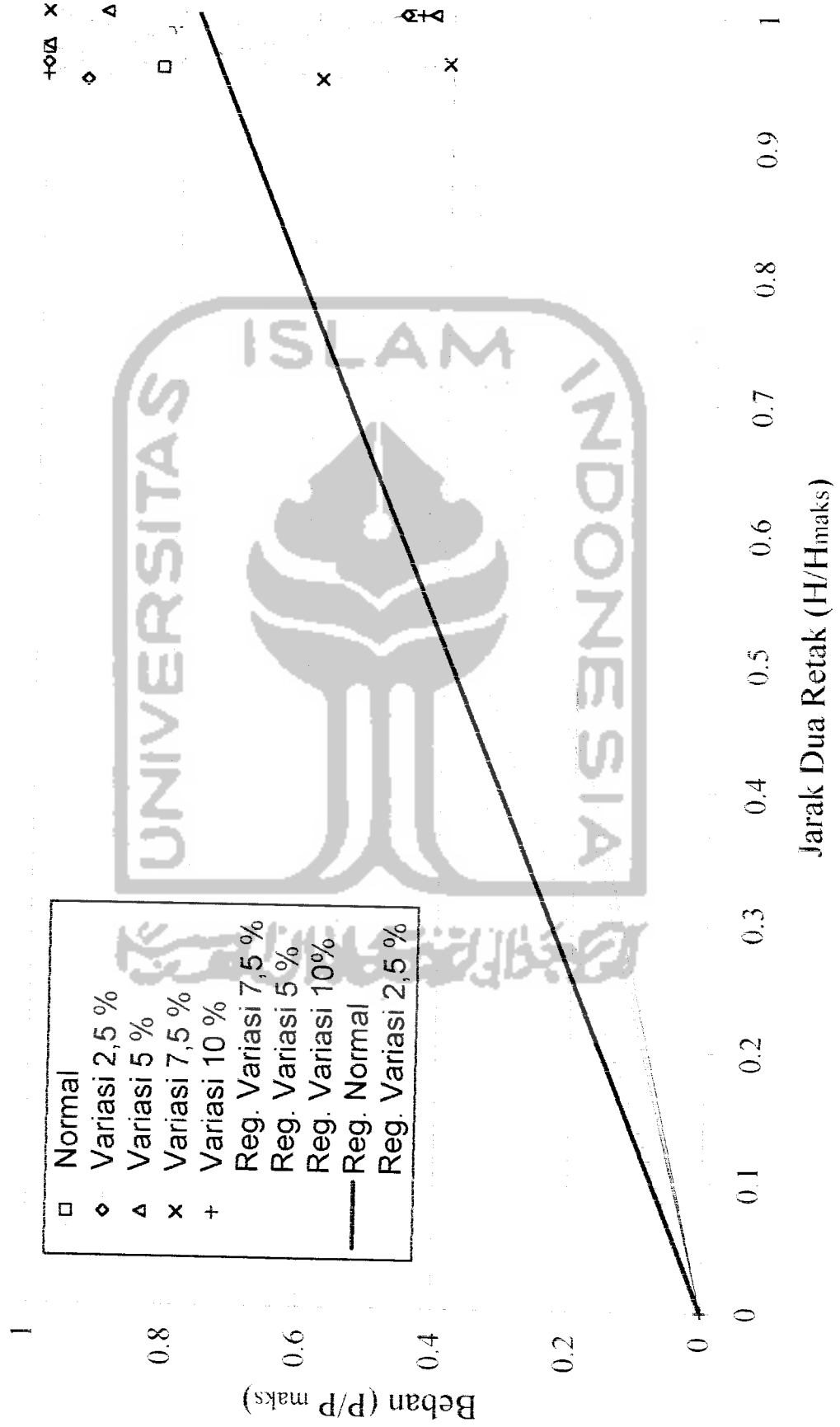
GAMBAR POLA RETAK BALOK BETON BERTULANG



GAMBAR POLA RETAK BALOK BETON BERTULANG

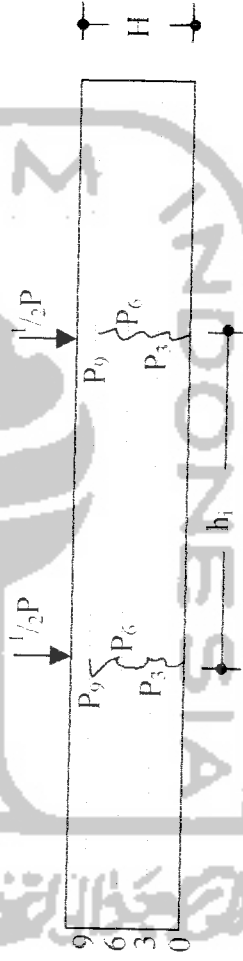


Grafik Hubungan Beban dan Jarak Dua Retak



DATA HUBUNGAN BEBAN TERHADAP JARAK DUA RETAK

Notasi	SAMPel																				
	A			B			C			D			E								
	0	3	6	9	0	3	6	9	0	3	6	9	0	3	6	9	0	3	6	9	
h_i	0	7,1	6,8	6,9	0	7,6	7,2	7,3	0	7,7	7,7	7,5	0	7,6	7,5	7,9	0	8,2	8,1	7,8	
P_i	0	15	27	32,5	0	16	32	34	0	15	32	35	0	15	22	37	0	17	31	38	
H_{maks}	7,6																				
P_{Maks}	7,7																				
	34																				
	35																				
	37																				
	8,2																				
	38																				



Keterangan :

- h_i = jarak 2 retak
- P_i = beban yang bekerja pada saat retak terjadi
- H_{maks} = jarak retak maksimum balok yang terjadi
- P_{maks} = beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok

DOKUMENTASI PENELITIAN



Foto 1 Proses pengayakan pecahan kaca untuk mendapatkan tepung kaca yang lolos saringan No. 200 ASTM (75 - 150 μm).

DOKUMENTASI PENELITIAN

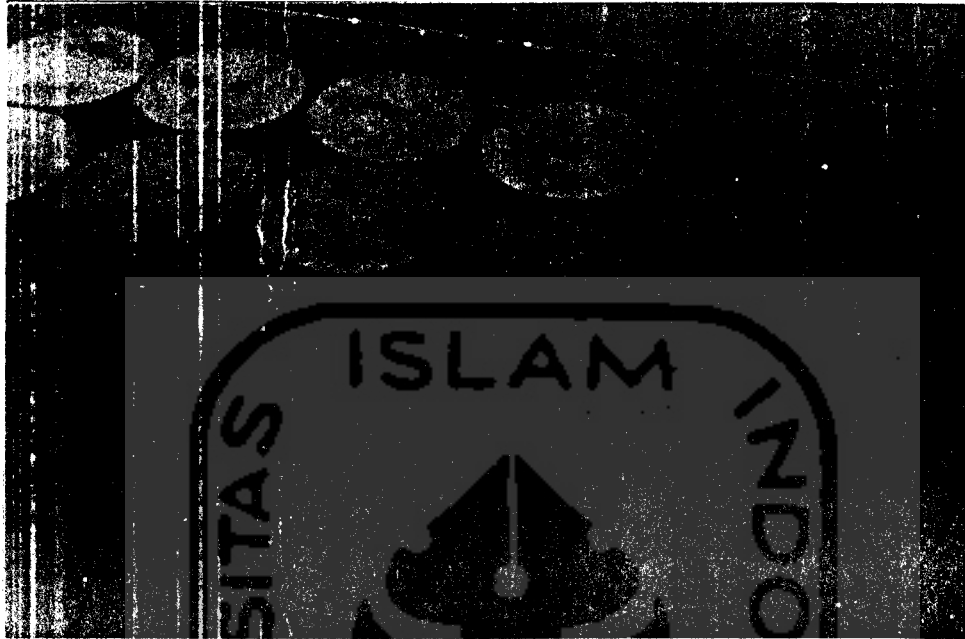


Foto 2 Proses perawatan silinder beton dengan merendam ke dalam bak selama 28 hari.
(Test oleh Aryawan & Bobby)

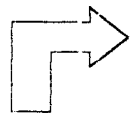


Foto 3 Pengujian kuat desak silinder beton umur 28 hari.

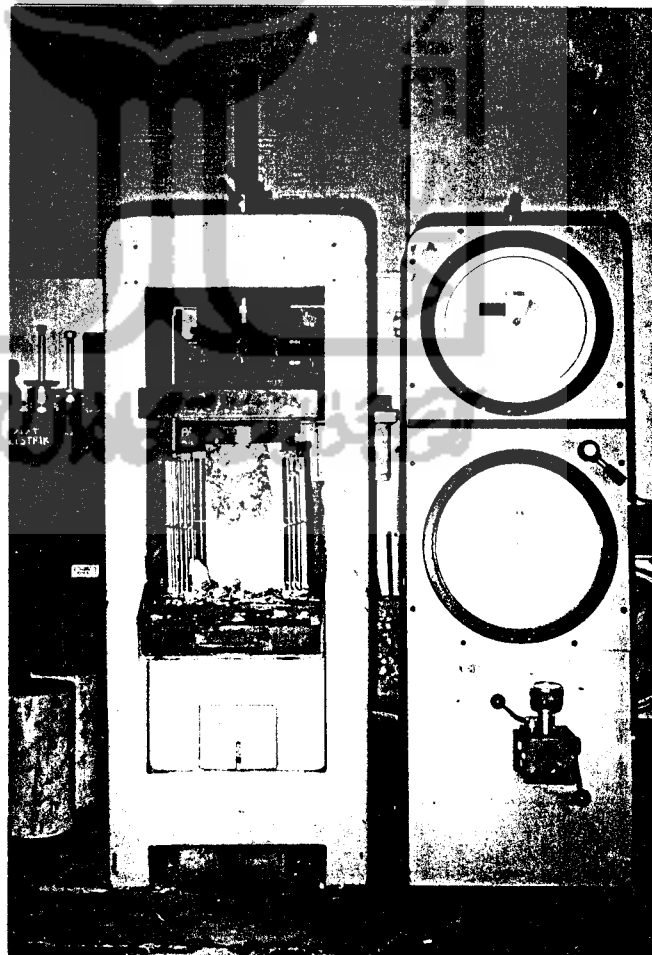




Foto 4 Proses perawatan balok beton bertulang yang dilakukan dengan cara menyelimuti dengan karung basah.

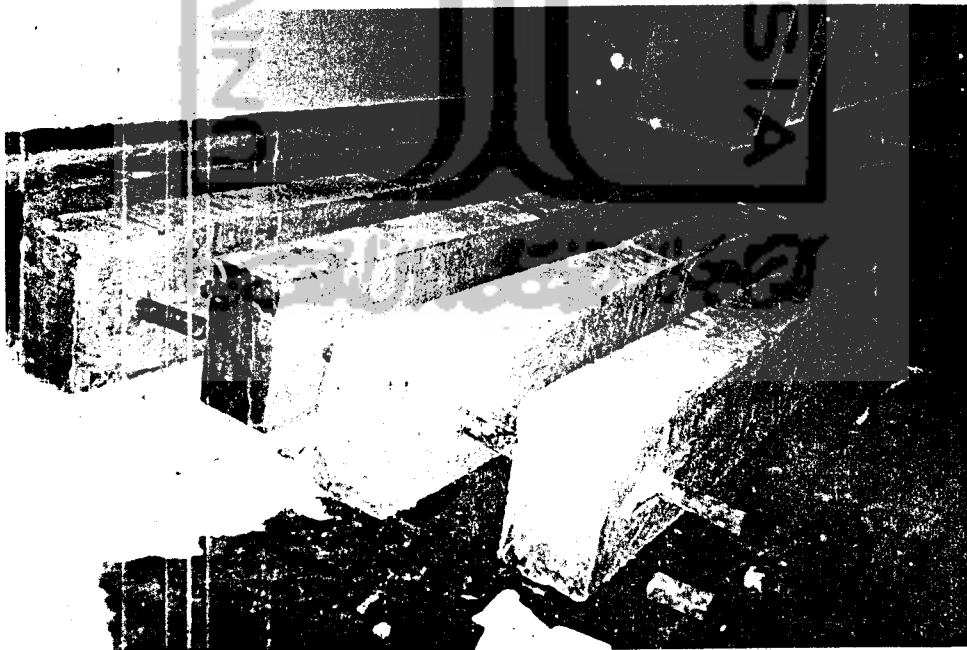


Foto 5 Balok beton bertulang umur 28 hari, dan siap untuk diuji.

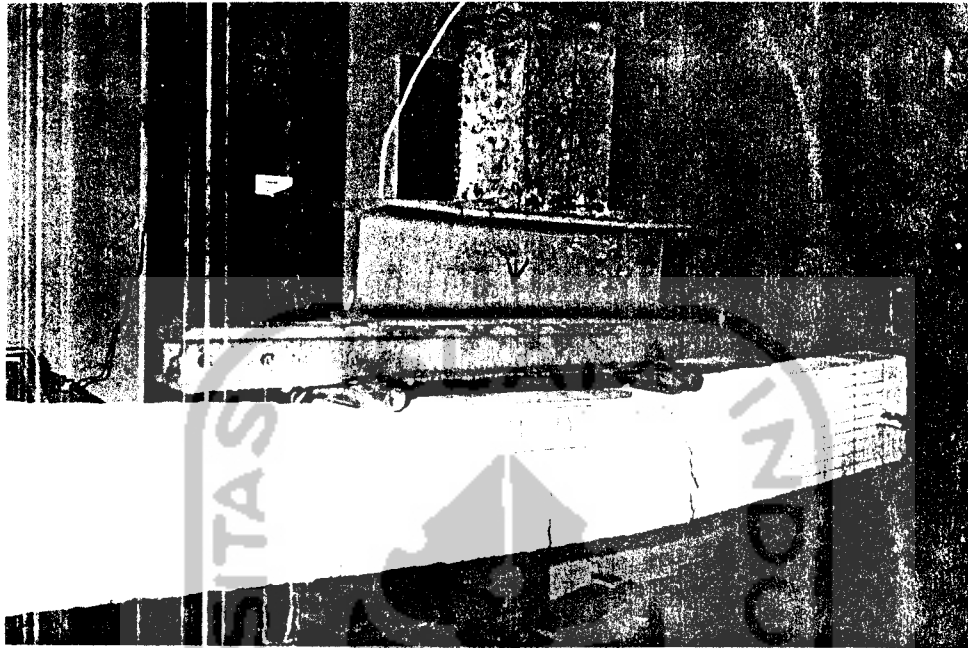


Foto 6 Gambar pola retak lentur pada balok beton bertulang yang mengalami kegagalan lentur sebelum beban mencapai maksimum.

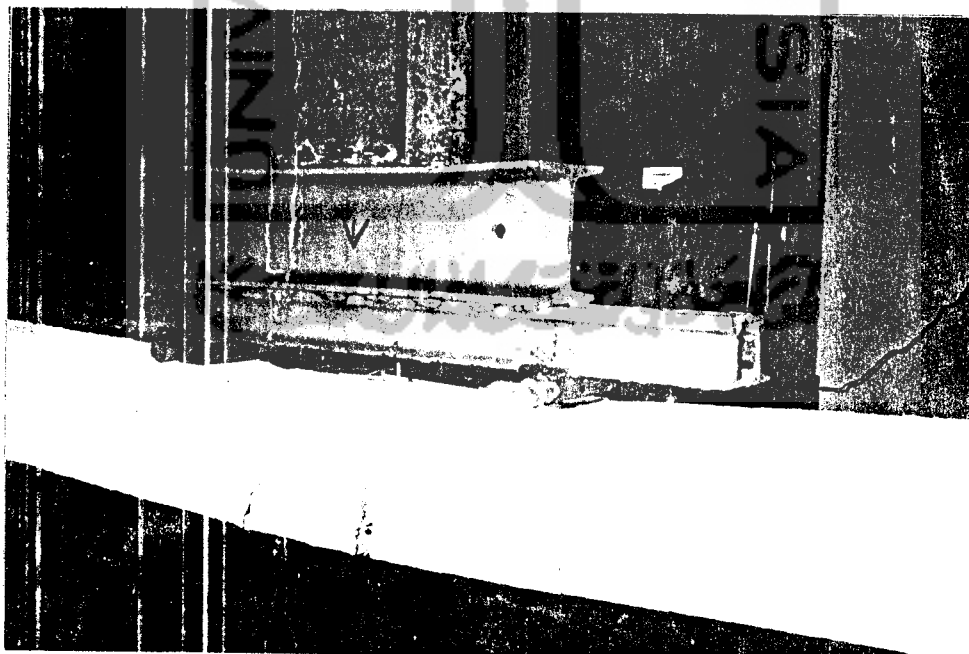


Foto 7 Gambar pola retak lentur pada balok beton bertulang yang mengalami kegagalan lentur setelah beban mencapai maksimum.