

PERPUSTAKAAN FESF UII  
HARIAN/DILI  
TEL. TERMA : 09-10 - 00 10/glor  
NO. JUDUL : 52000 3186001  
NO. DOK. : 437

TUGAS AKHIR

**KUAT LENTUR BALOK BETON "FIBER"  
KAWAT BENDRAT PASCA BAKAR**

JA  
6/3/04  
YUL  
K  
2000



PERPUSTAKAAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Disusun Oleh :

**Muhammad Arif Yulianto**  
No Mhs : 94 310 165  
NIRM : 940051013114120164

**Fauzan Hamdi**  
No Mhs : 94 310 269  
NIRM : 940051013114120261

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

# **TUGAS AKHIR KUAT LENTUR BALOK BETON “FIBER” KAWAT BENDRAT PASCA BAKAR**

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

**Disusun oleh:**

**Muhammad Arif Y.**

No. Mhs. : 94 310 165

Nirm. : 940051013114120164

**Fauzan Hamdi**

No. Mhs. : 94 310 269

Nirm. : 940051013114120261

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

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**KUAT LENTUR BALOK BETON “FIBER”KAWAT BENDRAT  
PASCA BAKAR**

disusun oleh :

Nama : Muhammad Arif Y.  
No. Mhs : 94 310 165

Nama : Fauzan Hamdi  
No. Mhs : 94 310 269

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Ir. Susastrawan, MS**

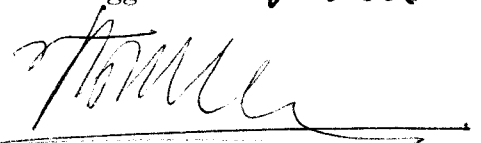
-----  
Dosen Pembimbing I

**Ir. Fatkhurrohman NS, MT**

-----  
Dosen Pembimbing II



-----  
Tanggal : 15-9-2000



-----  
Tanggal : 15-09-2000

## 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 Nasyrah ayat 6)

*Kupersembahkan Tugas Akhir ini kepada  
Ayahanda dan Ibunda yang kuhormati dan kucintai,  
Serta adik-adikku yang kusayangi  
yang telah mendo'akan dan memberikan kasih  
sayang, semangat, dan kepercayaan*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan ridho-Nya kepada kita semua, 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. Susastrawan, MS ,selaku Dosen Pembimbing I,
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman NS, MT , selaku Dosen Pembimbing II,
3. Bapak Ir. Suharyatmo, MT , selaku Dosen Penguji Tugas Akhir,
4. Bapak dan Ibu tercinta yang telah memberi dorongan moril maupun materiil dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
5. Bapak Ir. 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 FTSP Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
8. Bapak Ir. Albani Musyafa , selaku pengelola Laboratorium Struktur FTSP Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
9. Mas Daru dan mas Warno selaku pengelola Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
10. Teman-teman yang telah membantu dalam pelaksanaan pengujian benda uji dan penyusunan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, oleh karena keterbatasan pengetahuan tentang perilaku lentur beton fiber pasca bakar. Untuk itu penyusun mengharap kritik dan saran yang bersifat konstruktif dalam pengembangan dimasa mendatang.

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

Semoga Allah SWT memberkati kita semua, Amien.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, Agustus 2000

Penyusun

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
DAFTAR SIMBOL .....	xiii
INTISARI .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5

BAB III LANDASAN TEORI .....	9
3.1 Beton Bertulang .....	9
3.2 Pengaruh Beton Terhadap Penambahan Serat .....	10
3.3 Pengaruh Temperatur Tinggi Pada Beton .....	13
3.4 Sifat Fisik Beton Pada Temperatur Tinggi .....	14
3.5 Pengaruh Temperatur Pada Modulus Elastisitas Beton .....	14
3.6 Hubungan Beban dan Lendutan .....	15
3.7 Persamaan Deferensial Untuk Defleksi .....	16
3.8 Momen Lentur Penampang Persegi Balok Beton Bertulang .....	20
3.8.1 Momen Lentur Beton Normal .....	20
3.8.2 Momen Lentur Beton Bertulang yang Diberi Serat .....	22
3.8.3 Momen Lentur Beton Bertulang yang Diberi Serat Pasca Bakar .....	25
3.9 Momen Kelengkungan Secara Teoritis .....	26
3.9.1 Momen Kelengkungan Retak Awal .....	26
3.9.2 Momen Kelengkungan Setelah Retak Pada Saat Leleh Pertama .....	29
3.9.3 Momen Kelengkungan .....	30
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	32
4.1 Material Pembentuk Balok Beton .....	32
4.1.1 Semen .....	32
4.1.2 Air .....	32



4.1.3	Agregat.....	32
4.1.4	Baja Tulangan.....	33
4.1.5	"Fiber" Kawat Bendrat.....	33
4.2	Peralatan Pengujian.....	33
4.2.1	Timbangan.....	33
4.2.2	Ayakan.....	34
4.2.3	Mistar dan Kaliper.....	34
4.2.4	Mesin Uji Kuat Tarik.....	34
4.2.5	Mesin Uji Kuat Desak.....	34
4.2.6	Mesin Pengaduk Beton.....	34
4.2.7	Kerucut Abrams.....	35
4.2.8	Tungku Pemanas.....	35
4.2.9	"Loading Frame".....	35
4.2.10	Dukungan Rol dan Sendi.....	36
4.2.11	"Thermokopel".....	37
4.2.12	"Hydraulik jack".....	37
4.2.13	"Dial Gauge".....	37
4.3	Pelaksanaan Penelitian.....	38
4.3.1	Persiapan.....	38
4.3.2	Pembuatan dan Perawatan Model.....	39
4.3.4	Pelaksanaan Pembakaran Benda Uji.....	41
4.3.4	Pelaksanaan Pengujian.....	42

4.4. Hasil Penelitian dan Pembahasan.....	42
4.4.1. Hasil Uji Kuat Desak dan Kuat Tarik Beton.....	42
4.4.2. Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan.....	43
4.4.3. Kuat Lentur Balok.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

No.	Nama Gambar	Hal
3.1	Kurva Defleksi Pada Beton	10
3.2	Distribusi Tegangan Regangan	11
3.3	Diagram hubungan antara beban (P) dan lendutan ( $\Delta$ )	15
3.4	Defomasi segmen balok dalam lenturan	16
3.5	Momen kelengkungan	18
3.6	Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan ( $\phi$ )	19
3.7	Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton normal bertulang	21
3.8	Distribusi tegangan dan regangan lentur pada balok beton bertulang yang diberi fiber	22
3.9	Kelengkungan balok	26
3.10	Kurva momen-kelengkungan ideal	31
4.1	Bentuk Fisik "Loading Frame"	35
4.2	Dukungan Sendi Rol	36
4.3	"Hydraulic Jack"	37
4.4	"Dial Gauge"	38
4.5	Model Balok Uji	39

4.6.	Grafik Gabungan Bilirubin Beban Delleksi	43
4.7	Grafik Penurunan Kuat Lentur	45
4.8	Grafik Bilirubin Momen Kelengkungan	46
4.9	Grafik Penurunan Kekakuan	48

## DAFTAR TABEL

No.	Nama Tabel	Hal
2.1	Spesifikasi Serat yang Sering Digunakan	8
4.1	Hasil Uji Tarik Baja	42
4.2	Analisa Data Beban dan Defleksi	43
4.3	Hasil Perhitungan Momen-Kelengkungan Teoritis	45
4.4	Analisa Data Momen-Kelengkungan Dengan Kekakuan	47

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Nama Lampiran	Hal
1.	Hitungan "Mix Design" Dengan Metoda ACI	Lampiran1
2.	Hitungan Momen Kelengkungan Teoritis	Lampiran2
3.	Data Hasil Uji Tegangan Tarik Baja	Lampiran3
4.	Data Hasil Uji Desak dan Uji Tarik Beton	Lampiran4
5.	Data Hasil Uji Lentur Balok Beton Serat Bendrat Pasca Bakar	Lampiran5
6.	Grafik Data Hasil Uji Lentur	Lampiran6

## DAFTAR SIMBOL

$f$  = tegangan lentur

$M$  = momen yang bekerja pada balok

$C$  = jarak serat terluar terhadap garis netral

$I$  = momen inersia penampang balok terhadap garis netral

$f_r$  = kuat tarik beton

$f'_c$  = kuat tekan beton

$M_{nc}$  = kekuatan momen lentur murni

$T_s$  = resultante gaya tarik dari baja tarik

$d$  = tinggi efektif balok

$d'$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan

$c$  = jarak garis netral ke serat terluar bagian desak

$T_{ef}$  = resultante gaya tarik dari beton fiber

$h$  = tinggi total balok

$C_c$  = resultante gaya desak dari beton fiber

$C_s$  = resultante gaya desak dari baja desak

$f'_{cf}$  = kuat desak beton fiber

$f'_{rf}$  = kuat tarik beton fiber

$M_{crack}$  = momen retak awal

$f_r$  = modulus retak =  $0,8 \cdot \sqrt{f'_c}$

$I$  = inersia balok

$y_{bawah}$  = jarak dari garis netral ke tepi bawah balok

$\phi$  = kelengkungan

$\epsilon_c$  = regangan beton

$\epsilon_s$  = regangan baja

$d$  = tinggi efektif penampang

$k$  = faktor tinggi garis netral

$M_y$  = Momen leleh pertama

$\phi_y$  = Kelengkungan leleh pertama

$A_s$  = Luas tulangan tarik

$A'_s$  = Luas tulangan tekan

$d$  = tinggi efektif penampang

$d'$  = jarak dari serat tekan ketitik berat baja tekan

$E_c$  = modulus elastis beton

$E_s$  = modulus elastis baja

$f_y$  = tegangan leleh baja

$j d$  = lengan dari titik berat dari baja tekan dan beton ketitik berat tulangan tarik

$E$  = Modulus Elastisitas Beton

$EI$  = Faktor Kekakuan



$\pi$  = konstanta = 3,14

$\Delta$  = Lendutan

$\rho$  = Rasio penulangan

## INTI SARI

Kelemahan beton yang paling menonjol adalah kuat tariknya rendah, salah satu cara untuk meningkatkan kuat tarik beton adalah dengan menambah serat pada adukan beton. Beton dengan tambahan serat disebut beton serat (*Fiber Concrete*).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kuat lentur balok beton fiber pasca kebakaran. Banyaknya serat bendrat yang dicampurkan kedalam adukan beton sebanyak 3 % dari berat adukan, variasi suhu  $500^{\circ}\text{C}$  dan  $600^{\circ}\text{C}$  dengan lama pembakaran selama 2 jam dan 3 jam serta suhu ruangan.

Pengujian balok dilakukan dengan pembebanan statis pada  $\frac{1}{3}$  bentang atau "One-Third Point Loading" beban statis ditingkatkan dari 0 sampai balok mengalami keruntuhan. Pada setiap pembebanan statis lendutan (*defleksi*) yang terjadi pada titik-titik yang ditentukan diukur. Kemudian dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ). Dengan menggunakan tiga titik bantu, kelengkungan balok dianalisis dengan metode numeris "central differences", kemudian dibuat grafik yang menunjukkan hubungan momen ( $M$ ) dan kelengkungan ( $\phi$ ).

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa balok beton serat kawat bendrat mengalami degradasi kuat lentur sebesar 12,5% untuk suhu  $500^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam dan 3 jam, dan 25% untuk suhu  $600^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam dan 3 jam. Faktor kekakuan ( $EI$ ) balok beton serat kawat bendrat mengalami degradasi sebesar 55,64% untuk suhu  $500^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam, 59,59% untuk suhu  $500^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam, 67,24% untuk suhu  $600^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam, dan 70,53% untuk suhu  $600^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam.

Dari penelitian ini didapatkan hasil yaitu kemampuan balok serat kawat bendrat dalam menahan beban mengalami penurunan, lendutan mengalami peningkatan, momen mengalami penurunan, kelengkungan mengalami peningkatan dan kekakuan mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena terjadinya penurunan kuat desak beton.

*Kata kunci: kebakaran, lendutan, kelengkungan, kekakuan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Struktur utama bangunan gedung bertingkat umumnya adalah beton dan baja. Beton sebagai bahan bangunan telah dikenal cukup lama karena mempunyai banyak keuntungan, antara lain mudah dibentuk sesuai dengan keinginan, tahan api dan tidak memerlukan perawatan selama masa pakai. Meskipun demikian, beton mempunyai sifat getas dan terjadi retak-retak melintang halus (*micro crack*) akibat kebakaran, sehingga kemampuan menahan gaya tarik menjadi berkurang. Suatu perkembangan baru yang bisa dipakai adalah beton serat (*fiber concrete*), sebagai upaya untuk mengurangi kelemahan beton sekaligus meningkatkan sifat-sifat strukturalnya.

Kerusakan balok beton bertulang akibat kebakaran perlu diketahui untuk mendeteksi tingkat kerusakan yang terjadi. Secara visual, kerusakan balok akibat kebakaran dapat dilihat dari perubahan warna menjadi abu-abu keputihan dan keretakan-keretakan pada permukaan beton (*surface crack*). Kerusakan balok beton bertulang akibat kebakaran menyebabkan terjadinya penurunan kuat lentur dan kekakuan balok.

## 1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, beton fiber dibakar pada variasi suhu yang berbeda untuk mengetahui tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh kebakaran. Dengan memper-  
timbangkan pemakaian serat pada beton, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti, antara lain:

1. Degradasi kekakuan balok beton fiber akibat pengaruh suhu.
2. Degradasi kuat lentur balok beton fiber akibat pengaruh suhu.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui grafik hubungan beban ( $P$ ) dengan defleksi ( $\Delta$ ) dan hubungan momen ( $M$ ) dengan kelengkungan ( $\phi$ ) antara:
  - i. Balok utuh yang tidak dibakar (suhu ruangan) dengan balok yang dibakar dengan suhu  $500^{\circ}\text{C}$ ,
  - ii. Balok utuh yang tidak dibakar (suhu ruangan) dengan balok yang dibakar dengan suhu  $600^{\circ}\text{C}$ ,
  - iii. Balok utuh yang tidak dibakar (suhu ruangan), balok yang dibakar dengan suhu  $500^{\circ}\text{C}$  dan balok yang dibakar dengan suhu  $600^{\circ}\text{C}$
2. Dengan mengetahui grafik hubungan beban ( $P$ ) dengan defleksi ( $\Delta$ ) dan hubungan momen ( $M$ ) dengan kelengkungan ( $\phi$ ), maka dapat dilihat hubungan kekakuan balok.

#### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Menambah wawasan dan pengetahuan mahasiswa teknik sipil dalam memahami serta menguasai permasalahan terutama mengenai teknologi pengembangan struktur beton, khususnya penggunaan struktur beton serat bendrat pasca kebakaran untuk perencanaan struktur bangunan baru,
2. Memberikan alternatif lain sebagai bahan pertimbangan jika ditemukan permasalahan-permasalahan yang identik dengan penelitian ini sehingga kebijaksanaan yang diambil dapat lebih optimal,
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan jasa konstruksi.

#### 1.5. Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini dibuat agar masalah yang akan diteliti lebih terarah. Adapun batasan-batasan penelitian tersebut adalah :

1. Pembuatan benda uji dibuat sama yang meliputi balok dengan ukuran sesuai dengan kemampuan alat uji dan dapat mewakili balok pada struktur yang sesungguhnya,
2. Mutu beton ( $f_c'$ ) = 25 Mpa,
3. Nilai slump yang direncanakan 75 mm sampai dengan 100 mm,
4. Disain campuran beton menggunakan metode ACI,
5. Adukan beton yang dicampur dengan molen dianggap homogen,

6. Semen yang digunakan adalah *Cement Portland* type-I merk Semen Gresik kemasan 50 kg,
7. Baja tulangan bawah digunakan  $\phi$  12 mm, baja tulangan atas digunakan  $\phi$  8 mm, tulangan sengkang digunakan  $\phi$  6-100 mm pada daerah tumpuan, dan  $\phi$  6-150 mm pada daerah lapangan,
8. Serat bendrat yang digunakan berdiameter 1 mm dan panjangnya 50 mm,
9. Serat bendrat yang ditambahkan sebesar 3 % dari berat adukan,
10. Balok uji yang dipakai disesuaikan dengan alat uji yang tersedia di Laboratorium, yaitu dengan ukuran 100 x 200 x 2000 mm,
11. Pembakaran benda uji dilakukan pada: suhu 500° C selama 2 jam dan 3 jam serta suhu 600° C selama 2 jam dan 3 jam,
12. Pembakaran sampel dilakukan setelah mencapai umur 28 hari,
13. Uji lentur dilakukan setelah balok beton fiber kawat bendrat didinginkan dengan cara menyiram air setelah diturunkan dari tungku pembakaran,

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

**SK SNI T-15-1991-03 (1991)**, beton (*concrete*) terbuat dari bahan *Portland Cement* (PC/semen), air, agregat/batuan kasar dan halus dalam proporsi perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

Beton serat (*fibre reinforced concrete*) menurut **ACI Committee** adalah konstruksi beton dengan bahan susun semen, agregat halus, dan agregat kasar serta sejumlah kecil serat (*fibre*). Beberapa macam bahan serat yang dapat dipakai untuk memperbaiki sifat-sifat beton telah dilaporkan oleh **ACI Committee 544 (1982)**. Bahkan serat tersebut antara lain: baja (*steel*), plastik (*polypropylene*), kaca (*glass*), dan karbon (*carbon*).

**Suhendro (1991)**, memperkenalkan konsep beton fiber dengan menggunakan bahan berupa potongan kawat bendrat (yang biasanya digunakan untuk mengikat baja tulangan) dan berdiameter 1 mm, panjang 60 mm.

**Suhendro (1991)**, mengemukakan bahwa penambahan serat kawat baja pada campuran beton akan memberikan penambahan daktilitas yang terbesar diikuti dengan kawat bendrat dan kawat biasa.

Soroushian, P. & Bayasi, Z. (1987), dari penelitian Sudarmoko, mengemukakan bahwa beton serat mempunyai kelebihan dari beton tanpa serat dalam beberapa sifat strukturalnya antara lain:

1. Keliatan (*ductility*), berhubungan dengan kemampuan bahan untuk menyerap energi
2. Ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*)
3. Kemampuan menahan tarik dan momen lentur (*tensile and flexural strength*)
4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue life*)
5. Ketahanan terhadap pengaruh susutan (*shrinkage*)
6. Ketahanan terhadap aus (*abrasion*)

L. J. Murdock K. M. Brook (1996), mengemukakan bila suhu dari beton meningkat oleh sinar matahari maka akan terjadi penyusutan kering sesudah pemuaiian suhu awal, beton yang dipanasi cenderung untuk menyusut sampai pada tingkatan tertentu.

Carlos Castillo dan A.J. Durani (1990), dari Tugas Akhir Heru N. A. & Riza S Dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa pemanasan pada temperetur 100° C sampai 300° C menyebabkan kuat tekan beton berkurang sekitar 15 sampai 30 persen. Pemanasan antara suhu 300° C sampai 500° C akan menyebabkan kekuatan beton naik sekitar 8 sampai 13 persen. Pemanasan diatas 500° C menyebabkan kekuatan beton akan turun kembali sekitar 30 persen.



Hansen (1976), mengemukakan bahwa perubahan kimia pasta semen pada temperatur tinggi juga disertai perubahan volume. Jika dipanaskan suhu ruang sampai  $100^{\circ}\text{C}$  pasta semen akan mengembang, kemudian terjadi penyusutan sampai temperatur  $500^{\circ}\text{C}$  karena dehidrasi. Pada temperatur tinggi volume mengembang lagi tapi tidak sampai pada volume semula. Diatas temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  pasta semen akan rusak dan kekuatan akan hilang sama sekali, juga mengakibatkan ikatan pasta semen dengan agregat hilang. Kerusakan pasta semen akibat proses kimia pada temperatur tinggi ini disebabkan perubahan volume pasta semen selama pemansan.

Wei Ming Lin, T.D. Lin, & L.J. Powers Couche (1996), dari Tugas Akhir Heru N. A. & Riza S., mengemukakan pemanasan pada beton diatas suhu  $500^{\circ}\text{C}$  akan menimbulkan retak pada pasta semen dan agregat yang akan mengurangi kekuatan beton.

G. Spadea and F. Bencardino (1997), dari Tugas Akhir Heru N. A. & Riza S., mengemukakan penambahan serat pada adukan beton dengan volume fiber ( $V_f$ ) = 1% - 2 % dari volume adukan akan meningkatkan kuat lentur sebesar 20% - 25 %.

Sudarmo (1992) spesifikasi serat yang sering digunakan terangkum dalam tabel 2.1.1

Tabel 2.1. Spesifikasi serat yang sering digunakan

Serat	Berat Jenis (Ksi)	Kuat Tarik (Ksi)	Modulus Young $10^3$ (Ksi)	Volume Fraksi (%)	Diameter Serat (in)	Panjang (in)
Baja	7,86	100 – 300	30	0,75 – 9	0.0005 – 0.04	0,5 – 1,5
Kaca	2,7	> 180	11	2 – 8	0.004 – 0,03	0,5 – 1,5
Plastik	0,91	> 100	0,14 – 1,2	1 – 3	> 0,1	0,5 – 1,5
Karbon	1,6	> 100	> 7,2	1 - 5	0,0004 – 0,0008	0,02 – 0,5

Suhendro (1997), pengujian *split cylinder* pada umur 28 hari memberikan hasil sebagai berikut:

1. beton biasa mempunyai kuat tarik sebesar  $27 \text{ kg/cm}^2$
2. beton fiber (dengan  $V_f = 0,7 \%$ ) mempunyai kuat tarik sebesar  $41 \text{ kg/cm}^2$ ,

berarti ada peningkatan sebesar 52%. Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan fiber lokal kedalam adukan beton juga akan meningkatkan kuat tariknya.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Beton Bertulang

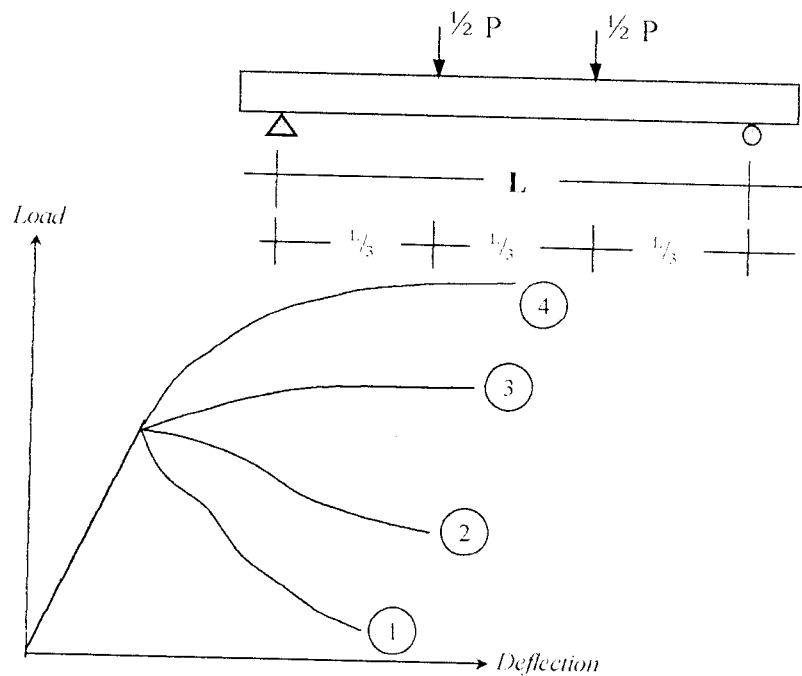
Beton terbuat dari bahan *Portland cement* (PC atau semen), air, agregat atau batuan kasar dan halus dalam proporsi berbandingan tertentu. Semen akan bersifat sebagai bahan perekat apabila dicampur dengan air. Perbandingan campuran air dan semen disebut faktor air semen (f.a.s.) pada adukan beton basah akan mempengaruhi sifat lekatan antar butiran semen (*gel*) dalam pasta semen, antar agregat halus maupun kasar, dan sifat permeabilitas pasta semen, sehingga secara keseluruhan akan mempengaruhi juga sifat-sifat beton. Selain itu, kekuatan beton dipengaruhi pula oleh kekerasan, ketahanan aus dan kekerasan dari agregat kasar, kekasaran dan kebersihan agregat halus, serta komposisi atau gradasi dari agregat yang digunakan.

Pada penggunaan sebagai komponen struktur bangunan, umumnya beton diperkuat dengan tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik. Dengan demikian, tulangan baja berfungsi untuk memperkuat dan menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan. Komponen

struktur beton seperti itu disebut sebagai beton bertulangan baja atau lazim disebut beton bertulang.

### 3.2. Pengaruh Beton Terhadap Penambahan Serat

Beton serat adalah konstruksi beton dengan bahan susun semen, agregat halus, dan agregat kasar serta sejumlah kecil serat (*fiber*). Menurut **Perumalsamy N. Balaguru dan Surendra P. Shah (1992)**, grafik defleksi balok akibat pembebanan dengan memakai beton serat terlihat pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1. Grafik defleksi pada beton

Grafik yang terlihat pada Gambar 3.1. menjelaskan bahwa sebelum beton retak, grafik masih dalam bentuk garis linier. Setelah tegangan ijin terlampaui maka beton mengalami retak. Dengan adanya variasi jumlah serat yang ada dalam beton maka terbentuklah grafik 1 - 4. Grafik 1 dan 2 menunjukkan bahwa energi yang dapat

diserap (*diabsorbsi*) oleh serat lebih kecil daripada energi yang diserap beton sebelum retak. Sedangkan pada grafik 3 dan 4 menunjukkan bahwa energi yang dapat diserap oleh serat lebih besar daripada energi yang diserap oleh beton sebelum retak. Perbedaan grafik ini diakibatkan oleh faktor-faktor jumlah serat, jenis serat, bentuk serat, karakteristik beton dan jenis pembebanan yang ada. Jika fiber menyerap energi lebih dari 10%, fiber tersebut seharusnya memiliki kekuatan yang lebih besar dari yang ditunjukkan grafik 4. Daya serap yang disediakan oleh fiber juga tergantung ikatan antara fiber dengan beton. Untuk konstruksi beton yang besar, tipe yang paling umum adalah sama dengan grafik 1 atau 2, untuk konstruksi seperti itu peranan fiber paling baik diukur dengan kuat lentur. Perbedaan grafik ini disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain jumlah serat, jenis serat, bentuk serat, karakteristik beton dan jenis pembebanan yang ada.

Dengan menggunakan prinsip keseimbangan statika dapat ditentukan besar momen yang terjadi pada setiap penampang balok yang bekerja menahan beban. Untuk menentukan kemampuan balok dalam menahan beban dengan cara memperhitungkan tegangan yang timbul didalamnya. Distribusi tegangan-regangan pada penampang balok dan hasil perhitungan yang tepat, dapat diperoleh berdasarkan teori elastisitas. Dengan menggunakan asumsi-asumsi dan penyederhanaan tertentu dapat dikembangkan hubungan matematik untuk memperoleh tegangan lentur dan geser. Untuk balok dari bahan homogen (serba sama) dan elastik berlaku rumus lenturan sebagai berikut:

$$f = \frac{M.C}{I} \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan,  $f$  = tegangan lentur

$M$  = momen yang bekerja pada balok

$C$  = jarak serat terluar terhadap garis netral

$I$  = momen inersia penampang balok terhadap garis netral

Penambahan *steel fibers* dengan orientasi random akan meningkatkan kuat lentur beton fiber sekitar 2 sampai 3 kali lipat dibanding kuat lentur beton non fiber. Sifat getas dari beton akan dapat diatasi oleh adanya fiber sehingga beton fiber akan menjadi liat oleh karena itu beton fiber dapat dipergunakan pada perencanaan bagian-bagian penting dari struktur (tidak semua), yaitu pada kuat lentur ultimit untuk fiber *reinforced concrete*, **Swamy & Al-Noori (1975)**.

Kehadiran serat pada beton akan menaikkan kekakuan dan mengurangi lendutan (*defleksi*) yang terjadi. Penambahan serat memungkinkan penggunaan baja mutu tinggi tanpa ada bahaya karena retak maupun lendutan yang berlebihan. Swamy juga menyimpulkan bahwa penambahan serat akan dapat meningkatkan keliatan beton, sehingga struktur akan terhindar dari keruntuhan yang tiba-tiba akibat beban yang berlebihan, **Swamy dkk (1979)**.

### **3.3. Pengaruh Temperatur Tinggi Pada Beton**

Kerusakan pada beton dapat pula disebabkan oleh perbedaan angka muai antara agregat dan pasta semen. Perbedaan ini menyebabkan kerusakan *interfacial zone*

sehingga lekatan antar batuan menjadi berkurang banyak. Pada suhu kamar angka muai batuan pada umumnya lebih rendah dari pada pasta semen. Sampai pada suhu 200°C pasta semen menyusut sedang batuan mengembang. Perbedaan ini dapat menimbulkan retak-retak pada beton.

Namun yang paling nyata, kerusakan beton mengelupas disebabkan oleh tekanan uap air (5% – 7% volume) atau gas yang terperangkap didalam beton yang dikenal dengan teori “*moisture clog spalling*”, beton semakin rapat (*impermeable*) semakin mudah terjadi pengelupasan oleh panas, karena uap air tidak mudah mengalir melalui pori kedalam daerah yang lebih dingin (lebih dalam letaknya). Oleh peningkatan temperatur yang cepat diikuti oleh hambatan aliran air disebelah dalam (pori rapat, dan uap air jenuh) akan berpotensi timbulnya ledakan.

Di sisi lain kekuatan baja tulangan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Pada temperatur 550°C baja akan mengalami penurunan tegangan leleh sebesar 50%. Namun demikian apabila temperatur tersebut kembali normal tegangan leleh baja hampir pulih kembali. Pengaruh temperatur pada tegangan leleh baja banyak tergantung pada jenis baja. Untuk melindungi baja dari api, biasanya dilakukan dengan meningkatkan lapis penutup tulangan (*concrete cover*). Peningkatan lapis penutup tulangan dilain pihak memudahkan terjadinya pengelupasan, oleh karena itu pada lapis ini beton tidak diperkuat tulangan. Sehingga antara tulangan dan beton lapis penutup tulangan terdapat saling ketergantungan.

Pada suhu tinggi terjadi penurunan tegangan leleh baja tulangan yang disertai lendutan pada balok. Pada suhu normal tegangan leleh balok kembali seperti semula tetapi lendutan yang terjadi tidak kembali lagi. Lendutan balok juga diakibatkan oleh pembebanan dan degradasi material (beton dan baja tulangan), **Stasiun General UGM (1999)**.

### **3.4. Sifat Fisik Beton Pada Temperatur Tinggi**

Tiga sifat dari bahan penyusun beton yang mempengaruhi perilaku beton bila dipanasi yaitu: koefisien muai panas, panas jenis dan daya hantar panas. Jika koefisien muai panas bahan susun beton makin besar, maka semakin besar pula koefisien muai panas betonnya. Aspek lain dari pengamatan masalah ini memberikan pengertian bahwa jika perbedaan koefisien muai panas antara pasta semen dan agregat terlalu besar, maka dapat menimbulkan keretakan pada pasta semennya.

Pada saat kenaikan temperatur, gerakan panas pada beton merupakan hal yang sangat sulit untuk diperkirakan. Hal ini tergantung pada sifat beton maupun agregat yang digunakan. Pada kisaran temperatur tertentu, agregat mengembang karena memuai, sedang beton menyusut karena dehidrasi, **Hansen (1976)**.

### **3.5. Pengaruh Temperatur Pada Modulus Elastisitas Beton**

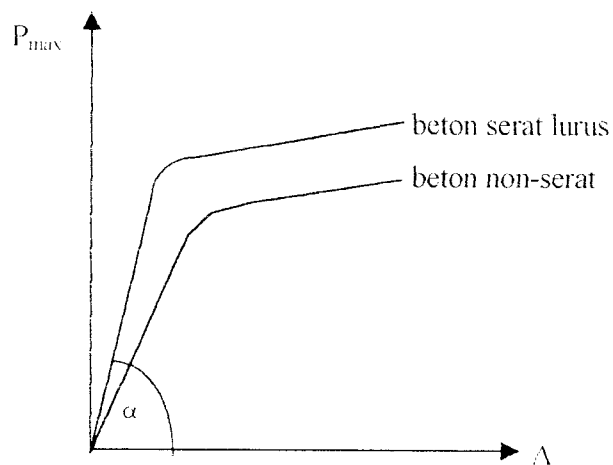
Perubahan suhu dapat mempengaruhi modulus elastisitas beton, modulus elastisitas dapat menurun disebabkan oleh perilaku suhu tinggi. Nilai modulus elastisitas dari beton turun 25% jika dipanaskan sampai 500°F dan turun 50% jika dipanaskan 800°F, **Hansen (1976)**.



Beton dan baja mempunyai nilai muai yang hampir sama, dimana untuk setiap kenaikan suhu 1°C angka muai beton 0,000013 sedangkan baja 0,000012 sehingga tegangan yang timbul karena perbedaan nilai dapat diabaikan, **Istimawan D. (1994)**.

### 3.6. Hubungan Beban dan Lendutan

Hubungan beban ( $P$ ) dengan lendutan ( $\Delta$ ) diperoleh dari hasil uji pembebanan (*loading test*). Sesuai yang dilakukan Suhendro (1991) pemberian beban pada balok akan mengakibatkan penurunan (defleksi).



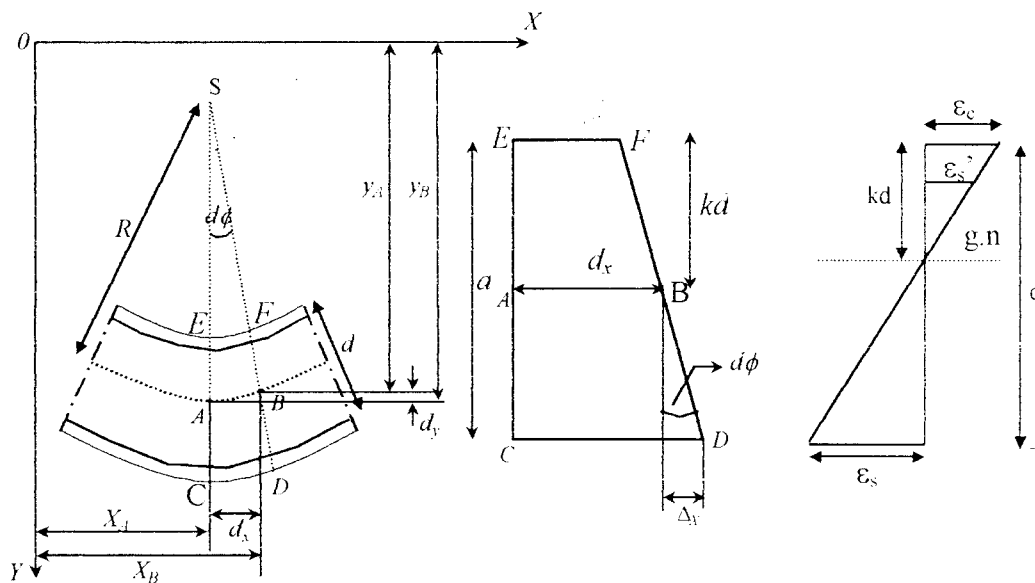
Gambar 3.3. Diagram hubungan antara beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ )

Dari hubungan antara kekuatan ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ) pada Gambar 3.3, maka diperoleh kekakuan balok ( $k$ ), lihat persamaan 3.2:

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\Delta} \dots \dots \dots (3.2)$$

### 3.7. Persamaan Differensial Untuk Defleksi

Teori defleksi balok dipengaruhi oleh geometri atau kinematika dari sebuah elemen balok. Menurut **Sumono (1982)**, sumbu-balok yang semula lurus, menjadi garis bengkok (melengkung) setelah balok menahan momen-lengkung. Garis-bengkok yang diwujudkan oleh sumbu-balok itu dinamakan garis-elastis atau garis-lentur.



Gambar 3.4. Deformasi segmen balok dalam lenturan

Dari Gambar 3.4 kita dapat menyelidiki dua titik A dan B, sebagai berikut:

$$d_y = y_B - y_A$$

$$d_x = x_B - x_A$$

$$AB = d_s = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} = d_s \sqrt{1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2} \dots\dots\dots(3.3)$$

Garis-garis normal yang ditarik dari titik-titik A dan B memotong di titik S sehingga

SA = r adalah radius bengkokan di A atau  $\frac{1}{r} = \text{derajat bengkokan di A}$ . Dari Gambar

3.4 dapat kita lihat bahwa:

$$AB = d_s = r \cdot d\phi \dots\dots\dots(3.4)$$

$$r = \frac{d_s}{d\phi} = \frac{d_s}{d\text{tg}\phi} \cdot \frac{d\text{tg}\phi}{d\phi} \dots\dots\dots(3.5)$$

untuk  $\frac{d\text{tg}\phi}{d\phi} = \sec^2 \phi = 1 + \text{tg}^2\phi = 1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2 \dots\dots\dots(3.5a)$

Jika persamaan (3.3) dan (3.5a) disubstitusikan ke persamaan (3.5), maka:

$$r = \frac{d_s \sqrt{1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2}}{d\text{tg}\phi} \left\{ 1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2 \right\} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\frac{1}{r} = \frac{d\text{tg}\phi}{d_s} \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{d_y}{d_x}\right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\frac{1}{r} = \frac{d_v^2}{d_x^2} \left\{ 1 + \left( \frac{d_v}{d_x} \right)^2 \right\}^{-3/2} \quad (3.8)$$

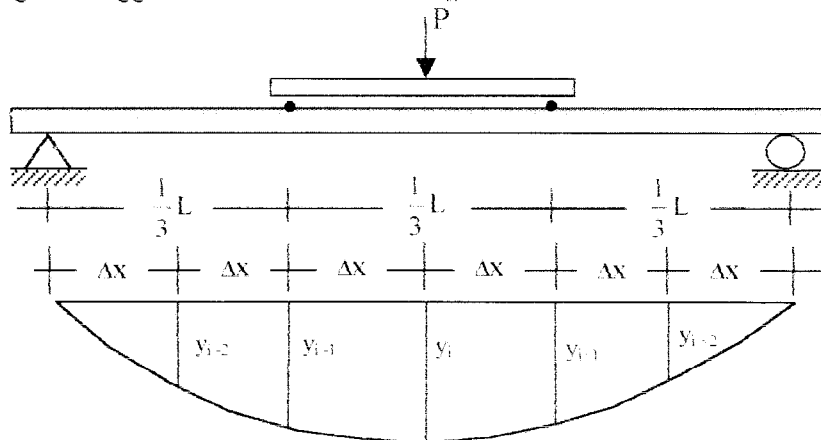
Karena ordinat-ordinat garis-elastis itu kecil sekali, maka  $\frac{d_v}{d_x}$  juga amat kecil

nilainya terhadap satuan, sehingga  $\frac{d_v^2}{d_x^2}$  boleh diabaikan terhadap 1. Jadi, persamaan

(3.8) atau disebut juga persamaan derajat bengkakan ditulis:

$$\frac{1}{r} = \frac{d_v^2}{d_x^2} \quad (3.9)$$

dari pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik-titik diskrit. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *central difference*.



Gambar 3.5. Defleksi balok

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta X} \dots \dots \dots (3.10)$$

$$\frac{d_y^2}{d_x^2} = \frac{\frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1})2\Delta X - \frac{d}{dx}(2\Delta X)(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta X)^2} \dots (3.11)$$

Karena  $\Delta X$  nilainya konstan maka  $\frac{d}{dx}(2\Delta X)(y_{i+1} - y_{i-1}) = 0$ , sehingga persamaan (3.11) menjadi:

$$\frac{d_y^2}{d_x^2} = \frac{\frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1})2\Delta X}{(2\Delta X)^2} \dots \dots \dots (3.12)$$

Sehingga persamaan (3.12) menjadi:

$$\frac{d_y^2}{d_x^2} = \frac{\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{2\Delta X}\right) - \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{2\Delta X}\right)2\Delta X}{(2\Delta X)^2} \dots \dots \dots (3.13)$$

$$\frac{d_y^2}{d_x^2} = \frac{(y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}))}{(2\Delta X)^2} \dots \dots \dots (3.14)$$

Menurut Timoshenko, kelengkungan balok didekati dengan :

$$\phi = \frac{d^2 y}{dx^2} \dots \dots \dots (3.15)$$

Jadi, persamaan kelengkungan balok yaitu:

$$\phi = \frac{1}{r} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}))}{(2\Delta X)^2} \dots\dots\dots(3.16)$$

Mengacu pada Gambar 3.5. didapat momen (M):

$$M = \frac{1}{2} PL \dots\dots\dots(3.17)$$

sehingga dapat disimpulkan besar EI dengan rumus:

$$EI = M/\phi \dots\dots\dots(3.18)$$

$$M = EI \cdot \phi \dots\dots\dots(3.19)$$

$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots(3.20)$$

Setelah balok mengalami kebakaran, nilai EI menjadi turun yang menyebabkan nilai M menjadi kecil, sehingga kekuatan ( $P = \frac{6M}{L}$ ) menjadi berkurang. Dalam penelitian ini, perbaikan nilai EI dengan menambahkan serat kawat bendrat diharapkan nilai EI meningkat, sehingga nilai M meningkat, kekuatan dan kekakuan balok juga meningkat.

### 3.8. Momen Lentur Penampang Persegi Balok Beton Bertulang

#### 3.8.1. Momen lentur beton normal

Untuk menghitung kuat lentur nominal,  $M_n$  dipakai pemisalan-pemisalan sebagai berikut :

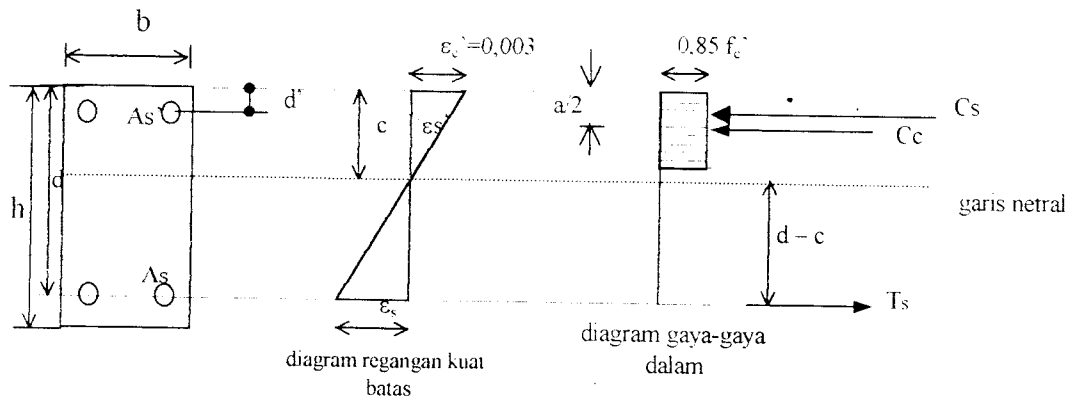
1. Kekuatan unsur didasarkan pada hitungan yang memenuhi syarat keseimbangan dan kompatibilitas regangan
2. Regangan di dalam baja tulangan dan beton dimisalkan berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral
3. Regangan maximum yang dapat dipakai pada syarat tekan sebesar 0,003
4. Kekuatan tarik beton diabaikan
5. Modulus elastis baja diambil sebesar  $2 \cdot 10^5$  Mpa
6. Untuk alasan praktis maka hubungan antara distribusi tegangan tekan dan regangan dari beton pada saat tercapai kekuatan normal dapat diambil sebagai distribusi tegangan persegi ekivalen, dengan intensitas tegangan beton yang merata sebesar  $0,85f_c$  setinggi  $a=\beta \cdot c$  dari syarat tekan maximum. Harga  $\beta$  diberikan oleh rumus sebagai berikut :

Untuk  $f_c < 30$  MPa maka:

$$\beta = 0,85 \dots\dots\dots (3.21)$$

Untuk  $f_c > 30$  MPa maka

$$\beta = 0,85 - 0,008(f_c - 30) \geq 0,65 \dots\dots\dots (3.22)$$



Gambar 3.7. Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton normal bertulang (SK SNI T-15-1991-03)

Gaya-gaya dalam adalah :

$$C_s = A's \cdot f_y \dots \dots \dots (3.23)$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \dots \dots \dots (3.24)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots \dots \dots (3.25)$$

Keseimbangan gaya-gaya dalamnya yaitu  $C_s - C_c - T_s = 0$ , sehingga:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots \dots \dots (3.26)$$

Letak garis netral adalah

$$c = \frac{a}{\beta} \dots \dots \dots (3.27)$$

Regangan baja tarik pada saat dicapainya regangan beton yaitu  $\epsilon_{cu} = 0,003$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} (0,003) \dots \dots \dots (3.28)$$



$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(3.29)$$

Kekuatan momen lentur nominal adalah:

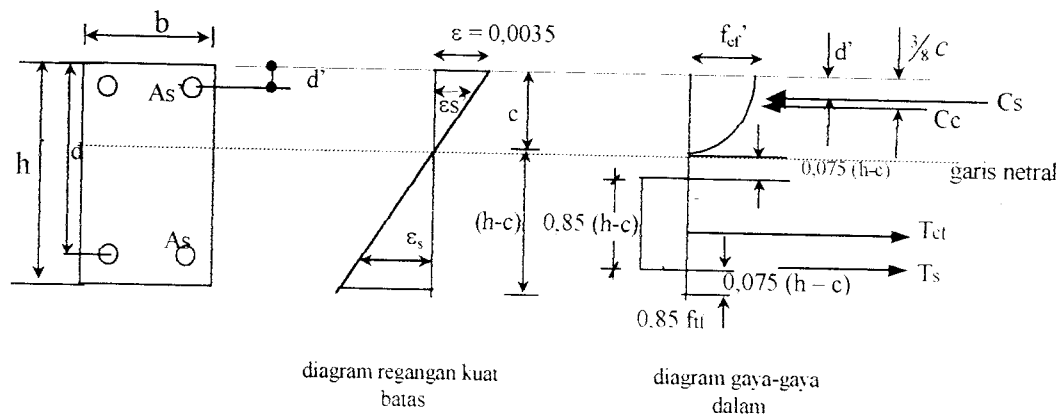
$$M_n = C_c(d - 0,5.a) + C_s(d - d') \dots\dots\dots(3.30)$$

atau

$$M_n = T(d - 0,5.a) + C_s(d - d') \dots\dots\dots(3.31)$$

**3.8.2. Momen lentur beton bertulang yang diberi serat**

Distribusi tegangan dan regangan yang diusulkan **Suhendro** untuk beton serat terlihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8. Distribusi tegangan dan regangan lentur pada balok beton bertulang yang diberi fiber (**Suhendro, 1991**).

Dari Gambar 3.8. terlihat bahwa regangan maximum yang dipakai pada beton serat adalah 0,0035 sedangkan pada beton normal adalah 0,003. Selain itu kekuatan

tarik beton pada beton serat tidak diabaikan. Kuat tarik bahan beton menurut SNI-03-2847-1992 adalah :

$$f_r = 0,50\sqrt{f'_c} - 0,60\sqrt{f'_c} \text{ (Mpa), untuk beton normal ..... (3.32)}$$

$$f_r = 0,40\sqrt{f'_c} - 0,50\sqrt{f'_c} \text{ (Mpa), untuk beton ringan ..... (3.33)}$$

Untuk beton serat, kuat desak meningkat sekitar 10% dibandingkan beton normal, dan kuat tarik beton serat meningkat  $\pm 50\%$ , **Suhendro (1994)**. Karena terjadi peningkatan kuat tarik yang cukup besar pada beton serat, maka diusulkan kuat tarik beton serat adalah 150% beton normal:

$$f_r = 0,75\sqrt{f'_c} - 0,90\sqrt{f'_c} \text{ (Mpa), rumus usulan beton serat ..... (3.34)}$$

dengan,  $f_r$  = kuat tarik beton, MPa

$f'_c$  = kuat tekan beton, MPa

Gaya-gaya dalam adalah :

$$C_c = 0,67.f'_{cf}.c.b \text{ ..... (3.35)}$$

$$C_s = A'_s.f_y \text{ ..... (3.36)}$$

$$T_{cf} = 0,85.f_m.0,85(h-c).b \text{ ..... (3.37)}$$

$$T_s = A_s.f_y \text{ ..... (3.38)}$$

Keseimbangan gaya-gaya dalam yaitu:

$$C_c + C_s - T_{cf} - T_s = 0 \text{ ..... (3.39)}$$

Dari persamaan (3.39), diperoleh letak garis netral ( $c$ )

Kontrol regangan baja :

Regangan baja desak

$$\varepsilon'_s = (c - d')/c \times 0,0035 \dots\dots\dots (3.40)$$

Regangan baja tarik

$$\varepsilon_s = (d - c)/c \times 0,0035 \dots\dots\dots (3.41)$$

Kekuatan momen lentur nominal

$$M_{no} = T_s(d - c) + T_{cf}(h - c)/2 + C_c \cdot \frac{5}{8} \cdot c + C_s(c - d') \dots (3.42)$$

Notasi yang dipakai :

$M_{no}$  = kekuatan momen lentur murni (N.mm),

$T_s$  = resultante gaya tarik dari baja tarik (N),

$d$  = tinggi efektif balok (mm),

$d'$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm)

$c$  = jarak garis netral ke serat terluar bagian desak (mm),

$T_{cf}$  = resultante gaya tarik dari beton fiber (N),

$h$  = tinggi total balok (mm),

$C_c$  = resultante gaya desak dari beton fiber (N),

$C_s$  = resultante gaya desak dari baja desak (N),

$A_s$  = luas baja tulangan (mm<sup>2</sup>),

$f'_{cf}$  = kuat desak beton fiber (Mpa),

$f'_u$  = kuat tarik beton fiber (Mpa).

Dari persamaan (3.42) pada usulan **Suhendro** dan persamaan (3.40) pada beton normal terlihat perbedaan, dimana kekuatan momen lentur murni ( $M_{no}$ ) untuk beton serat lebih besar daripada kekuatan momen lentur murni pada beton normal ( $M_n$ ). Ini disebabkan karena kekuatan tarik pada beton serat diperhitungkan

### 3.8.3. Momen lentur beton bertulang yang diberi serat pasca bakar

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh **Anas Ibadilhaq dan Isnaini Jauhari (1998)**, nilai  $f'_c$  untuk balok pasca bakar variasi suhu 500°C mengalami penurunan sebesar 30,6409 %, sedangkan balok pasca bakar variasi suhu 600°C mengalami penurunan sebesar 39,4109 %. Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan bahwa  $f'_c < f'_c$ , maka persamaan momen lentur nominal untuk balok fiber pasca bakar variasi suhu 500°C dan 600°C akan berubah menjadi:

Untuk balok fiber pasca bakar suhu 500°C

$$C_c = 0,67 \cdot (f_c' \cdot 69,3591\%) \cdot c \cdot b \dots \dots \dots (3.43)$$

$$M_{no} = T_s \cdot (d - c) + T_{cf} \cdot 0,5 \cdot (h - c) + (0,67 \cdot f_c' \cdot 69,3591\% \cdot c \cdot b) \cdot 5/8 \cdot c + C_s \cdot (c - d') \dots (3.44)$$

dan untuk balok fiber pasca bakar suhu 600°C

$$C_c = 0,67 \cdot (f_c' \cdot 60,5891\%) \cdot c \cdot b \dots \dots \dots (3.45)$$

$$M_{no} = T_s \cdot (d - c) + T_{cf} \cdot 0,5 \cdot (h - c) + (0,67 \cdot f_c' \cdot 60,5891\% \cdot c \cdot b) \cdot 5/8 \cdot c + C_s \cdot (c - d') \dots (3.46)$$

Jika persamaan (3.44) dan (3.46) dibandingkan dengan persamaan (3.42), kuat momen lentur nominal beton serat suhu ruangan lebih besar daripada kuat momen lentur nominal beton serat pasca bakar ( $M_{nk}$ ), baik untuk suhu 500°C maupun suhu

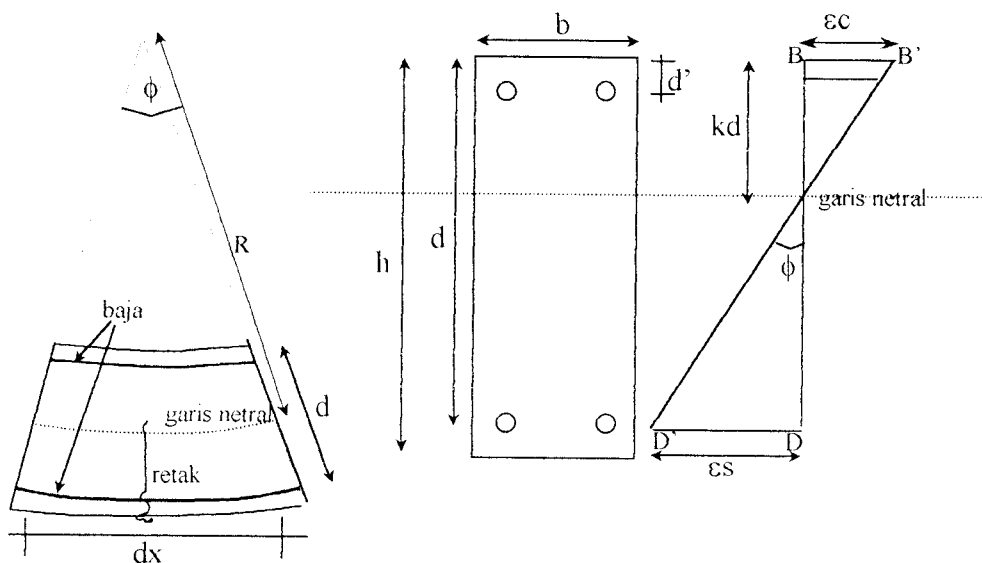
nominal beton serat pasca bakar ( $M_{fb}$ ), baik untuk suhu  $500^{\circ}\text{C}$  maupun suhu  $600^{\circ}\text{C}$ . Ini disebabkan karena penurunan nilai kuat tekan beton ( $f_c'$ ) akibat kebakaran.

### 3.9. Momen-Kelengkungan Secara Teoritis

Perhitungan momen-kelengkungan secara teoritis menurut **Park and Pauley (1975)**, dinyatakan dalam tiga bagian yaitu:

#### 3.9.1. Momen kelengkungan retak awal

Dengan mengambil sebuah elemen lurus dari sebuah balok beton bertulang dengan momen-momen ujung dan gaya axial yang sama seperti Gambar 3.9 jari-jari kelengkungan  $R$  diukur dari garis netral. Adanya retak-retak pada beton akibat terjadi penambahan tegangan akan merubah jari-jari kelengkungan ( $R$ ), tinggi garis netral ( $C$ ), regangan beton ( $\epsilon_c$ ) dan regangan baja tarik ( $\epsilon_s$ ).



Gambar 3.9. Kelengkungan balok

Untuk menghitung momen retak awal pada sebuah balok beton bertulang digunakan rumus kuat lentur balok dengan menganggap bahan homogen (serba sama) dan elastik:

$$M_{crack} = \frac{f_r \cdot I}{y_{bawah}} \dots \dots \dots (3.47)$$

dengan:  $M_{crack}$  = momen retak awal

$$f_r = \text{modulus retak} = 0,8 \sqrt{f_c'}$$

$I$  = inersia balok

$y_{bawah}$  = jarak dari garis netral ke tepi bawah balok

Menganggap sebuah elemen kecil dengan panjang  $dx$  dari balok dan menggunakan notasi seperti pada Gambar 3.9, maka rotasi diantara ujung-ujung dari elemen ditunjukkan dalam persamaan:

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

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

dengan  $1/R = \phi$  maka:

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d} \dots \dots \dots (3.48)$$

dengan:  $\phi$  = kelengkungan  $\varepsilon_c$  = regangan beton  
 $\varepsilon_s$  = regangan baja  $d$  = tinggi efektif penampang

Ini menunjukkan bahwa kelengkungan ( $\phi$ ) adalah gradien regangan dari elemen seperti dalam Gambar 3.9. Kelengkungan akan benar-benar berubah sepanjang bentang balok karena naik-turunnya garis netral dan regangan-regangan diantara retak-retak. Jika panjang elemen kecil, dan sebuah retak berakhir, kelengkungan dihitung dengan persamaan 3.48 untuk penampang ijin yang diperoleh dari hubungan momen-kelengkungan. Dua grafik yang diperoleh dari hitungan balok tulangan sebelah adalah lurus atau linear diawal, dan hubungan antara momen dan kelengkungan dalam persamaan:

$$EI = MR = \frac{M}{\phi} \dots\dots\dots(3.50)$$

dimana  $EI$  adalah faktor kekakuan dari penampang. Dengan meningkatnya momen, retak pada beton mengurangi faktor kekakuan di penampang. Perilaku dari penampang setelah retak tergantung dari jumlah tulangan pokok. Balok bertulangan sedikit menghasilkan sebuah kurva linear  $M-\phi$  diatas titik leleh baja. Ketika baja leleh, peningkatan yang besar terjadi didalam kelengkungan pada momen hampir konstan.

Hubungan  $M-\phi$  yang ideal adalah ditunjukkan pada grafik tri-linear. Garis awal pertama adalah retak awal, garis kedua adalah tegangan leleh baja dan ketiga adalah

regangan ultimit dari beton. Untuk balok beton bertulang dibawah beban layan Hubungan  $M-\phi$  dari beban 0 sampai leleh baja, kedua garis hampir linier sehingga sering juga ditampilkan grafik hubungan  $M-\phi$  dalam bentuk bi-linear.

### 3.9.2. Momen-kelengkungan setelah retak pada saat leleh pertama

Pada Gambar 3.9 menunjukkan kasus umum dari sebuah penampang persegi tulangan ganda pada leleh pertama dari tegangan baja dan regangan ultimit beton.

Momen-kelengkungan pada saat leleh pertama dapat dicari dengan persamaan:

$$k = [(\rho - \rho')^2 n^2 + 2(\rho + \frac{\rho' d'}{d}) n]^{1/2} - (\rho - \rho') n \quad \dots\dots\dots (3.51)$$

$$M_y = A'_s f'_s (c-d') + 0,67 f'_c c b^2 + 0,85 f_y (0,85 (h-c) b + 0,5 (h-c) A_s f_y (d-c) \dots\dots\dots (3.52)$$

$$\phi_y = \frac{\epsilon_s}{d-c} \quad \dots\dots\dots (3.53)$$

Dengan:  $c = k.d$

$k$  = faktor tinggi garis netral

$M_y$  = Momen leleh pertama

$\phi_y$  = Kelengkungan leleh pertama

$A_s$  = Luas tulangan tarik

$A'_s$  = Luas tulangan tekan

$d$  = tinggi efektif penampang

$d'$  = jarak dari serat tekan ketitik berat baja tekan

$E_c$  = modulus elastis beton



$E_s$  = modulus elastis baja

$f_y$  = tegangan leleh baja

$jd$  = lengan dari titik berat dari baja tekan dan beton  
ketitik berat tulangan tarik.

$$n = E_s/E_c ; \rho = A_s/bd ; \rho' = A'_s/bd$$

### 3.9.3. Momen-kelengkungan ultimit

Momen ultimit ( $M_u$ ) dan kelengkungan ultimit ( $\phi_u$ ) dari penampang bertulangan rangkap (lihat Gambar 3.9) dalam persamaan :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots (3.54)$$

$$M_u = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2) + A'_s \cdot f_y \cdot (d - d') \dots\dots\dots (3.55)$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_c \cdot \beta_1}{a} \dots\dots\dots (3.56)$$

Regangan baja tekan yang ditunjukkan pada Gambar 3.9 dicari dengan persamaan:

$$\epsilon_s = \epsilon_c \left( \frac{c - d'}{c} \right) = \epsilon_c \left( 1 - \frac{\beta_1 \cdot d'}{a} \right) \dots\dots\dots (3.57)$$

substitusi persamaan (3.54) ke persamaan (3.57) menunjukkan bahwa gaya tekan akan leleh ketika:

$$\epsilon_c \left[ 1 - \beta_1 \cdot d' \left( \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot b}{A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f_y} \right) \right] \geq \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots (3.58)$$

Jika persamaan (3.58) kurang sesuai (baja tekan tidak leleh) maka nilai nyata dari tegangan baja dicari dengan persamaan:

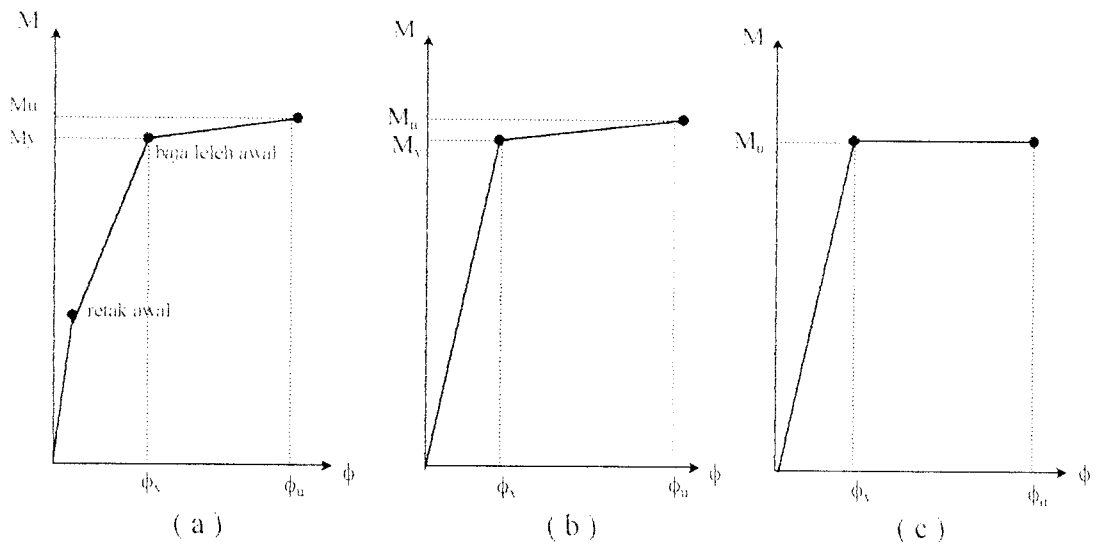
$$f'_s = \epsilon'_s E_s \dots \dots \dots (3.59)$$

maka momen ultimit dapat dicari dengan persamaan:

$$M_u = A_s f'_s (d - kd) + 0,85 f'_s 0,85 b (h - kd)^2 0,5 + 0,67 f'_s kd b \frac{5}{8} kd + A'_s f'_s (kd - d') \dots \dots \dots (3.60)$$

dan kelengkungan  $\phi_u$  dicari dengan persamaan (3.56).

Grafik momen kelengkungan untuk uji lentur ditunjukkan oleh Gambar (3.10)



Gambar 3.10. kurva momen-kelengkungan ideal

Keterangan Gambar 3.10. :

- ( a ) Grafik trilinear momen kelengkungan
- ( b ) Grafik bilinear momen kelengkungan dengan peningkatan momen
- ( c ) Grafik bilinear momen kelengkungan tanpa peningkatan momen

## **BAB IV**

### **PELAKSANAAN PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Material Pembentuk Balok Beton**

##### **4.1.1. Semen**

Sebagai bahan perekat adukan beton (*binder*), digunakan semen portland type I merk Semen Gresik kemasan 50 kg. Penilaian kualitas semen hanya dilakukan dengan pengamatan secara visual terhadap keutuhan kemasan dan kehalusan butir.

##### **4.1.2. Air.**

Air diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

##### **4.1.3. Agregat**

Ada dua macam agregat yang digunakan, yaitu:

###### **1. Agregat halus**

Agregat halus adalah pasir yang diambil dari Kali Krasak, Sleman Yogyakarta yang berdiameter lolos saringan 4,80 mm. Pengujian pasir bertujuan untuk memperoleh distribusi ukuran butir (*gradasi*) dan berat volume dalam keadaan jenuh kering muka (*SSD*). Sebelum digunakan, pasir dicuci untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang terkandung di dalamnya.

## **2. Agregrat kasar**

Agregrat kasar yaitu batuan pecah, didatangkan dari daerah Celereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Memperhatikan ukuran penampang model, dipilih batu pecah dengan ukuran butir maksimum 20 mm. Penyelidikan batu pecah bertujuan memperoleh data tentang berat jenis dan berat volume dalam keadaan SSD. Sebelum digunakan, batu pecah dicuci dan fraksi batu-batu pecah dipisahkan menjadi tiga bagian yaitu lebih kecil dari  $\varnothing$  9 mm,  $\varnothing$  9 mm  $\frac{3}{4}$   $\varnothing$  12 mm,  $\varnothing$  12 mm  $\frac{3}{4}$   $\varnothing$  20 mm.

### **4.1.4. Baja tulangan**

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

### **4.1.5. Fiber kawat bendrat**

Digunakan fiber kawat bendrat  $\varnothing$  1 mm dan panjang 50 mm sebanyak 3% dari berat adukan.

## **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 500 kg, digunakan untuk menimbang bahan susun campuran adukan beton (pasir, semen, kerikil). Timbangan halus merk O'house kapasitas 20 kg dan 5 kg digunakan untuk menimbang serat

kawat bendrat, batu pecah dan pasir ketika melakukan uji berat jenis, berat volume, agregat batu pecah dan modulus halus butir pasir.

#### **4.2.2. Ayakan**

Digunakan untuk mengetahui gradasi pasir dan batu pecah (*split*).

#### **4.2.3. Mistar dan kaliper**

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

#### **4.2.4. Mesin uji kuat tarik**

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan kuat leleh baja tulangan. Pada penelitian ini digunakan UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM) merk SHIMATSU type UMH 30, kapasitas 30 ton.

#### **4.2.5. Mesin uji kuat desak**

Mesin uji kuat desak digunakan untuk mengetahui kuat desak dan kuat tarik silinder beton, didalam penelitian ini digunakan mesin uji kuat desak merk CONTROL kapasitas 2000 KN.

#### **4.2.6. Mesin pengaduk beton**

Mesin pengaduk beton (*mixer*), digunakan untuk pengaduk bahan susun beton (semen, batu pecah, pasir, serat kawat bendrat dan air) sehingga diperoleh campuran adukan beton yang homogen.

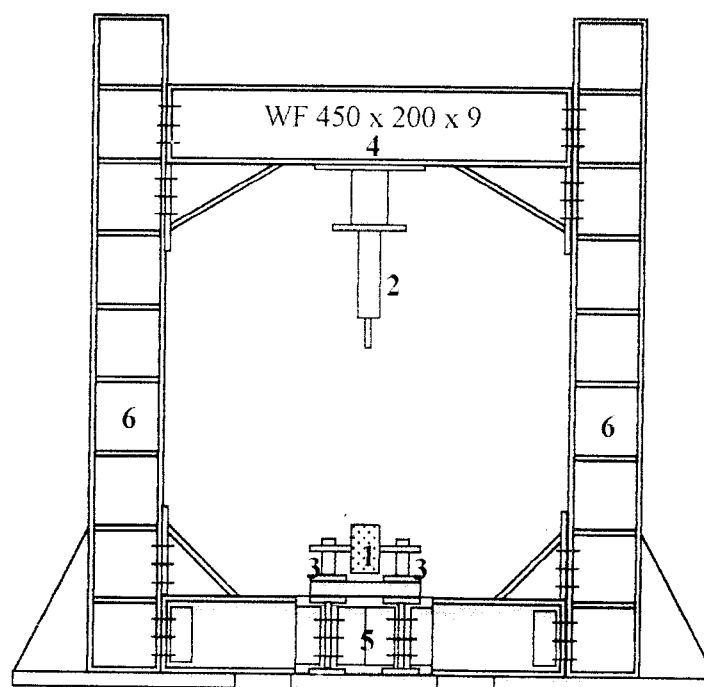
#### 4.2.7. Kerucut Abrams

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 panjang 60 cm dengan diameter 16 mm

#### 4.2.8. Tungku pemanas

Dalam penelitian ini digunakan tungku pemanas yang mampu mencapai suhu sampai  $1000^{\circ}\text{C}$ , yang berada di Unit Pelayanan Teknis (UPT) Kasongan Bantul.

#### 4.2.9. "Loading Frame"



**Keterangan:**

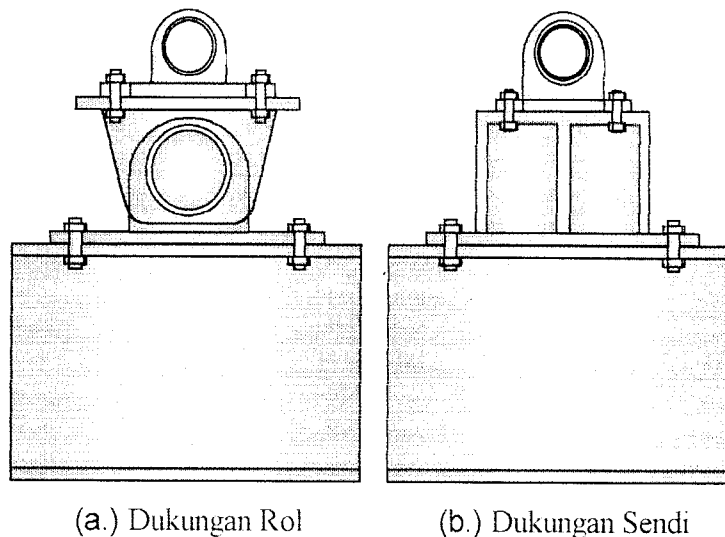
- |                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| 1. Model balok    | 4. Balok portal ( bisa digeser ) |
| 2. Hydraulic Jack | 5. Balok lintang                 |
| 3. Dukungan       | 6. Kolom                         |

Gambar 4.1. Bentuk fisik "Loading Frame"

Untuk keperluan penelitian ini dan penelitian-penelitian yang akan datang, 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 450x200x9x14mm. 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.

#### 4.2.10. Dukungan rol dan sendi

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



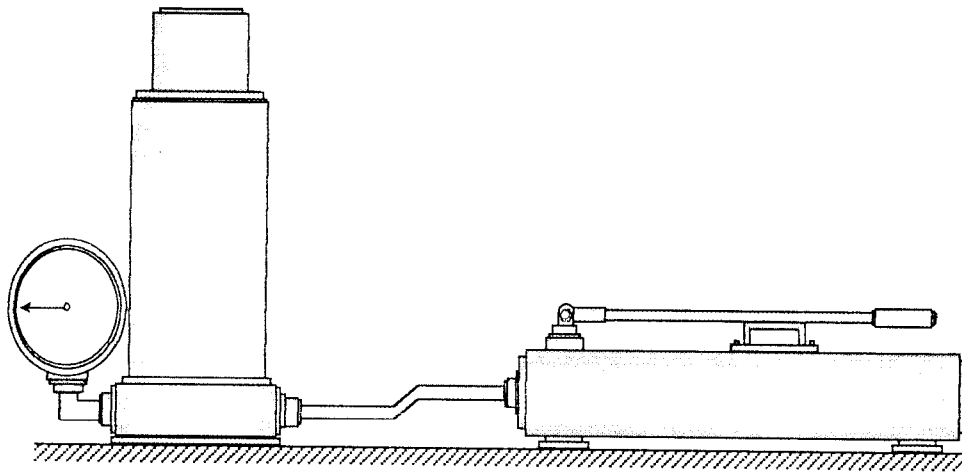
Gambar 4.2. Dukungan Sendi dan Rol

#### 4.2.11. "Thermokopel"

Alat ini berfungsi sebagai pengukur suhu sampai 1500°C pada tungku pemanas.

#### 4.2.12. "Hydraulic jack"

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur balok skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0,5 ton, (lihat Gambar 4.3).

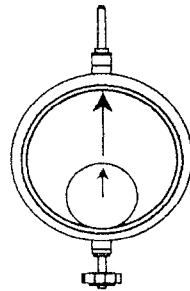


Gambar 4.3. "Hidraulic Jack"

#### 4.2.13. "Dial Gauge"

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi, Untuk penelitian skala penuh digunakan dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dengan tingkat ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dengan tingkat ketelitian 0,01mm. Dalam penelitian ini digunakan "Dial Gauge" sebanyak 3 buah, (lihat Gambar 4.4).





Gambar 4.4. "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, "set-up instrument" pengujian dan uji pendahuluan.

##### a) Uji pasir

Hasil uji pasir didapat berat jenis SSD  $2,7 \text{ Ton/m}^3$  dan modulus kehalusan butir  $2,8 \text{ Ton/m}^3$ .

##### b) Uji batu pecah

Uji batu pecah bertujuan mendapatkan berat jenis dan berat volume batu pecah keadaan SSD. Didapat berat jenis SSD  $2,632 \text{ Ton/m}^3$  dan berat volume SSD  $1,489 \text{ Ton/m}^3$ .

##### c) Perencanaan campuran adukan beton

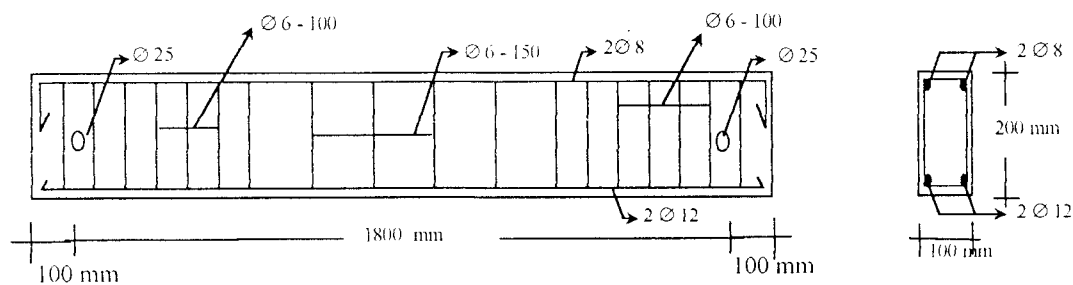
Perencanaan campuran adukan beton menggunakan cara yang direkomendasi oleh American Concrete Institute (ACI), hitungan disajikan dalam lampiran 1.

Untuk setiap satu meter kubik beton dengan kuat desak rencana 25 MPa diperlukan bahan penyusun yaitu semen 420,202 kg, pasir 780,300 kg, batu pecah 910 kg, air 208 liter, dan serat kawat bendrat 69,555 kg.

#### 4.3.2. Pembuatan dan perawatan model

Dalam penelitian ini, dibuat 14 buah balok beton serat kawat bendrat dengan ukuran (100mm x 200mm x 2000mm) lihat Gambar 4.5., yang terdiri dari:

1. Sampel (A) dengan serat 3 % dari adukan dibakar selama 2 jam pada suhu 500°C sebanyak 3 buah
2. Sampel (B) dengan serat 3 % dari adukan dibakar selama 3 jam pada suhu 500°C sebanyak 3 buah
3. Sampel (C) dengan serat 3 % dari adukan dibakar selama 2 jam pada suhu 600°C sebanyak 3 buah
4. Sampel (D) dengan serat 3 % dari adukan dibakar selama 3 jam pada suhu 600°C sebanyak 3 buah
5. Sampel (E) dengan serat 3 % dari adukan tanpa pembakaran sebanyak 2 buah.



Gambar 4.5. Model balok uji

Selain pembuatan balok beton serat, dibuat juga dalam bentuk silinder sebanyak 20 buah dengan tujuan untuk mengetahui kuat desak dan kuat tarik beton serat. Untuk uji kuat desak beton digunakan 15 buah sampel silinder dan 5 buah sampel silinder untuk uji kuat tarik beton serat.

Perawatan terhadap balok uji dilaksanakan dengan menyelimuti balok dengan karung basah yang disiram setiap hari. Dengan cara ini diharapkan hidrasi semen berlangsung dengan baik. Sedangkan untuk silinder dilakukan dengan cara merendam di dalam bak yang telah tersedia di Lab. BKT FTSP UII. Perawatan terhadap sampel tersebut dilakukan selama 28 hari.

#### **4.3.3. Pelaksanaan pembakaran benda uji**

Pembakaran dilakukan di UPT Kasongan Bantul dengan variasi suhu 500°C dan 600°C selama 2 jam dan 3 jam setelah benda uji melewati masa perawatan selama 28 hari. Cara pembakaran balok beton serat ini yaitu sebelum benda uji dibakar, terlebih dahulu benda uji dimasukkan kedalam tungku pembakaran. Setelah benda uji tertata rapi di dalam tungku pembakaran, mulailah dilakukan pembakaran dari suhu ruangan hingga mencapai variasi suhu yang diinginkan yaitu suhu 500°C dan 600°C. Sedangkan waktu yang dibutuhkan selama pembakaran yaitu 2 jam dan 3 jam dengan cara: waktu pembakaran mulai dihitung sejak awal pembakaran hingga mencapai waktu dan suhu yang diinginkan, kemudian ditahan selama  $\pm 15$  menit, setelah itu api dipadamkan kemudian benda uji dikeluarkan dari tungku pembakaran. Setelah benda uji dikeluarkan dari tungku pembakaran, benda uji didinginkan dengan cara

menyiram air. Hal ini dilakukan agar dapat mendekati perilaku dilapangan ketika terjadi kebakaran pada sebuah gedung.

#### **4.3.4. Pelaksanaan pengujian**

Pengujian balok dilaksanakan setelah dilakukan pembakaran benda uji beton serat kawat bendrat. Pengujian dilakukan di Lab. Struktur FTSP UII dan di Lab. BKT FTSP UII. Pengujian ini meliputi:

1. Menguji kuat tarik baja tulangan yang dipakai untuk balok beton bertulang dengan tujuan mengetahui kuat tarik dan kuat leleh baja tulangan
2. Menguji kuat desak dan kuat tarik benda uji beton serat silinder
3. Menguji kuat lentur balok beton serat kawat bendrat untuk mengetahui beban dan lendutan.

#### **4.4. Hasil Penelitian dan Pembahasan**

##### **4.4.1. Hasil uji kuat desak dan kuat tarik beton**

Kuat desak beton rencana tergantung dari jenis campuran, sifat-sifat agregat dan kualitas perawatannya. Hasil kuat desak beton didapat dari uji desak 15 buah silinder beton ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Kuat desak beton yang disyaratkan pada umur 28 hari adalah 25 MPa. Dari hasil uji desak beton didapat kuat desak beton 27,217 Mpa, sehingga memenuhi kuat desak beton rencana yang disyaratkan. Hasil uji kuat desak beton dapat dilihat pada lampiran 4.

Hasil uji kuat tarik beton didapat dari 5 buah silinder beton dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Uji kuat tarik beton dilakukan dengan cara uji

belah beton dan didapatkan kuat tarik beton sebesar 2,17 MPa. Hasil uji kuat tarik beton dapat dilihat pada lampiran 4.

Uji kuat desak beton sebanyak 15 buah silinder beton dan kuat tarik 5 buah silinder beton dapat dirangkum sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan rata-rata } (f'_{cf}) = 37,3 \text{ MPa}$$

$$\text{Standart deviasi } (s) = 5,3 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat tarik rata-rata } (f'_{tf}) = 2,17 \text{ MPa}$$

Dengan 5% kemungkinan adanya kekuatan yang tidak memenuhi syarat kuat desak karakteristik maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$f'_c = f'_{cf} - 1,64 \cdot s$$

karena silinder beton yang digunakan untuk uji desak sebanyak 15 buah, maka standar deviasi dikalikan dengan faktor pengali standar deviasi sebesar 1,16 (**Kardiyono, 1992**). Sehingga persamaannya menjadi:

$$f'_c = f'_{cf} - 1,64 \cdot s \cdot 1,16$$

$$f'_c = 37,3 - 1,64 \cdot (5,3) \cdot 1,16$$

$$= 27,217 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton pada model adalah 27,217 MPa

#### 4.4.2. 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 ditunjukkan pada lampiran 3, rangkuman hasil uji kuat tarik baja ditunjukkan pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1. Hasil uji Tarik Baja

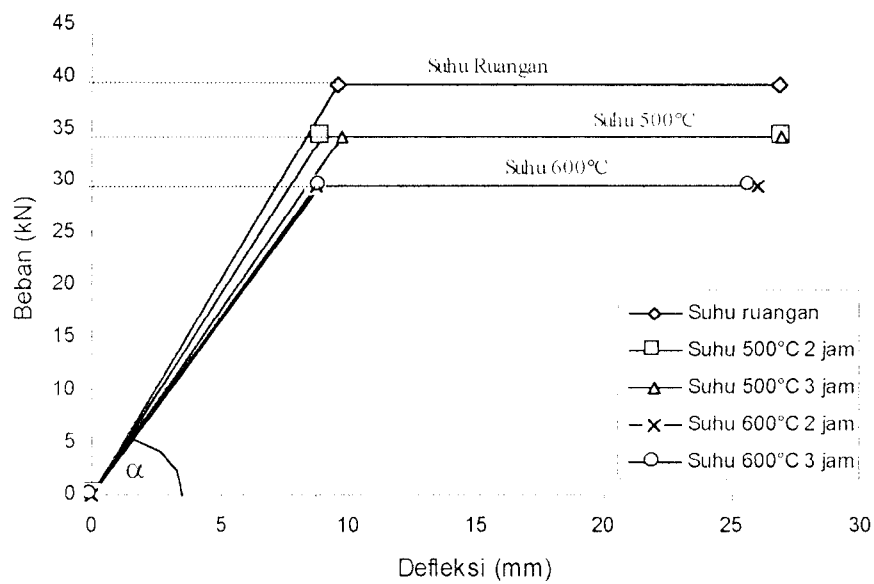
Diameter (mm)	Kuat Leleh (MPa)	Kuat tarik (Mpa)
6	300	420
8	251	352
12	264	382

#### 4.4.3. Kuat lentur balok

Hasil pengujian balok beton serat kawat bendrat pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

##### 1. Hubungan beban dan defleksi

Gambar 4.6. memperlihatkan diagram yang memberikan gambaran hubungan antara beban dan defleksi.



Gambar 4.6. Grafik bilinear beban defleksi

Dari gambar 4.6. hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.:

Tabel 4.2. Analisa data beban dan defleksi

Benda Uji	P (leleh) (kN)	Kuat Sisa (%)	Defleksi ( $\Delta$ ) (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Kekakuan (%)
Suhu ruangan	39,228	100,00	9,540	4,1119	100,00
500°C - 2 jam	34,325	87,50	8,943	3,8382	93,3437
500°C - 3 jam	34,325	87,50	9,750	3,5205	85,6173
600°C - 2 jam	29,420	75,00	8,710	3,3778	82,1469
600°C - 3 jam	29,420	75,00	8,870	3,3168	80,6634

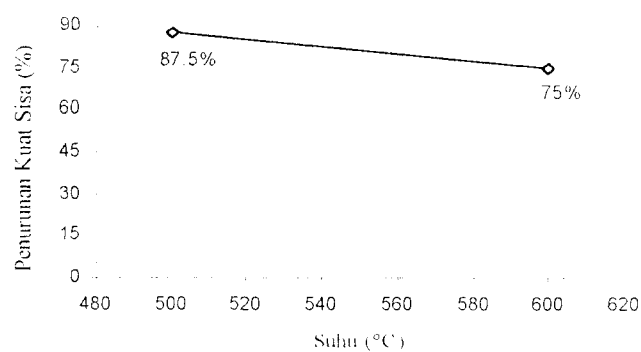
Dari data Tabel 4.2. dapat diamati dan diteliti pengaruh suhu dan waktu terhadap kuat lentur sisa balok dalam menahan beban, serta perilaku lendutan yang terjadi pada benda uji. Dari penelitian didapatkan hubungan beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ), dalam hal ini nilai kekakuan. Nilai kekakuan didapat dari  $tg \alpha = P/\Delta$ , kekakuan pada balok pasca bakar secara umum mempunyai perilaku kekakuan yang berbeda.

Pada perbandingan grafik lendutan balok suhu ruangan dengan grafik lendutan balok yang dibakar, grafik lendutan balok yang tidak dibakar dianggap mempunyai kuat lentur dan kelengkungan 100 %. Sedangkan grafik lendutan balok yang dibakar dibandingkan dengan grafik lendutan balok yang tidak dibakar dapat diketahui besarnya kuat sisa dan nilai kekakuan sisa dalam persen (%). Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan kuat sisa dan nilai kekakuan dari balok yang dibakar, sebagai berikut:



- a) Pada pembakaran suhu  $500^{\circ}\text{C}$  dengan lama pembakaran 2 jam balok uji mengalami penurunan kuat sisa sebesar 12,5 % atau mempunyai kuat sisa sebesar 87,5 % dan sisa kekakuan 93,3437%.
- b) Pada pembakaran suhu  $500^{\circ}\text{C}$  dengan lama pembakaran 3 jam balok uji mengalami penurunan kuat sisa sebesar 12,5 % atau mempunyai kuat sisa sebesar 87,5 % dan sisa kekakuan 85,6173%.
- c) Pada pembakaran suhu  $600^{\circ}\text{C}$  dengan lama pembakaran 2 jam balok uji mengalami penurunan kuat sisa sebesar 25 % dengan kata lain balok uji mempunyai kuat sisa 75 %.dan sisa kekakuan 82,1469%.
- d) Pada pembakaran suhu  $600^{\circ}\text{C}$  dengan lama pembakaran 3 jam balok uji mengalami penurunan kuat sisa sebesar 25 % dengan kata lain balok uji mempunyai kuat sisa sebesar 75 % dan sisa kekakuan 80,6634%.

Grafik penurunan kuat sisa (%) dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik penurunan kuat sisa balok



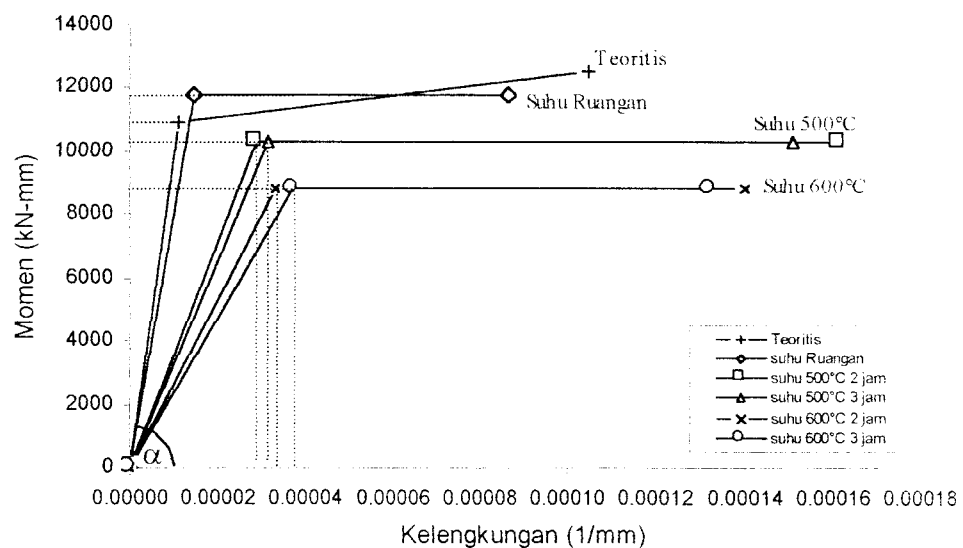
## 2. Hubungan momen dengan kelengkungan

Mengacu pada tulisan **Park and Pauley (1975)**, nilai momen dan kelengkungan dapat dicari. Perhitungan momen kelengkungan disajikan pada lampiran 2, sedang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.3. dan grafik bilinearnya pada Gambar 4.8.

Tabel 4.3. Hasil perhitungan momen-kelengkungan teoritis

$M_{cr}$ (kN-mm)	$\phi_{cr}$ (rad/mm)	$M_y$ (kN-mm)	$\phi_y$ (rad/mm)	$M_u$ (kN-mm)	$\phi_u$ (rad/mm)
1820,506	0,000000091	10920,125	0,0000111	12536,51	0,000105

Dari hasil perhitungan momen kelengkungan secara teoritis, maka dapat digambarkan gabungan grafik bilinear momen kelengkungan yang terdapat pada Gambar 4.8, dan Grafik hasil pengamatan dilapangan dapat dilihat pada lampiran 6.



Gambar 4.8. Grafik bilinear momen kelengkungan

Pada Gambar 4.8. terlihat grafik momen-kelengkungan teoritis lebih tinggi dari grafik hasil penelitian suhu ruangan, karena kuat tarik beton diperhitungkan dalam perhitungan secara teoritis.

Hubungan momen dan kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan. Dalam hal ini didapat dari  $M/\phi$ , faktor kekakuan pada balok pasca bakar secara umum berbeda. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.8. grafik  $M/\phi$  yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium.

Dengan membandingkan grafik momen kelengkungan balok suhu ruangan dengan grafik momen kelengkungan balok pasca bakar, dapat diketahui besarnya faktor kekakuan dalam (%) seperti disajikan dalam Tabel 4.4. Grafik momen-kelengkungan balok suhu ruangan dianggap mempunyai faktor kekakuan 100%. Sedang grafik momen-kelengkungan balok pasca bakar dibandingkan grafik momen-kelengkungan balok suhu ruangan.

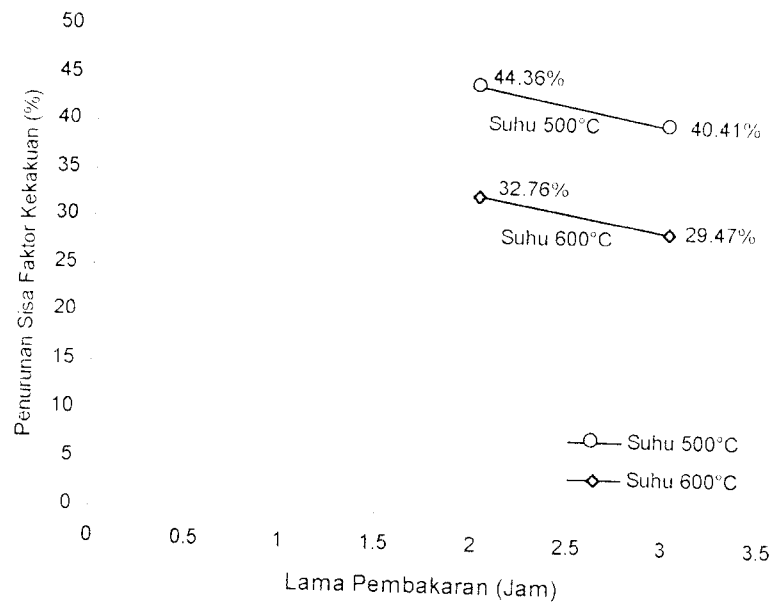
Tabel 4.4. Analisa data momen-kelengkungan dengan kekakuan

Benda Uji	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Faktor Kekakuan (EI) (kN-mm <sup>2</sup> )	Momen (%)	EI (%)
Teoritis	10920,125	0,0000111	983795045,00	92,79	121,21
Suhu ruangan	11768,400	0,0000145	811613793,10	100,00	100,00
500°C - 2 jam	10297,350	0,0000286	360047202,80	87,50	44,36
500°C - 3 jam	10297,350	0,0000314	327941082,80	87,50	40,41
600°C - 2 jam	8826,300	0,0000332	265852409,60	75,00	32,76
600°C - 3 jam	8826,3000	0,0000369	239195121,90	75,00	29,47

Dari Tabel 4.4. dapat dilihat terjadinya kenaikan momen dan faktor kekakuan untuk perhitungan secara teoritis dan penurunan momen dan faktor kekakuan untuk balok beton serat kawat bendrat pasca bakar jika dibandingkan dengan balok beton serat kawat bendrat suhu ruangan. Dari hasil analisa yang terdapat pada Tabel 4.4. dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Untuk perhitungan secara teoritis terjadi penurunan momen 7,21 % dan kenaikan faktor kekakuan sebesar 21,21 %.
- b. Pada suhu 500°C lama pembakaran 2 jam terjadi penurunan momen sebesar 12,5 % dan sisa faktor kekakuan sebesar 44.36%.
- c. Pada suhu 500°C lama pembakaran 3 jam terjadi penurunan momen sebesar 12,5 % dan sisa faktor kekakuan sebesar 40.41 %.
- d. Pada suhu 600°C lama pembakaran 2 jam terjadi penurunan momen sebesar 25 % dan sisa faktor kekakuan sebesar 32.76 %.
- e. Pada suhu 600°C lama pembakaran 3 jam terjadi penurunan momen sebesar 25 % dan sisa faktor kekakuan sebesar 29.47 %.

Grafik Penurunan sisa faktor kekakuan dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik Penurunan Sisa Faktor Kekakuan

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan di muka dapat diambil kesimpulan mengenai perilaku balok beton serat kawat bendrat pasca bakar dengan variasi suhu dan waktu sebagai berikut:

1. Temperatur sangat berpengaruh terhadap degradasi kuat lentur balok beton serat kawat bendrat, untuk suhu  $500^{\circ}\text{C}$  baik waktu pembakaran selama 2 jam maupun 3 jam terjadi degradasi kuat lentur sebesar 12,5 % dan suhu  $600^{\circ}\text{C}$  baik waktu pembakaran selama 2 jam maupun 3 jam terjadi degradasi kuat lentur sebesar 25 %.
2. Temperatur sangat berpengaruh terhadap degradasi momen dan faktor kekakuan balok beton serat kawat bendrat. Degradasi momen dan faktor kekakuan bervariasi menurut suhu dan lama pembakaran. Pada suhu  $500^{\circ}\text{C}$  lama pembakaran 2 jam momen mengalami penurunan 12,5 % dan penurunan faktor kekakuan 55,64 %. Pada suhu  $500^{\circ}\text{C}$  lama pembakaran 3 jam momen mengalami penurunan 12,5 % dengan penurunan faktor kekakuan 59,59 %. Untuk suhu  $600^{\circ}\text{C}$  lama pembakaran 2 jam momen mengalami penurunan 25 % dan penurunan faktor kekakuan 67,24 %. Pada

suhu 600°C lama pembakaran 3 jam momen mengalami penurunan 25% dengan penurunan faktor kekakuan 70,53 %.

## 5.2. Saran

Untuk memperoleh pengetahuan lebih luas mengenai beton serat, khususnya beton serat kawat bendrat maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut. Dan beberapa saran yang dapat kami berikan diantaranya yaitu:

1. Dalam penelitian selanjutnya dapat digunakan berbagai macam variasi, diantaranya variasi suhu, waktu, dan jumlah serat kawat bendrat yang ditambahkan.
2. Pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pengamatan dalam membaca dial pembebanan dan munculnya retak awal sehingga didapat data yang lebih valid.
3. Perlu diperhatikan mengenai hal adukan beton, terutama pada saat pencampuran bahan penyusun beton, agar didapatkan adukan beton yang homogen.

## DAFTAR PUSTAKA

- , 1971, **PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA**, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- , 1991, **TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON BERTULANG UNTUK BANGUNAN GEDUNG**, SK-SNI T-15-1991-03, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- , 1999, **STADIUM GENERAL ANALISA STRUKTUR GEDUNG PASCA KEBAKARAN**, Fakultas Teknik Sipil UGM, Yogyakarta.
- ACI Committee 544, 1982, **STATE OF THE REPORT ON FIBER REINFORCED CONCRETE**, Concrete international, P 9-25.
- Balaguru, P. N. & Shah, S. P., 1992, **FIBER-REINFORCED CEMENT COMPOSITES**, McGraw-hill International Editions, Singapore.
- Fathurrohman, 1999, **ESTIMASI KEKUATAN SISA BALOK BETON PADA BERBAGAI TINGKAT KERUSAKAN**, Tesis, Program Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- Heru N. A. & Reza S., 1998, **KEKUATAN DESAK KOLOM KOMPOSIT BAJA SILINDER DENGAN BETON SERAT SETELAH DIBAKAR**, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, Yogyakarta.
- Hansen, 1976, **TEXT BOOK OF CONCRETE TEHNOLOGY**.
- Istimawan Dipohusodo, 1994, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Isnaini J. dan Anas I., 1998, **PENGARUH PEMBAKARAN TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN VARIASI TEBAL**, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, Yogyakarta.
- Nevile Am, 1975, **PROPERTIES OF CONCRETE**, Second Edition, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.

- Park R and Paulay, 1975, **REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**, John Wiley & Sons, Inc.
- Soroushian, P., Bayasi, Z., 1987, **CONCEPT OF FIBER REINFORCED CONCRETE**, Proceeding of The International Seminar on Fiber Reinforced Concrete.
- Suhendro, 1997, **PENGARUH PEMAKAIAN FIBER SECARA PARSIAL PADA PERILAKU DAN KAPASITAS BALOK BETON BERTULANG**, Forum Teknik Sipil UGM, Yogyakarta.
- Sudarmoko, 1992, **PERANCANGAN STRUKTUR BETON SERAT**, Laporan Kursus Singkat Dalam Negri Teknologi Beton, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Soemono, 1982, **ILMU GAYA BANGUNAN-BANGUNAN STATIS TAK TENTU**.
- Sudarmoko, 1991, **KUAT LENTUR BETON SERAT DENGAN SKALA PENUH**, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Suhendro, 1997, **BETON FIBER LOKAL KONSEP, APLIKASI, DAN PERMASALAHANNYA**, Laporan Kursus Singkat Dalam Negri Teknologi Beton, PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Suprianto & M. Ali Muhtadin, 1996, **STUDI KOMPARASI BETON SERAT BENDRAT DAN SERAT PLASTIK PADA UJI LENTUR**, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, Yogyakarta.
- Swamy , R.N. and Al-Noori, K, (1975), **FLEXURAL PROPERTIS OF STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE**, Michigan, USA.



## LAMPIRAN 1

1

### Mix Design Dengan Metode ACI

#### Kuat Lentur Balok Beton fiber Kawat Benihat pasca Bakar

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

$$\left. \begin{array}{l} \text{Volume} = 0,25 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \times 20 = 0,11 \text{ m}^3 \end{array} \right\}$$

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

$$\left. \begin{array}{l} \text{Volume} = 0,2 \times 0,1 \times 2 \times 14 = 0,56 \text{ m}^3 \end{array} \right\}$$

Jadi volume total = 0,67 m<sup>3</sup>

Jenis konstruksi (Plat, Balok, Kolom) → Nilai slump : min = 7,5 cm ; max = 15 cm

Vol. Tot. = 0,67 m<sup>3</sup> < 1000 m<sup>3</sup> → Vol. pekerjaan Kecil

→ Mutu pelaksanaan baik, nilai ds = 40 kg/cm<sup>2</sup>

$$\ast f_{er} = f'_c + m \quad ; \quad m = 1,64 \cdot ds$$

$$= 250 + (1,64 \cdot 40)$$

$$= 315 \text{ kg/cm}^2 = 31,5 \text{ Mpa}$$

- ❖ Untuk  $f'_{cr} = 31,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f_{a.s.} = 0,495$  (dari tabel)
- ❖ Nilai slump berdasar jenis struktur (7,5 – 15 cm)
- ❖ Jumlah air yg dibutuhkan berdasar nilai slump dan (ukuran agregat max = 20 mm) dari tabel didapat jumlah Air = 208 kg/m<sup>3</sup> dg udara terperangkap = 2 %
- ❖ Kebutuhan semen

$$f_{a.s.} = 0,495 \rightarrow \text{Air / Semen}$$

$$\text{Semen} = \text{Air} / 0,495 \rightarrow 208 / 0,495 = 420,202 \text{ kg/m}^3$$

digunakan:	
Pasir	: $B_j = 2,7 \text{ t/m}^3$ MFB = 2,8 t/m <sup>3</sup>
Kerikil	: $B_j = 2,632 \text{ t/m}^3$ Berat satuan dibasah = 1,489 t/m <sup>3</sup>
Semen	: $B_j = 3,15 \text{ t/m}^3$

- ❖ Menentukan volume agregat kasar per satuan volume

$$\left. \begin{array}{l} \text{MFB pasir} = 2,8 \\ \text{Ukuran max kerikil} = 20\text{mm} \end{array} \right\} \text{ Dari tabel diperoleh Vol. agregat kasar} = 0,61 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat agregat kasar} = 0,61 \cdot 1,489 = 0,91 \text{ ton} \times 1000 = 910 \text{ kg}$$

$$\text{Volume kerikil} = 0,91 / 2,632 = 0,35 \text{ m}^3$$

- ❖ Hitungan volume agregat halus

$$\text{Vol. Semen} = 420,202 / (3,15 \times 1000) = 0,133 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Air} = 208 / 1000 = 0,208 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Agregat kasar} = 0,91 / 2,632 = 0,350 \text{ m}^3$$

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

---


$$0,711 \text{ m}^3$$

$$\text{volume agregat halus} = 1 - 0,711 = 0,289 \text{ m}^3$$

$$\text{berat agregat halus} = 0,289 \times 2,7 \times 1000 = 780,3 \text{ kg}$$

❖ Jadi perbandingan adukan beton per  $1 \text{ m}^3$

$$\begin{aligned} \text{SP} : \text{Ps} : \text{Kr} : \text{Air} &= 420,202 : 780,3 : 910 : 208 \\ &= 1 : 1,857 : 2,166 : 0,495 \end{aligned}$$

❖ Menetapkan kebutuhan serat baja lokal (bendrat)

Dipakai volume serat (VF) sebanyak 3% dari berat adukan

$$\text{VF} = 3\% \times (420,202 + 780,3 + 910 + 208) = 69,555 \text{ kg}$$

❖ Kebutuhan kerikil per- $\text{m}^3$  (berat total = 910 kg) dibagi menjadi 3 gradasi

yaitu:

o Ukuran besar ( $\phi$  12,5 s/d 20 mm) = 510,5 kg

o Ukuran sedang ( $\phi$  9,5 s/d 12,5 mm) = 166 kg

o Ukuran kecil ( $\phi$  4 s/d 9,5 mm) = 237 kg

$$\text{Perbandingan gradasi kerikil} = 3,075 : 1 : 1,428$$

❖ Kebutuhan material dalam 1 kali adukan beton (Vol. Mixer =  $0,08 \text{ m}^3$ )

1. Semen =  $420,202 \times 0,08 = 33,616 \text{ kg}$

2. Pasir =  $780,300 \times 0,08 = 62,424 \text{ kg}$

3. Kerikil =  $910,000 \times 0,08 = 72,800 \text{ kg}$

4. Air =  $208,000 \times 0,08 = 16,640 \text{ liter}$

5. Serat =  $69,555 \times 0,08 = 5,564 \text{ kg}$

❖ Kebutuhan campuran kerikil per-adukan ( Vol.= 0,08 m<sup>3</sup> )

- Besar =  $\frac{5,075}{3,305} \times 72,8 = 10,680$  kg
- Sedang =  $\frac{1}{3,305} \times 72,8 = 13,229$  kg
- Kecil =  $\frac{1,428}{3,305} \times 72,8 = 18,891$  kg

Tabel Kebutuhan Material per- m<sup>3</sup> Beton

No.	Jenis Material	Berat (kg)
1	Semen	420,202
2	Pasir	780,300
3	Kerikil	910,000
4	Air	208 liter
5	Serat	69,555

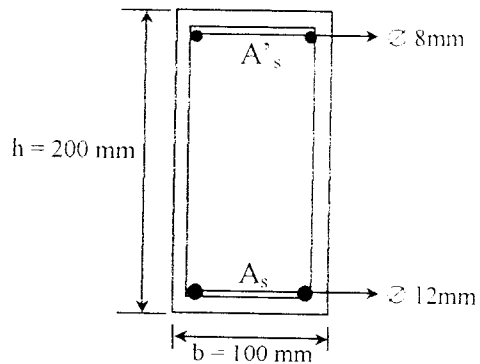
Tabel kebutuhan Material per-adukan (vol. =0,08 m<sup>3</sup>)

N0.	Jenis Material	Berat (kg)
1	Semen	33,616
2	Pasir	62,424
3	Kerikil (dibagi menjadi 3 gradasi)	72,8
	Besar	40,680
	Sedang	13,229
	Kecil	18,891
4	Air	16,640 liter
5	Serat	5,564

## LAMPIRAN 2

### HITUNGAN MOMEN-KELENGKUNGAN

#### SECARA TEORITIS



Data hasil laboratorium:

$$f_{y\phi 8} = f_y = 251 \text{ MPa} = 0,251 \text{ kN/mm}^2$$

$$f_{y\phi 12} = f_y = 264 \text{ MPa} = 0,264 \text{ kN/mm}^2$$

$$f'_c = 2,17 \text{ MPa} = 0,00217 \text{ kN/mm}^2$$

$$f_{cf} = 27,217 \text{ MPa} = 0,027217 \text{ kN/mm}^2$$

$$f_{cf} = 27,217 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa} \text{ maka } \beta_1 = 0,85$$

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

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_{cf}} = 4700 \cdot \sqrt{27,217} = 24,52 \text{ kN/mm}^2$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2 \cdot 10^5}{24520} = 8,157$$

$$A_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi 12^2 = 226,19 \text{ mm}^2$$

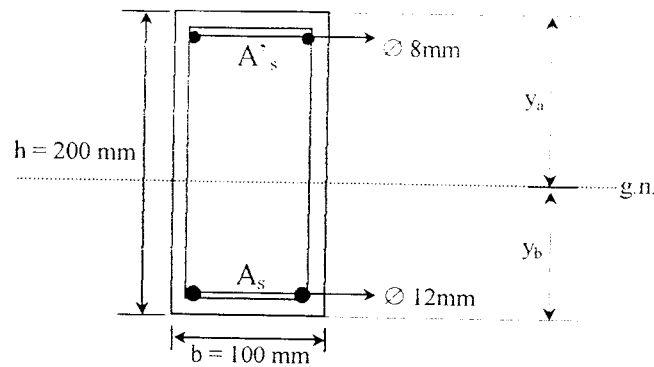
$$A'_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi 8^2 = 100,53 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{226,19}{100 \cdot 180} = 0,0126$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d} = \frac{100,53}{100 \cdot 180} = 0,0056$$

Menurut **Suhendro (1998)** bahwa distribusi regangan dianggap linier, dengan regangan maksimum di serat beton terdesak diambil  $\epsilon_c = 0,0035$ .

**I. Menghitung besar momen-kelengkungan pada retak awal**



$$A = (b \cdot h) + (n-1) (A_s + A'_s)$$

$$= (100 \cdot 200) + (8,157-1) (226,19+100,531)$$

$$= 22338,335 \text{ mm}^2$$

$$y_a = \frac{(b \cdot 0,5 \cdot h^2) + (n-1) \cdot A_s \cdot d - (n-1) \cdot A'_s \cdot d'}{A}$$

$$y_a = \frac{(100 \cdot 0,5 \cdot 200^2) + (8,157-1) \cdot 226,19 \cdot 180 - (8,157-1) \cdot 100,53 \cdot 20}{22338,335}$$

$$= 103,22 \text{ mm}$$

$$y_b = h - y_a = 200 - 103,22 = 96,78 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot (y_a - \frac{1}{2} \cdot h)^2 + (n-1) \cdot A_s \cdot (y_b - d')^2 + (n-1) \cdot A'_s \cdot (y_a - d')^2$$

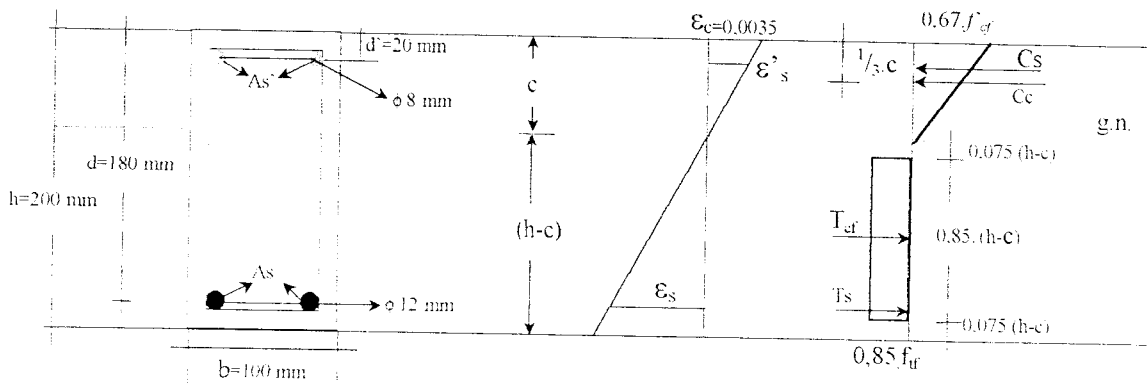
$$I = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 200^3 + 100 \cdot 200 \cdot (103,1169 - \frac{1}{2} \cdot 200)^2 + (8,157-1) \cdot 226,19 \cdot (96,78-20)^2 + (8,157-1) \cdot 100,53 \cdot (103,22-20)^2$$

$$= 81192911,31 \text{ mm}^4$$

$$M_{crack} = \frac{f_r \cdot I}{y_c} = \frac{0,002178119291131}{96,78} = 1820,506 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{crack} = \frac{f_r}{y_c \cdot E_c} = \frac{0,00217}{96,78 \cdot 24,52} = 0,000000091 \text{ rad/mm}$$

**II. Menghitung besar momen-kelengkungan setelah retak pada saat leleh pertama**



Asumsi bahwa tulangan dalam kondisi telah leleh:

$$k = \left[ (\rho + \rho')^2 \cdot n^2 + 2 \cdot \left( \rho + \frac{\rho' \cdot d'}{d} \right) \cdot 9,06 \right]^{0,5} - n \cdot (\rho + \rho')$$

$$k = \left[ (0,0126 + 0,0056)^2 \cdot 8,157^2 + 2 \cdot \left( 0,0126 + \frac{0,0056 \cdot 20}{180} \cdot 8,157 \right) \right]^{0,5} - 8,157(0,0126 + 0,0056)$$

$$= 0,339$$

$$c = k.d = 0,339.180 = 61,02 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{0,264}{200} = 0,00132$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_y \cdot \frac{c}{d-c} = 0,00132 \cdot \frac{61,02}{180-61,02} = 0,000677$$

$$f'_{cf} = \varepsilon_c \cdot E_c = 0,000677 \cdot 24,52 = 0,017 \text{ kN/mm}^2$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_c \cdot \frac{c-d'}{c} = 0,000677 \cdot \frac{61,02-20}{61,02} = 0,000455 \leq \varepsilon_y = 0,00132$$

$$f'_{cs} = \varepsilon'_s \cdot E_s = 0,000455 \cdot 200 = 0,091 \text{ kN/mm}^2$$

$$M_y = C_s \cdot (c-d') + C_c \cdot \frac{2}{3} \cdot c + T_c \cdot 0,5 \cdot (h-c) + T_s \cdot (d-c)$$

$$M_y = A'_s \cdot f'_{cs} \cdot (c-d') + \frac{1}{2} \cdot 0,67 \cdot f'_{cf} \cdot c \cdot b \cdot \frac{2}{3} \cdot c + 0,85 \cdot f'_f \cdot 0,85 \cdot (h-c) \cdot b \cdot 0,5 \cdot (h-c) + A_s \cdot f_y \cdot (d-c)$$

$$= 100,53 \cdot 0,091 \cdot (61,02-20) + \frac{1}{2} \cdot 0,67 \cdot 0,0272 \cdot 61,02 \cdot 100 \cdot \frac{2}{3} \cdot 61,02 +$$

$$0,85 \cdot 0,00217 \cdot 0,85 \cdot (200-61,02) \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot (200-61,02) +$$

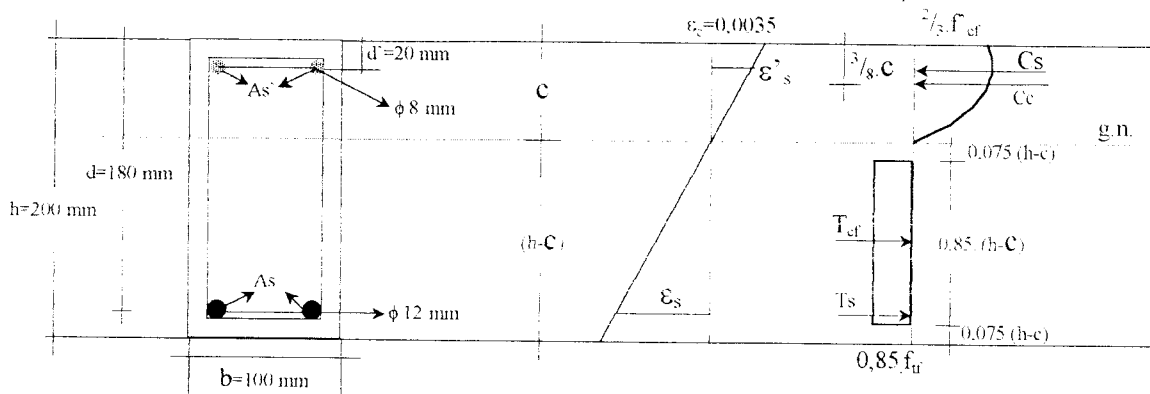
$$226,19 \cdot 0,264 \cdot (180-61,02)$$

$$= 10920,125 \text{ kN-mm}$$

$$\phi = \frac{\varepsilon_y}{(d-c)} = \frac{0,00132}{(180-61,02)} = 0,0000111 \text{ rad/mm}$$



III. Menghitung besar momen-kelengkungan ultimit



Asumsi bahwa tulangan dalam kondisi telah leleh:

$$C_s = A'_s \cdot f'_s = 100,53 \cdot 0,251 = 25,233 \text{ kN}$$

$$C_c = 0,67 \cdot f'_{cf} \cdot c \cdot b = 0,67 \cdot 0,0272 \cdot c \cdot 100 = 1,8224 \cdot c$$

$$T_{cf} = 0,85^2 \cdot (h-c) \cdot f'_{cf} \cdot b = 0,85^2 \cdot (200-c) \cdot 0,00217 \cdot 100 = 31,3565 - (0,157 \cdot c)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y = 226,19 \cdot 0,264 = 59,714 \text{ kN}$$

Syarat keseimbangan gaya-gaya dalam yaitu:

$$C_c + C_s - T_{cf} - T_s = 0$$

$$1,8224 \cdot c + 25,233 - 31,3565 + 0,157 \cdot c - 59,714 = 0$$

$$1,9794 \cdot c = 65,8375 \longrightarrow c = 33,2613 \text{ mm}$$

$$C_s = 25,233 \text{ kN}$$

$$C_c = 1,8224 \cdot c = 60,615 \text{ kN}$$

$$T_{cf} = 31,3565 - (0,157 \cdot c) = 26,134 \text{ kN}$$

$$T_s = 59,714 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{0,264}{200} = 0,00132$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_c \cdot \frac{c-d'}{c} = 0,0035 \frac{33,2613-20}{33,2613} = 0,00139 \geq \varepsilon_y = 0,00132$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c \cdot \frac{d-c}{c} = 0,0035 \frac{180-33,2613}{33,2613} = 0,0154 \geq \varepsilon_y = 0,00132$$

karena  $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_y$  dan  $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$  maka asumsi awal bahwa baja tekan sudah leleh adalah benar, maka momen ultimit yaitu:

$$\begin{aligned} M_u &= A'_s f'_s (c-d') + 0,67 \cdot f'_{cf} \cdot c \cdot b \cdot \frac{1}{8} \cdot c + 0,85^2 \cdot (h-c) \cdot f'_y \cdot b \cdot 0,5 \cdot (h-c) + A_s f_s (d-c) \\ &= 100,53 \cdot 0,251 \cdot (33,2613-20) + 0,67 \cdot 0,0272 \cdot 33,2613 \cdot 100 \cdot \frac{1}{8} \cdot 33,2613 + \\ &\quad 0,85^2 \cdot (200-33,2613) \cdot 0,00217 \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot (200-33,2613) + \\ &\quad 226,19 \cdot 0,264 \cdot (180-33,2613) \\ &= 12536,51 \text{ kN-mm} \end{aligned}$$

$$\phi_u = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{0,0035}{33,2613} = 0,000105 \text{ rad/mm}$$

### LAMPIRAN 3

11

#### CONTOH CARA MENGHITUNG TEGANGAN BAJA

Baja  $\varnothing$  12

Diameter baja terukur:

Sampel I = 11 mm

Sampel II = 11,2 mm

Sampel III = 11,4 mm

$$\text{Luas penampang baja (A)} = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

$$A_1 = 0,25 \cdot \pi \cdot 11^2 = 95 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 0,25 \cdot \pi \cdot 11,2^2 = 98 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = 0,25 \cdot \pi \cdot 11,4^2 = 102 \text{ mm}^2$$

Beban dalam keadaan baja leleh ( $P_y$ ):

Sampel I = 2570 kgf

Sampel II = 2600 kgf

Sampel III = 2640 kgf

$$\text{Tegangan leleh baja (fy)} = P_y/A$$

$$\text{Sampel I : } f_y = 2570/95 = 27,1 \text{ kgf/mm}^2 = 271 \text{ Mpa}$$

$$\text{Sampel II: } f_y = 2600/98 = 26,4 \text{ kgf/mm}^2 = 264 \text{ Mpa}$$

$$\text{Sampel III: } f_y = 2640/102 = 25,9 \text{ kgf/mm}^2 = 259 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja rata-rata (fy rata-rata)} = (271+264+259)/3 = 264 \text{ Mpa}$$

Beban dalam keadaan baja putus ( $P_s$ ):

Sampel I = 3770 kgf

Sampel II = 3750 kgf

Sampel III = 3765 kgf

$$\text{Tegangan tarik baja (fs)} = P_s/A$$

$$\text{Sampel I : } f_s = 3770/95 = 39,7 \text{ kgf/mm}^2 = 397 \text{ Mpa}$$

$$\text{Sampel II: } f_s = 3750/98 = 38,1 \text{ kgf/mm}^2 = 381 \text{ Mpa}$$

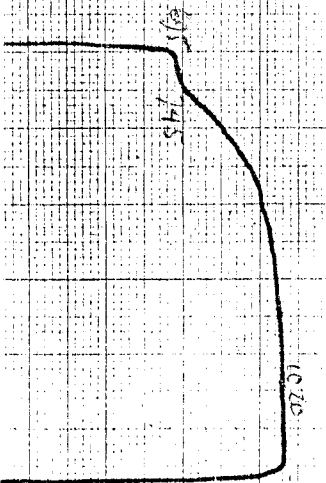
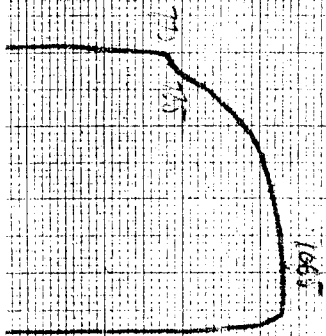
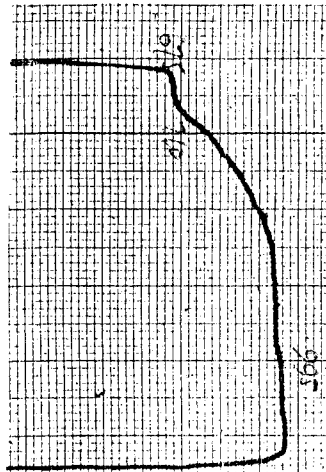
$$\text{Sampel III: } f_s = 3765/102 = 39,6 \text{ kgf/mm}^2 = 396 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja rata-rata (fs rata-rata)} = (397+381+396)/3 = 382 \text{ Mpa}$$

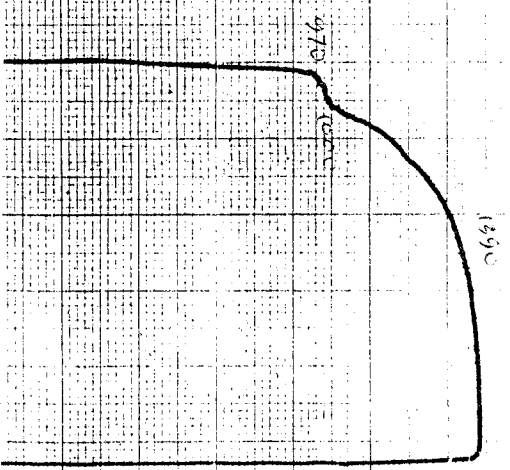
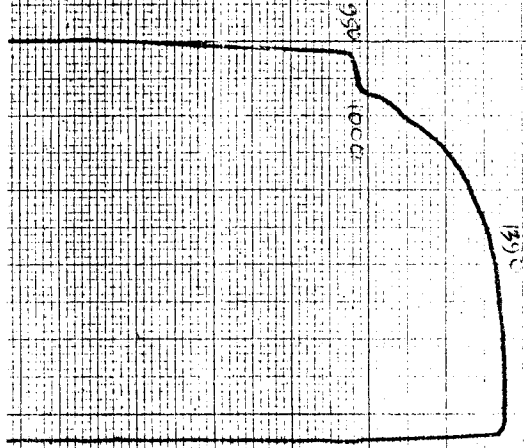
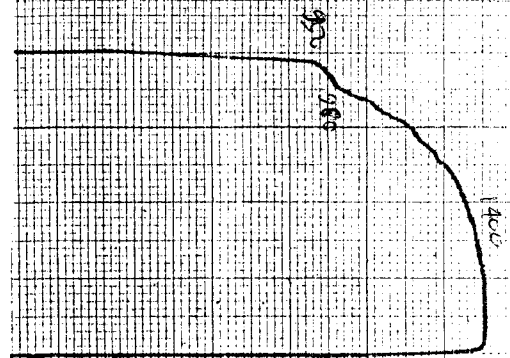
### LAMPIRAN 3

#### Data Hasil Tegangan Tarik Baja Rencana

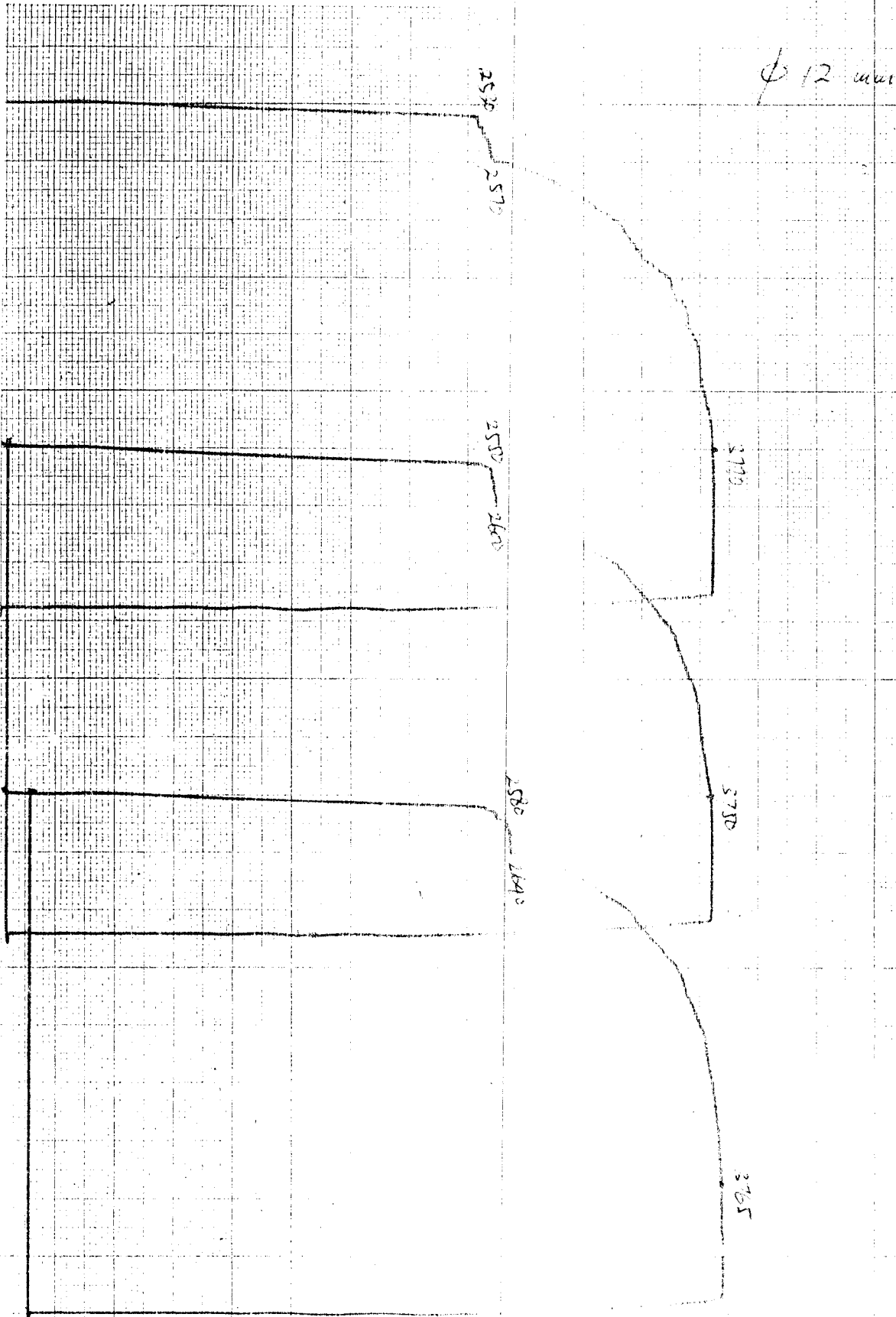
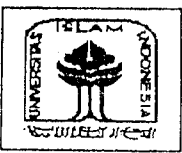
Baja	Diameter (mm)	P Teleh (kgf)	P tarik (kgf)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Tegangan Lelah (fy) (Mpa)	fy rata-rata (Mpa)	Tegangan Tarik (fs) (Mpa)	fs rata-rata (Mpa)
6	5,50	710	935	24	299		419	
	5,50	705	1015	24	297	300	427	420
	5,60	745	1020	25	303		414	
8	7,20	1000	1390	41	246		342	
	7,10	1000	1390	40	253	251	351	352
	7,00	980	1400	38	255		364	
12	11,00	2570	3770	95	271		39	
	11,20	2600	3750	93	264	264	331	382
	11,40	2640	3700	102	259		300	



σ E max



$\phi 8 \text{ mm}$



## LAMPIRAN 4

16

### CARA MENGHITUNG KUAT DESAK BETON

$$\text{Luas penampang beton } (A) = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2$$

$$\text{Tegangan desak beton } (f_c) = P/A$$

$$\text{Tegangan rata-rata } (f_c \text{ rata-rata}) = \Sigma \cdot f_c/n$$

$$\Sigma (f_c - f_c \text{ rata-rata})^2$$

$$SD = (\Sigma (f_c - f_c \text{ rata-rata})^2 / (n-1))^{0,5}$$

n= jumlah benda uji silinder

$$\text{Tegangan rencana } (f_c) = f_{cr} - 1,64 \cdot SD \cdot 1,16$$

### HITUNGAN TEGANGAN BETON TARIK

Tabel data benda uji silinder

Beban (kN)	Diameter (mm)	Tinggi Silinder (mm)
265	150.9	304.00
320	149.2	302.00
334	151.0	300.50
300	152.7	302.50
333	150.2	302.20

$$\text{Luas } (A) = \pi \cdot d \cdot t$$

$$A1 = \pi \cdot 150,9 \cdot 304 = 144116 \text{ mm}^2$$

$$A2 = \pi \cdot 149,2 \cdot 302 = 141555 \text{ mm}^2$$

$$A3 = \pi \cdot 151,300,5 = 142551 \text{ mm}^2$$

$$A4 = \pi \cdot 152,7 \cdot 302,5 = 145115 \text{ mm}^2$$

$$A5 = \pi \cdot 150,2 \cdot 302,5 = 142598 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tegangan tarik beton } (f_t) = \text{Beban/Luas}$$

$$\text{Tegangan tarik sampel I} = 265/144116 = 0,001838 \text{ kN/mm}^2$$

$$\text{Tegangan tarik sampel II} = 320/141555 = 0,002261 \text{ kN/mm}^2$$

$$\text{Tegangan tarik sampel III} = 334/142551 = 0,002343 \text{ kN/mm}^2$$

$$\text{Tegangan tarik sampel IV} = 300/145115 = 0,002067 \text{ kN/mm}^2$$

$$\text{Tegangan tarik sampel V} = 333/142598 = 0,002335 \text{ kN/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan rata-rata } (f_r) &= (0,001838+0,002261+0,002343+0,002067+0,002335)/5 \\ &= 0,00217 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$



LAMPIRAN 4

Data Hasil Kuat Desak Beton

Silinder	Beban (kN)	Regangan	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Tegangan (f <sub>c</sub> ) (kN/mm <sup>2</sup> )	Tegangan rata-rata (f <sub>cr</sub> ) (kN/mm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> - f <sub>cr</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	jml (f <sub>c</sub> - f <sub>cr</sub> ) (kN/mm <sup>2</sup> )	SD	Tegangan rencana (kN/mm <sup>2</sup> )
1	680	770	151.20	303.00	17946.23	0.03789097	0.0373006	0.00000035	0.0003542	0.0053	0.0286
2	790	840	151.30	304.00	17969.98	0.04396222	0.0373006	0.00004438			
3	540	760	151.70	297.00	18065.12	0.02989186	0.0373006	0.00005489			
4	650	690	150.50	301.00	17780.45	0.03655701	0.0373006	0.00000055			
5	670	750	150.90	302.00	17875.09	0.03748234	0.0373006	0.00000003			
6	550	670	151.20	300.00	17946.23	0.03064710	0.0373006	0.00004427			
7	800	634	151.70	299.00	18065.12	0.04428424	0.0373006	0.00004877			
8	690	695	150.30	298.00	17733.22	0.03891002	0.0373006	0.00000259			
9	740	790	152.10	304.00	18160.51	0.04074775	0.0373006	0.00001188			
10	690	860	151.40	302.00	17993.74	0.03834667	0.0373006	0.00000109			
11	550	790	150.70	300.50	17827.73	0.03085081	0.0373006	0.00004160			
12	800	635	149.90	302.50	17638.96	0.04535415	0.0373006	0.00006486			
13	560	950	150.00	302.20	17662.50	0.03170559	0.0373006	0.00003130			
14	620	850	150.90	309.00	17875.09	0.03468515	0.0373006	0.00000684			
15	680	810	150.60	301.50	17804.08	0.03819349	0.0373006	0.00000080			

Data hasil Tegangan Tarik Beton

Beban (kN)	Diameter (mm)	Tinggi Silinder (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	ft (kN/mm <sup>2</sup> )	ft rata-rata (kN/mm <sup>2</sup> )
265	150.9	304.00	144116.0	0.00184	0.00217
320	149.2	302.00	141555.0	0.00226	
334	151.0	300.50	142551.0	0.00234	
300	152.7	302.50	145115.0	0.00207	
333	150.2	302.20	142898.0	0.00234	

Data Hasil Beban dan Defleksi  
BBFB Suhu Ruangan

Sampel I		Sampel II		Beban (kN)	Defleksi Rata-Rata (mm)
Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)		
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.904	0.620	4.904	0.900	4.904	0.760
9.807	1.070	9.807	1.180	9.807	1.125
14.711	1.950	14.711	1.760	14.711	1.855
19.614	2.540	19.614	2.341	19.614	2.441
24.518	3.650	24.518	2.970	24.518	3.310
29.421	4.670	29.421	4.250	29.421	4.460
34.325	6.720	34.325	6.580	34.325	6.650
39.228	9.600	39.228	9.480	39.228	9.540
39.228	11.720	39.228	11.300	39.228	11.510
39.228	12.580	39.228	12.540	39.228	12.560
39.228	15.220	39.228	15.580	39.228	15.400
39.228	17.570	39.228	17.830	39.228	17.700
39.228	19.960	39.228	19.970	39.228	19.965
39.228	22.670	39.228	22.550	39.228	22.610
39.228	24.770	39.228	24.870	39.228	24.820
39.228	26.950	39.228	26.720	39.228	26.835

Data Hasil Momen dan Kelengkungan  
Balok Beton Fiber Bendrat (BBFB) Suhu Ruangan

Sampel I					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0	0	0	0	0	0.0000000
4.904	0.49	0.62	0.45	1471.050	0.0000033
9.807	0.76	1.07	0.85	2942.100	0.0000059
14.711	1.68	1.95	1.52	4413.150	0.0000078
19.614	2.17	2.54	2.12	5884.200	0.0000088
24.518	3.23	3.65	3.22	7355.250	0.0000094
29.421	4.25	4.67	4.15	8826.300	0.0000104
34.325	6.17	6.72	6.24	10297.350	0.0000114
39.228	8.87	9.60	8.97	11768.400	0.0000151
39.228	10.83	11.72	10.75	11768.400	0.0000207
39.228	11.56	12.58	11.25	11768.400	0.0000261
39.228	13.19	15.22	13.50	11768.400	0.0000417
39.228	15.22	17.57	15.30	11768.400	0.0000513
39.228	17.15	19.96	17.25	11768.400	0.0000613
39.228	19.34	22.67	19.57	11768.400	0.0000714
39.228	21.25	24.77	21.14	11768.400	0.0000794
39.228	23.08	26.95	23.17	11768.400	0.0000850

Sampel II					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0.000	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000000
4.904	0.69	0.90	0.82	1471.050	0.0000032
9.807	0.93	1.18	0.95	2942.100	0.0000053
14.711	1.42	1.76	1.52	4413.150	0.0000064
19.614	1.95	2.34	2.07	5884.200	0.0000074
24.518	2.72	2.97	2.44	7355.250	0.0000087
29.421	3.76	4.25	3.91	8826.300	0.0000092
34.325	6.11	6.58	5.98	10297.350	0.0000119
39.228	8.89	9.48	8.82	11768.400	0.0000139
39.228	10.47	11.30	10.25	11768.400	0.0000209
39.228	11.09	12.54	11.85	11768.400	0.0000238
39.228	13.40	15.58	13.96	11768.400	0.0000422
39.228	15.48	17.83	15.65	11768.400	0.0000503
39.228	17.16	19.97	17.24	11768.400	0.0000616
39.228	19.12	22.55	19.47	11768.400	0.0000723
39.228	21.37	24.87	21.40	11768.400	0.0000774
39.228	22.55	26.72	22.95	11768.400	0.0000882

Data Hasil Rata-rata Momen-Kelengkungan  
BBFB Suhu Ruangan

Sampel I		Sampel II		Nilai Rata-rata	
Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0.0000000
1471.050	0.0000033	1471.050	0.0000032	1471.050	0.0000033
2942.100	0.0000059	2942.100	0.0000053	2942.100	0.0000056
4413.150	0.0000078	4413.150	0.0000064	4413.150	0.0000071
5884.200	0.0000088	5884.200	0.0000074	5884.200	0.0000081
7355.250	0.0000094	7355.250	0.0000087	7355.250	0.0000091
8826.300	0.0000104	8826.300	0.0000092	8826.300	0.0000098
10297.350	0.0000114	10297.350	0.0000119	10297.350	0.0000117
11768.400	0.0000151	11768.400	0.0000139	11768.400	0.0000145
11768.400	0.0000207	11768.400	0.0000209	11768.400	0.0000208
11768.400	0.0000261	11768.400	0.0000238	11768.400	0.0000249
11768.400	0.0000417	11768.400	0.0000422	11768.400	0.0000419
11768.400	0.0000513	11768.400	0.0000503	11768.400	0.0000508
11768.400	0.0000613	11768.400	0.0000616	11768.400	0.0000614
11768.400	0.0000714	11768.400	0.0000723	11768.400	0.0000719
11768.400	0.0000794	11768.400	0.0000774	11768.400	0.0000784
11768.400	0.0000850	11768.400	0.0000882	11768.400	0.0000866

**LAMPIRAN 5**

**Data Hasil Momen dan Kelengkungan BBFB  
Suhu 500°C Selama 2 Jam**

Sampel I					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0.000	0	0	0	0	0
4.904	1.110	1.190	0.910	1471.050	0.0000040
9.807	1.870	2.190	1.860	2942.100	0.0000072
14.711	3.120	3.850	3.180	4413.150	0.0000111
19.614	4.250	4.780	4.130	5884.200	0.0000131
24.518	5.220	6.220	5.480	7355.250	0.0000193
29.421	6.500	7.750	6.950	8826.300	0.0000228
34.325	8.440	9.730	8.350	10297.350	0.0000297
34.325	10.240	11.880	9.700	10297.350	0.0000424
34.325	12.220	14.130	11.240	10297.350	0.0000533
34.325	13.730	16.150	12.650	10297.350	0.0000658
34.325	14.730	18.780	14.780	10297.350	0.0000894
34.325	15.780	20.290	16.100	10297.350	0.0000967
34.325	17.430	22.150	17.460	10297.350	0.0001048
34.325	19.050	24.170	18.900	10297.350	0.0001154
34.325	20.580	26.190	20.330	10297.350	0.0001274

Sampel II					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0	0	0	0	0	0
4.90	0.82	0.79	0.63	1471.050	0.0000037
9.81	1.78	2.07	1.73	2942.100	0.0000070
14.71	2.82	3.27	2.73	4413.150	0.0000110
19.61	3.75	4.37	3.87	5884.200	0.0000147
24.52	4.36	5.25	4.55	7355.250	0.0000177
29.42	5.82	7.02	6.12	8826.300	0.0000233
34.325	6.89	8.34	7.21	10297.350	0.0000287
34.325	8.21	10.35	8.12	10297.350	0.0000486
34.325	9.51	12.73	9.46	10297.350	0.0000721
34.325	10.81	14.76	10.76	10297.350	0.0000883
34.325	12.12	16.84	12.05	10297.350	0.0001057
34.325	13.72	18.91	13.52	10297.350	0.0001176
34.325	15.07	20.58	15.05	10297.350	0.0001227
34.325	15.63	22.23	16.53	10297.350	0.0001367
34.325	17.02	23.83	18.28	10297.350	0.0001378
34.325	18.35	25.78	19.87	10297.350	0.0001478

**LAMPIRAN 5**

Sampel III					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0	0	0	0	0	0
4.90	0.87	1.02	0.81	1471.050	0.0000040
9.81	1.94	2.23	1.87	2942.100	0.0000072
14.71	2.73	3.24	2.84	4413.150	0.0000101
19.61	3.75	4.21	3.47	5884.200	0.0000133
24.52	4.77	5.63	4.87	7355.250	0.0000180
29.42	5.78	6.88	5.95	8826.300	0.0000226
34.325	7.37	8.76	7.67	10297.350	0.0000276
34.325	8.38	10.75	8.44	10297.350	0.0000520
34.325	9.25	13.43	9.98	10297.350	0.0000848
34.325	10.28	15.66	12.42	10297.350	0.0000958
34.325	11.28	17.28	13.25	10297.350	0.0001114
34.325	12.13	18.76	14.21	10297.350	0.0001242
34.325	13.93	20.58	15.32	10297.350	0.0001323
34.325	14.77	22.35	16.39	10297.350	0.0001504
34.325	16.15	23.58	17.25	10297.350	0.0001529
34.325	18.05	25.79	19.37	10297.350	0.0001573
34.325	19.42	26.98	20.03	10297.350	0.0001612

**LAMPIRAN 5**

**Data Hasil Momen dan Kelengkungan  
Suhu Ruangan dan Suhu 500°C Waktu 2 Jam**

Suhu Ruangan		Suhu 500°C Waktu 2 Jam											
Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Sampel I			Sampel II			Sampel III			Nilai Rata-rata		
		Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1471.050	0.0000033	1471.050	0.0000040	1471.050	0.0000037	1471.050	0.0000037	1471.050	0.0000040	1471.050	0.0000040	1471.050	0.0000039
2942.100	0.0000056	2942.100	0.0000072	2942.100	0.0000070	2942.100	0.0000070	2942.100	0.0000072	2942.100	0.0000072	2942.100	0.0000071
4413.150	0.0000071	4413.150	0.0000111	4413.150	0.0000110	4413.150	0.0000110	4413.150	0.0000101	4413.150	0.0000101	4413.150	0.0000107
5884.200	0.0000081	5884.200	0.0000131	5884.200	0.0000147	5884.200	0.0000147	5884.200	0.0000133	5884.200	0.0000133	5884.200	0.0000137
7355.250	0.0000091	7355.250	0.0000193	7355.250	0.0000177	7355.250	0.0000177	7355.250	0.0000180	7355.250	0.0000180	7355.250	0.0000183
8826.300	0.0000098	8826.300	0.0000228	8826.300	0.0000233	8826.300	0.0000233	8826.300	0.0000226	8826.300	0.0000226	8826.300	0.0000229
10297.350	0.0000117	10297.350	0.0000297	10297.350	0.0000287	10297.350	0.0000287	10297.350	0.0000276	10297.350	0.0000276	10297.350	0.0000286
11768.400	0.0000145	10297.350	0.0000424	10297.350	0.0000486	10297.350	0.0000486	10297.350	0.0000520	10297.350	0.0000520	10297.350	0.0000477
11768.400	0.0000208	10297.350	0.0000533	10297.350	0.0000721	10297.350	0.0000721	10297.350	0.0000848	10297.350	0.0000848	10297.350	0.0000701
11768.400	0.0000249	10297.350	0.0000658	10297.350	0.0000883	10297.350	0.0000883	10297.350	0.0000958	10297.350	0.0000958	10297.350	0.0000833
11768.400	0.0000419	10297.350	0.0000894	10297.350	0.0001057	10297.350	0.0001057	10297.350	0.0001114	10297.350	0.0001114	10297.350	0.0001022
11768.400	0.0000508	10297.350	0.0000967	10297.350	0.0001176	10297.350	0.0001176	10297.350	0.0001242	10297.350	0.0001242	10297.350	0.0001128
11768.400	0.0000614	10297.350	0.0001046	10297.350	0.0001227	10297.350	0.0001227	10297.350	0.0001323	10297.350	0.0001323	10297.350	0.0001199
11768.400	0.0000719	10297.350	0.0001154	10297.350	0.0001367	10297.350	0.0001367	10297.350	0.0001504	10297.350	0.0001504	10297.350	0.0001342
11768.400	0.0000784	10297.350	0.0001274	10297.350	0.0001376	10297.350	0.0001376	10297.350	0.0001529	10297.350	0.0001529	10297.350	0.0001393
11768.400	0.0000866			10297.350	0.0001478		0.0001478	10297.350	0.0001573	10297.350	0.0001573	10297.350	0.0001526
								10297.350	0.0001612	10297.350	0.0001612	10297.350	0.0001612

LAMPIRAN 5

Data Hasil Beban dan Defleksi BBFB  
Suhu 500°C Waktu 3 Jam

Suhu Ruangan		Suhu 500°C Waktu 3 Jam													
Beban (kN)	Defleksi Rata-Rata (mm)	Sampel I				Sampel II				Sampel III				Nilai Rata-rata	
		Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.904	0.760	4.904	1.820	4.904	1.450	4.904	0.940	4.904	0.940	4.904	0.940	4.904	4.904	1.403	4.904
9.807	1.125	9.807	3.310	9.807	2.870	9.807	2.190	9.807	2.190	9.807	2.190	9.807	9.807	2.790	9.807
14.711	1.855	14.711	4.560	14.711	4.120	14.711	3.280	14.711	3.280	14.711	3.280	14.711	14.711	3.987	14.711
19.614	2.441	19.614	5.890	19.614	5.580	19.614	4.550	19.614	4.550	19.614	4.550	19.614	19.614	5.340	19.614
24.518	3.310	24.518	6.970	24.518	6.870	24.518	5.910	24.518	5.910	24.518	5.910	24.518	24.518	6.583	24.518
29.421	4.460	29.421	8.630	29.421	8.130	29.421	7.430	29.421	7.430	29.421	7.430	29.421	29.421	8.063	29.421
34.325	6.650	34.325	9.950	34.325	9.680	34.325	9.620	34.325	9.620	34.325	9.620	34.325	34.325	9.750	34.325
39.228	9.540	34.325	11.790	34.325	11.970	34.325	13.340	34.325	13.340	34.325	13.340	34.325	34.325	12.367	34.325
39.228	11.510	34.325	13.900	34.325	13.750	34.325	15.150	34.325	15.150	34.325	15.150	34.325	34.325	14.267	34.325
39.228	12.560	34.325	15.870	34.325	15.930	34.325	17.520	34.325	17.520	34.325	17.520	34.325	34.325	16.440	34.325
39.228	15.400	34.325	17.750	34.325	17.650	34.325	19.320	34.325	19.320	34.325	19.320	34.325	34.325	18.240	34.325
39.228	17.700	34.325	19.960	34.325	18.920	34.325	20.560	34.325	20.560	34.325	20.560	34.325	34.325	19.813	34.325
39.228	19.965	34.325	21.100	34.325	21.260	34.325	22.670	34.325	22.670	34.325	22.670	34.325	34.325	21.677	34.325
39.228	22.610	34.325	23.140	34.325	23.870	34.325	24.070	34.325	24.070	34.325	24.070	34.325	34.325	23.693	34.325
39.228	24.820	34.325	25.570	34.325	25.330	34.325	25.930	34.325	25.930	34.325	25.930	34.325	34.325	25.6100	34.325
39.228	26.835	34.325	26.890	34.325	26.870	34.325	26.870	34.325	26.870	34.325	26.870	34.325	34.325	26.8800	34.325



**LAMPIRAN 5**

**Data Hasil Momen dan Kelengkungan BBFB  
Suhu 500°C Selama 3 Jam**

Sampel I						
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	
	1	2	3			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000000	
4.904	1.600	1.820	1.650	1471.050	0.0000043	
9.807	2.890	3.310	2.820	2942.100	0.0000090	
14.711	4.060	4.560	3.750	4413.150	0.0000146	
19.614	5.190	5.890	4.810	5884.200	0.0000198	
24.518	5.930	6.970	5.740	7355.250	0.0000252	
29.421	7.580	8.530	6.960	8826.300	0.0000280	
34.325	8.210	9.950	8.830	10297.350	0.0000318	
34.325	9.020	11.790	9.400	10297.350	0.0000573	
34.325	11.180	13.900	11.150	10297.350	0.0000608	
34.325	12.320	15.870	12.520	10297.350	0.0000767	
34.325	13.450	17.750	13.650	10297.350	0.0000933	
34.325	14.940	19.960	14.990	10297.350	0.0001110	
34.325	15.980	21.100	15.230	10297.350	0.0001221	
34.325	17.500	23.140	17.650	10297.350	0.0001237	
34.325	19.070	25.570	19.000	10297.350	0.0001452	
34.325	20.100	26.890	20.150	10297.350	0.0001503	

Sampel II						
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	
	1	2	3			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000000	
4.904	1.300	1.450	1.210	1471.050	0.0000043	
9.807	2.500	2.870	2.410	2942.100	0.0000092	
14.711	3.650	4.120	3.430	4413.150	0.0000129	
19.614	4.800	5.580	4.480	5884.200	0.0000209	
24.518	6.030	6.870	5.600	7355.250	0.0000234	
29.421	6.870	8.130	6.720	8826.300	0.0000297	
34.325	7.820	9.680	8.720	10297.350	0.0000313	
34.325	9.480	11.970	9.740	10297.350	0.0000524	
34.325	10.800	13.750	11.170	10297.350	0.0000614	
34.325	12.150	15.930	12.580	10297.350	0.0000792	
34.325	13.480	17.650	13.670	10297.350	0.0000906	
34.325	14.120	18.920	14.420	10297.350	0.0001033	
34.325	15.880	21.260	15.780	10297.350	0.0001209	
34.325	17.780	23.870	17.970	10297.350	0.0001332	
34.325	18.550	25.330	18.720	10297.350	0.0001488	
34.325	19.980	26.870	20.150	10297.350	0.0001512	

**LAMPIRAN 5**

Sampel III						
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	
	1	2	3			
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000000	
4.904	0.770	0.940	0.670	1471.050	0.0000049	
9.807	1.810	2.190	1.780	2942.100	0.0000088	
14.711	3.050	3.280	2.260	4413.150	0.0000139	
19.614	4.220	4.550	3.280	5884.200	0.0000178	
24.518	5.280	5.910	4.520	7355.250	0.0000224	
29.421	6.360	7.430	6.160	8826.300	0.0000280	
34.325	8.070	9.620	8.380	10297.350	0.0000310	
34.325	11.200	13.340	10.690	10297.350	0.0000532	
34.325	12.610	15.150	11.250	10297.350	0.0000718	
34.325	13.650	17.520	13.500	10297.350	0.0000877	
34.325	15.580	19.320	14.740	10297.350	0.0000924	
34.325	18.030	20.560	15.470	10297.350	0.0001069	
34.325	18.160	22.670	16.250	10297.350	0.0001214	
34.325	19.030	24.070	17.710	10297.350	0.0001267	
34.325	20.050	25.930	18.680	10297.350	0.0001459	

**LAMPIRAN 5**

**Data Hasil Momen dan Kelengkungan BBFB  
Suhu Ruangan dan Suhu 500°C Waktu 3 Jam**

Suhu Ruangan		Suhu 500°C Waktu 3 Jam													
		Sampel I				Sampel II				Sampel III				Nilai Rata-rata	
Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1471.050	0.000033	1471.050	0.000043	1471.050	0.000043	1471.050	0.000043	1471.050	0.000043	1471.050	0.000043	1471.050	0.000043	1471.050	0.000043
2942.100	0.000056	2942.100	0.000090	2942.100	0.000092	2942.100	0.000092	2942.100	0.000092	2942.100	0.000092	2942.100	0.000092	2942.100	0.000090
4413.150	0.000071	4413.150	0.000146	4413.150	0.000129	4413.150	0.000129	4413.150	0.000139	4413.150	0.000139	4413.150	0.000139	4413.150	0.000138
5884.200	0.000081	5884.200	0.000198	5884.200	0.000209	5884.200	0.000209	5884.200	0.000178	5884.200	0.000178	5884.200	0.000178	5884.200	0.000195
7355.250	0.000091	7355.250	0.000252	7355.250	0.000234	7355.250	0.000234	7355.250	0.000224	7355.250	0.000224	7355.250	0.000224	7355.250	0.000237
8826.300	0.000098	8826.300	0.000280	8826.300	0.000297	8826.300	0.000297	8826.300	0.000260	8826.300	0.000260	8826.300	0.000260	8826.300	0.000279
10297.350	0.000117	10297.350	0.000318	10297.350	0.000313	10297.350	0.000313	10297.350	0.000310	10297.350	0.000310	10297.350	0.000310	10297.350	0.000314
11768.400	0.000145	10297.350	0.000573	10297.350	0.000524	10297.350	0.000524	10297.350	0.000532	10297.350	0.000532	10297.350	0.000532	10297.350	0.000543
11768.400	0.000208	10297.350	0.000608	10297.350	0.000614	10297.350	0.000614	10297.350	0.000716	10297.350	0.000716	10297.350	0.000716	10297.350	0.000646
11768.400	0.000249	10297.350	0.000767	10297.350	0.000792	10297.350	0.000792	10297.350	0.000877	10297.350	0.000877	10297.350	0.000877	10297.350	0.000812
11768.400	0.000419	10297.350	0.000933	10297.350	0.000906	10297.350	0.000906	10297.350	0.000924	10297.350	0.000924	10297.350	0.000924	10297.350	0.000921
11768.400	0.000508	10297.350	0.001110	10297.350	0.001033	10297.350	0.001033	10297.350	0.001069	10297.350	0.001069	10297.350	0.001069	10297.350	0.001071
11768.400	0.000614	10297.350	0.001221	10297.350	0.001209	10297.350	0.001209	10297.350	0.001214	10297.350	0.001214	10297.350	0.001214	10297.350	0.001215
11768.400	0.000719	10297.350	0.001237	10297.350	0.001332	10297.350	0.001332	10297.350	0.001267	10297.350	0.001267	10297.350	0.001267	10297.350	0.001279
11768.400	0.000784	10297.350	0.001452	10297.350	0.001488	10297.350	0.001488	10297.350	0.001459	10297.350	0.001459	10297.350	0.001459	10297.350	0.001466
11768.400	0.000866	10297.350	0.001503	10297.350	0.001512	10297.350	0.001512	10297.350	0.001512	10297.350	0.001512	10297.350	0.001512	10297.350	0.001508

LAMPIRAN 5

Data Hasil Beban dan Defleksi BBFB  
Suhu 600°C Waktu 2 Jam

Suhu Ruangan		Suhu 600°C Waktu 2 Jam											
Beban (kN)	Defleksi Rata-Rata (mm)	Sampel I		Sampel II		Sampel III		Sampel III		Nilai Rata-rata			
		Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)	Beban (kN)	Defleksi (mm)		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4.904	0.760	4.904	0.580	4.904	0.900	4.904	0.990	4.904	0.990	4.904	0.823	0.823	
9.807	1.125	9.807	2.610	9.807	2.870	9.807	2.290	9.807	2.290	9.807	2.590	2.590	
14.711	1.855	14.711	3.320	14.711	4.450	14.711	3.500	14.711	3.500	14.711	3.757	3.757	
19.614	2.441	19.614	5.190	19.614	5.290	19.614	5.430	19.614	5.430	19.614	5.303	5.303	
24.518	3.310	24.518	6.970	24.518	6.510	24.518	7.340	24.518	7.340	24.518	6.940	6.940	
29.421	4.460	29.421	8.870	29.421	7.800	29.421	9.460	29.421	9.460	29.421	8.710	8.710	
34.325	6.650	29.421	12.760	29.421	8.960	29.421	12.960	29.421	12.960	29.421	11.560	11.560	
39.228	9.540	29.421	14.970	29.421	10.580	29.421	14.770	29.421	14.770	29.421	13.440	13.440	
39.228	11.510	29.421	16.710	29.421	12.880	29.421	16.460	29.421	16.460	29.421	15.350	15.350	
39.228	12.560	29.421	17.860	29.421	14.800	29.421	18.200	29.421	18.200	29.421	16.953	16.953	
39.228	15.400	29.421	20.550	29.421	15.740	29.421	19.890	29.421	19.890	29.421	18.727	18.727	
39.228	17.700	29.421	22.080	29.421	17.620	29.421	21.920	29.421	21.920	29.421	20.540	20.540	
39.228	19.965	29.421	23.980	29.421	19.280	29.421	23.560	29.421	23.560	29.421	22.273	22.273	
39.228	22.610	29.421	25.820	29.421	21.020	29.421	25.630	29.421	25.630	29.421	24.157	24.157	
39.228	24.820			29.421	24.210			29.421		29.421	24.210	24.210	
39.228	26.835			29.421	25.950			29.421		29.421	25.950	25.950	

Data Hasil Momen dan Kelengkungan BBFB  
Suhu 600°C Selama 2 Jam

Sampel I					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0	0	0	0	0	0
4.90	0.250	0.580	0.320	1471.050	0.0000066
9.81	2.140	2.610	2.220	2942.100	0.0000086
14.71	2.630	3.320	2.380	4413.150	0.0000181
19.61	4.020	5.190	4.260	5884.200	0.0000233
24.52	5.330	6.970	5.880	7355.250	0.0000303
29.42	7.770	8.870	6.850	8826.300	0.0000347
29.42	10.100	12.760	10.240	8826.300	0.0000576
29.42	11.300	14.970	12.250	8826.300	0.0000654
29.42	13.850	16.710	13.610	8826.300	0.0000662
29.42	14.550	17.860	14.280	8826.300	0.0000766
29.42	16.680	20.550	16.710	8826.300	0.0000857
29.42	18.340	22.080	18.150	8826.300	0.0001019
29.42	18.240	23.980	19.650	8826.300	0.0001119
29.42	19.680	25.820	20.110	8826.300	0.0001317

Sampel II					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0	0	0	0	0	0
4.90	0.690	0.900	0.630	1471.050	0.0000053
9.81	2.370	2.870	2.310	2942.100	0.0000118
14.71	3.320	4.450	3.780	4413.150	0.0000200
19.61	4.080	5.290	4.320	5884.200	0.0000242
24.52	5.070	6.510	5.380	7355.250	0.0000286
29.42	6.200	7.800	6.640	8826.300	0.0000307
29.42	7.190	8.960	7.230	8826.300	0.0000389
29.42	8.690	10.580	8.660	8826.300	0.0000423
29.42	9.680	12.880	11.460	8826.300	0.0000513
29.42	10.740	14.800	12.860	8826.300	0.0000667
29.42	11.800	15.740	14.340	8826.300	0.0000593
29.42	12.810	17.620	15.860	8826.300	0.0000730
29.42	13.990	19.280	17.320	8826.300	0.0000806
29.42	15.100	21.020	18.760	8826.300	0.0000909
29.42	16.230	24.210	20.200	8826.300	0.0001332
29.42	18.160	25.850	21.120	8826.300	0.0001402

Sampel III					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0	0	0	0	0	0
4.90	0.750	0.990	0.780	1471.050	0.0000050
9.81	1.760	2.290	1.880	2942.100	0.0000104
14.71	2.840	3.500	2.780	4413.150	0.0000153
19.61	4.450	5.430	4.740	5884.200	0.0000186
24.52	5.980	7.340	6.270	7355.250	0.0000270
29.42	7.870	9.460	7.960	8826.300	0.0000343
29.42	11.170	12.960	11.230	8826.300	0.0000391
29.42	12.950	14.770	12.850	8826.300	0.0000416
29.42	14.370	16.460	14.240	8826.300	0.0000479
29.42	15.930	18.200	15.720	8826.300	0.0000528
29.42	17.280	19.890	16.770	8826.300	0.0000637
29.42	18.890	21.920	18.630	8826.300	0.0000702
29.42	20.770	23.560	19.150	8826.300	0.0000800
29.42	21.480	25.630	21.210	8826.300	0.0000952

**LAMPIRAN 5**

Sampel III					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0	0	0	0	0	0
4.90	0.750	0.990	0.780	1471.050	0.0000050
9.81	1.760	2.290	1.880	2942.100	0.0000104
14.71	2.840	3.500	2.780	4413.150	0.0000153
19.61	4.450	5.430	4.740	5884.200	0.0000186
24.52	5.980	7.340	6.270	7355.250	0.0000270
29.42	7.870	9.460	7.960	8826.300	0.0000343
29.42	11.170	12.960	11.230	8826.300	0.0000391
29.42	12.950	14.770	12.850	8826.300	0.0000416
29.42	14.370	16.460	14.240	8826.300	0.0000479
29.42	15.930	18.200	15.720	8826.300	0.0000528
29.42	17.280	19.890	16.770	8826.300	0.0000637
29.42	18.890	21.920	18.630	8826.300	0.0000702
29.42	20.770	23.560	19.150	8826.300	0.0000800
29.42	21.480	25.630	21.210	8826.300	0.0000952

LAMPIRAN 5

Data Hasil Momen dan Kelengkungan BBFB  
Suhu Ruangan dan Suhu 600°C Waktu 2 Jam

Suhu Ruangan		Suhu 600°C Waktu 2 Jam													
		Sampel I				Sampel II				Sampel III				Nilai Rata-rata	
Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1471.050	0.000033	1471.050	0.000066	1471.050	0.000053	1471.050	0.000053	1471.050	0.000050	1471.050	0.000050	1471.050	0.000056	1471.050	0.000056
2942.100	0.000056	2942.100	0.000096	2942.100	0.000118	2942.100	0.000118	2942.100	0.000104	2942.100	0.000104	2942.100	0.000106	2942.100	0.000106
4413.150	0.000071	4413.150	0.000181	4413.150	0.000200	4413.150	0.000200	4413.150	0.000153	4413.150	0.000153	4413.150	0.000178	4413.150	0.000178
5884.200	0.000081	5884.200	0.000233	5884.200	0.000242	5884.200	0.000242	5884.200	0.000186	5884.200	0.000186	5884.200	0.000220	5884.200	0.000220
7355.250	0.000091	7355.250	0.000303	7355.250	0.000286	7355.250	0.000286	7355.250	0.000270	7355.250	0.000270	7355.250	0.000286	7355.250	0.000286
8826.300	0.000098	8826.300	0.000347	8826.300	0.000307	8826.300	0.000307	8826.300	0.000343	8826.300	0.000343	8826.300	0.000332	8826.300	0.000332
10297.350	0.000117	8826.300	0.000576	8826.300	0.000389	8826.300	0.000389	8826.300	0.000391	8826.300	0.000391	8826.300	0.000452	8826.300	0.000452
11768.400	0.000145	8826.300	0.000654	8826.300	0.000423	8826.300	0.000423	8826.300	0.000416	8826.300	0.000416	8826.300	0.000498	8826.300	0.000498
11768.400	0.000208	8826.300	0.000662	8826.300	0.000513	8826.300	0.000513	8826.300	0.000479	8826.300	0.000479	8826.300	0.000551	8826.300	0.000551
11768.400	0.000249	8826.300	0.000766	8826.300	0.000667	8826.300	0.000667	8826.300	0.000528	8826.300	0.000528	8826.300	0.000653	8826.300	0.000653
11768.400	0.000419	8826.300	0.000857	8826.300	0.000593	8826.300	0.000593	8826.300	0.000637	8826.300	0.000637	8826.300	0.000696	8826.300	0.000696
11768.400	0.000508	8826.300	0.001019	8826.300	0.000730	8826.300	0.000730	8826.300	0.000702	8826.300	0.000702	8826.300	0.000817	8826.300	0.000817
11768.400	0.000614	8826.300	0.001119	8826.300	0.000806	8826.300	0.000806	8826.300	0.000800	8826.300	0.000800	8826.300	0.000908	8826.300	0.000908
11768.400	0.000719	8826.300	0.001317	8826.300	0.000909	8826.300	0.000909	8826.300	0.000952	8826.300	0.000952	8826.300	0.001059	8826.300	0.001059
11768.400	0.000784			8826.300	0.001332	8826.300	0.001332			8826.300	0.001332		0.001332	8826.300	0.001332
11768.400	0.000866			8826.300	0.001402	8826.300	0.001402			8826.300	0.001402		0.001402	8826.300	0.001402



**LAMPIRAN 5**

**Data Hasil Momen dan Kelengkungan BBFB  
Suhu 600°C Selama 3 Jam**

Sampel I					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0	0	0	0	0	0
4.90	0.70	0.98	0.68	1471.050	0.0000064
9.81	1.47	1.97	1.55	2942.100	0.0000102
14.71	3.05	4.15	3.88	4413.150	0.0000152
19.61	4.05	5.47	4.75	5884.200	0.0000233
24.52	5.38	6.56	5.31	7355.250	0.0000270
29.42	6.65	8.25	6.32	8826.300	0.0000392
29.42	8.24	10.55	8.54	8826.300	0.0000480
29.42	9.69	12.04	9.85	8826.300	0.0000504
29.42	10.91	13.64	11.40	8826.300	0.0000552
29.42	12.10	16.32	13.08	8826.300	0.0000829
29.42	13.32	18.02	14.70	8826.300	0.0000891
29.42	14.61	19.75	16.28	8826.300	0.0000957
29.42	15.76	21.25	17.52	8826.300	0.0001024
29.42	16.55	23.58	19.11	8826.300	0.0001278
29.42	18.58	25.89	21.28	8826.300	0.0001324

Sampel II					
Beban (kN)	Defleksi (mm)			Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
	1	2	3		
0	0	0	0	0	0
4.90	0.610	1.030	0.630	1471.050	0.00000911
9.81	2.030	2.510	1.900	2942.100	0.00001211
14.71	3.300	3.840	3.100	4413.150	0.00001422
19.61	4.560	5.550	4.750	5884.200	0.00001989
24.52	6.470	7.870	6.780	7355.250	0.00002767
29.42	7.970	9.490	7.890	8826.300	0.00003467
29.42	10.490	12.590	10.480	8826.300	0.00004678
29.42	13.250	15.320	12.710	8826.300	0.00005200
29.42	16.250	17.610	14.080	8826.300	0.00005433
29.42	16.380	19.340	15.450	8826.300	0.00007611
29.42	18.810	21.930	16.610	8826.300	0.00009378
29.42	19.690	23.720	17.870	8826.300	0.00010878
29.42	21.730	25.560	19.050	8826.300	0.00011489

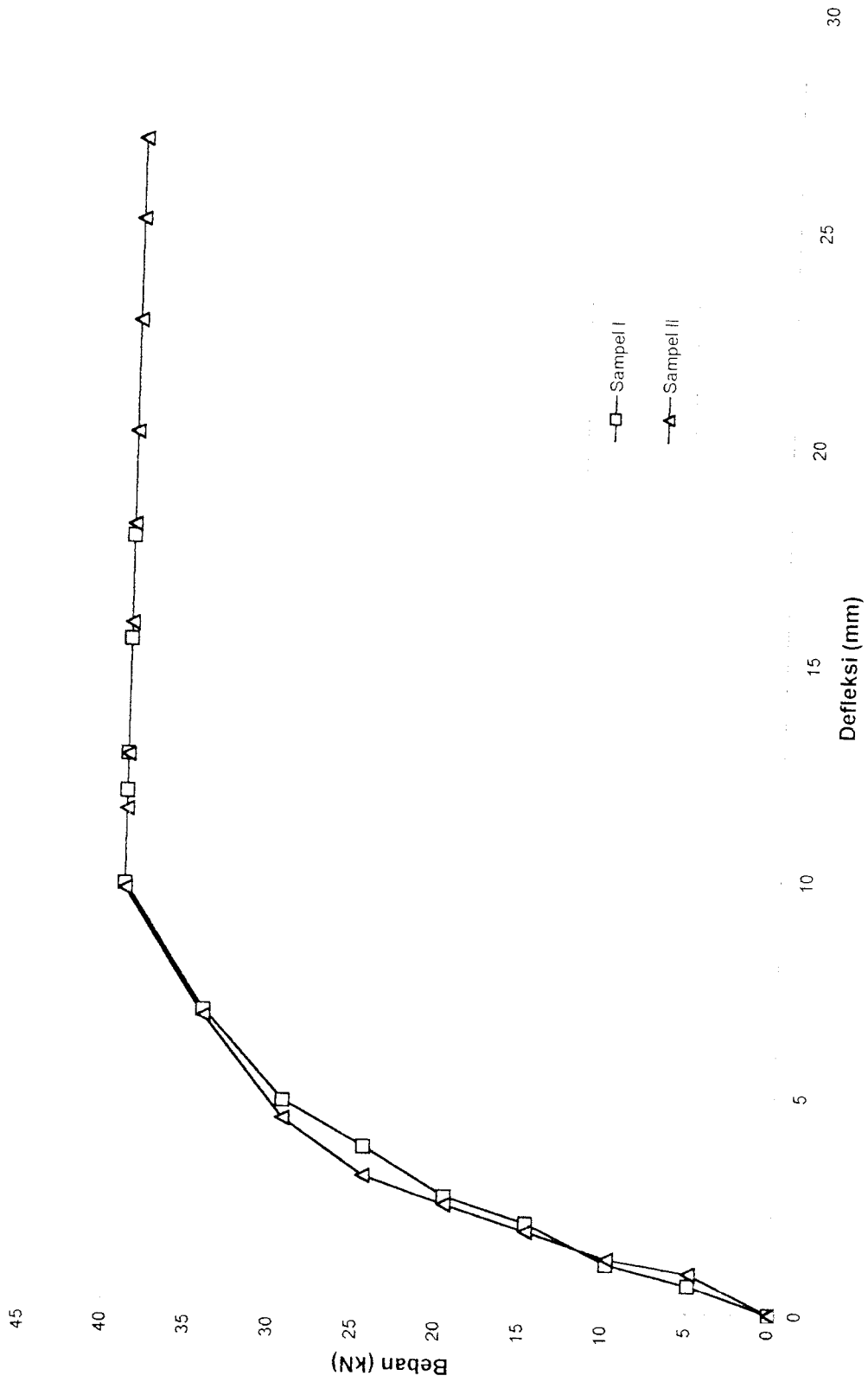
**LAMPIRAN 5**

**Data Hasil Momen dan Kelengkungan BBFB  
Suhu Ruangan dan Suhu 600°C Waktu 3 Jam**

Suhu Ruangan		Suhu 600°C Waktu 3 Jam					
		Sampel I		Sampel II		Nilai Rata-rata	
Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)	Momen (kN-mm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0	0	0
1471.050	0.0000033	1471.050	0.0000064	1471.050	0.0000091	1471.050	0.0000078
2942.100	0.0000056	2942.100	0.000102	2942.100	0.000121	2942.100	0.000112
4413.150	0.0000071	4413.150	0.000152	4413.150	0.000142	4413.150	0.000147
5884.200	0.0000081	5884.200	0.000238	5884.200	0.000199	5884.200	0.000218
7355.250	0.0000091	7355.250	0.000270	7355.250	0.000277	7355.250	0.000273
8826.300	0.0000098	8826.300	0.000392	8826.300	0.000347	8826.300	0.000369
10297.350	0.0000117	8826.300	0.000480	8826.300	0.000468	8826.300	0.000474
11768.400	0.0000145	8826.300	0.000504	8826.300	0.000520	8826.300	0.000512
11768.400	0.0000208	8826.300	0.000552	8826.300	0.000543	8826.300	0.000548
11768.400	0.0000249	8826.300	0.000829	8826.300	0.000761	8826.300	0.000795
11768.400	0.0000419	8826.300	0.000891	8826.300	0.000938	8826.300	0.000914
11768.400	0.0000508	8826.300	0.000957	8826.300	0.001098	8826.300	0.001027
11768.400	0.0000614	8826.300	0.001024	8826.300	0.001149	8826.300	0.001087
11768.400	0.0000719	8826.300	0.001278			8826.300	0.001278
11768.400	0.0000784	8826.300	0.001324			8826.300	0.001324
11768.400	0.0000866						

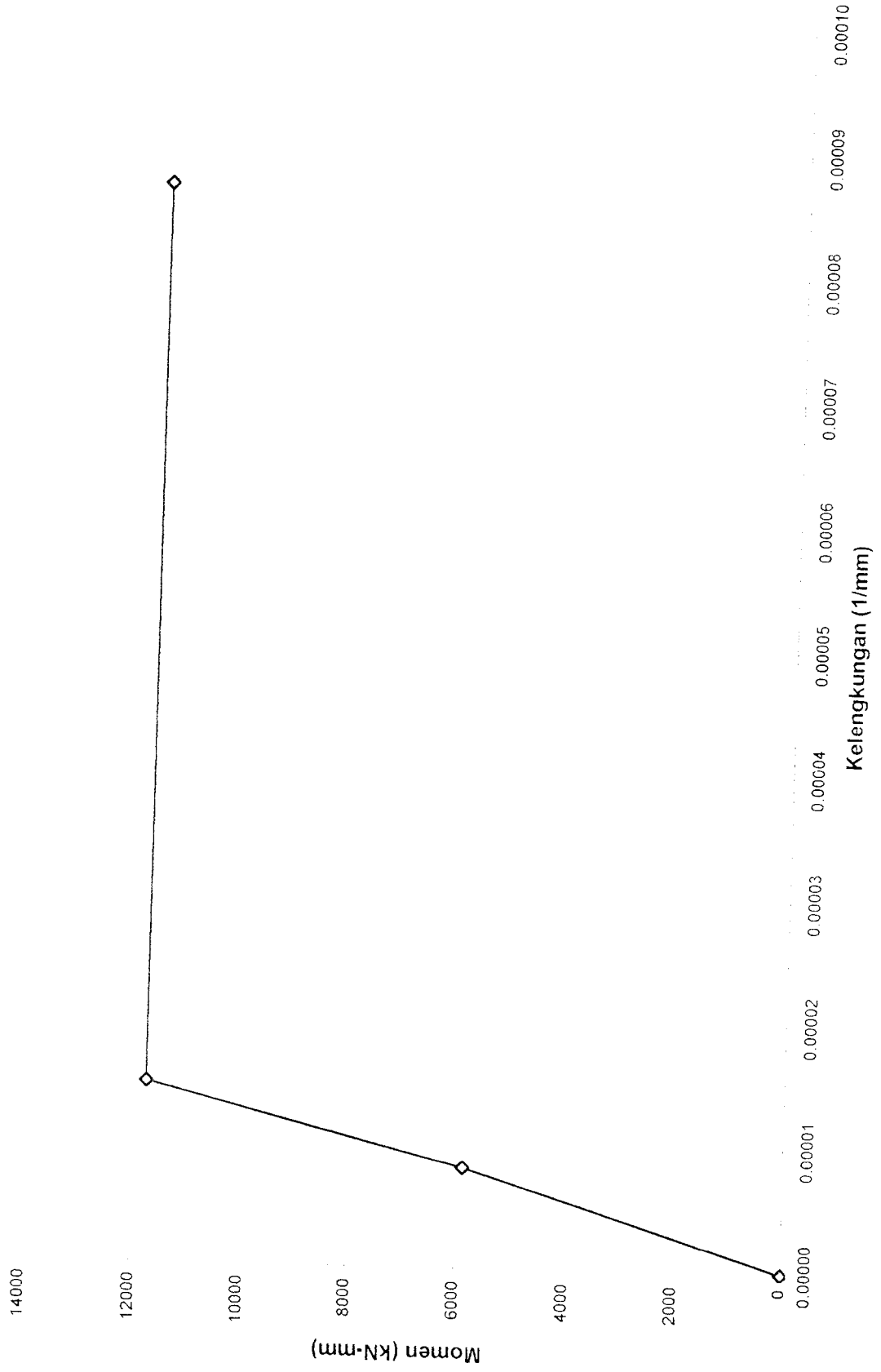
LAMPIRAN 6

Grafik Beban-Defleksi "Suhu Ruangan"



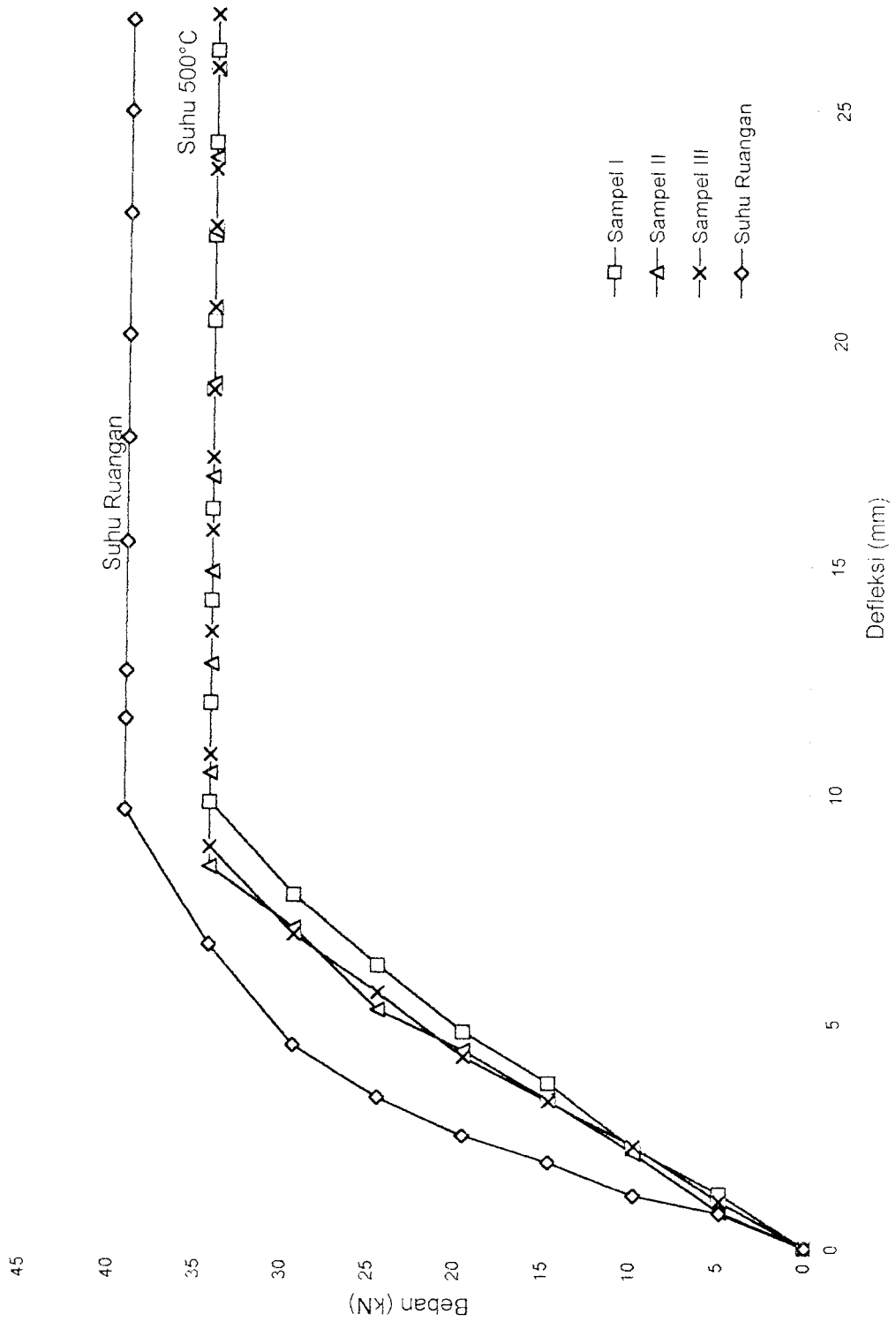
**LAMPIRAN 6**

Grafik Trilinier Nilai Rata-Rata Momen-Kelengkungan "Suhu Ruangan"



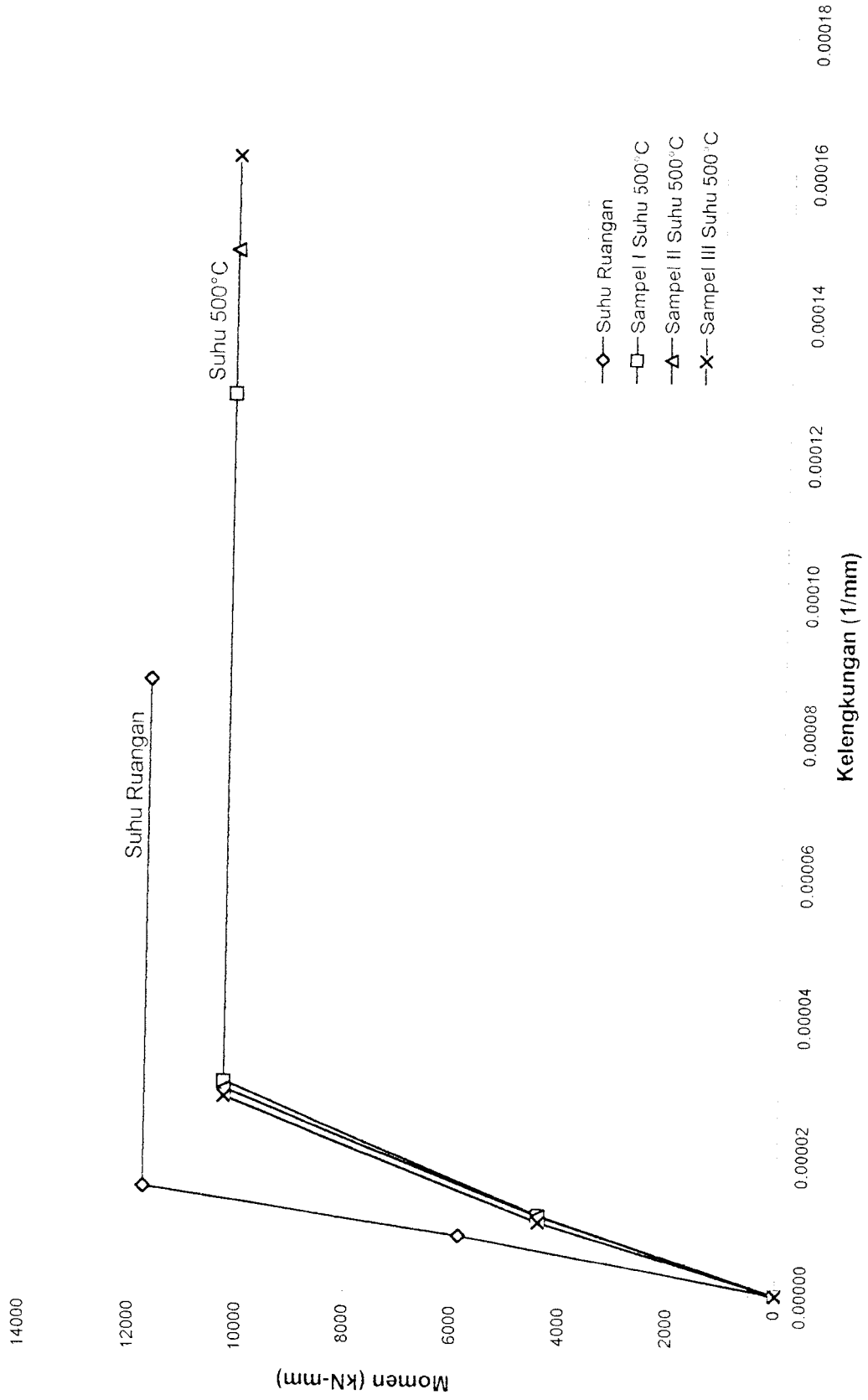
**LAMPIRAN 6**

**Grafik Beban-Defleksi "Suhu Ruangan" dan "500°C Waktu 2 Jam"**



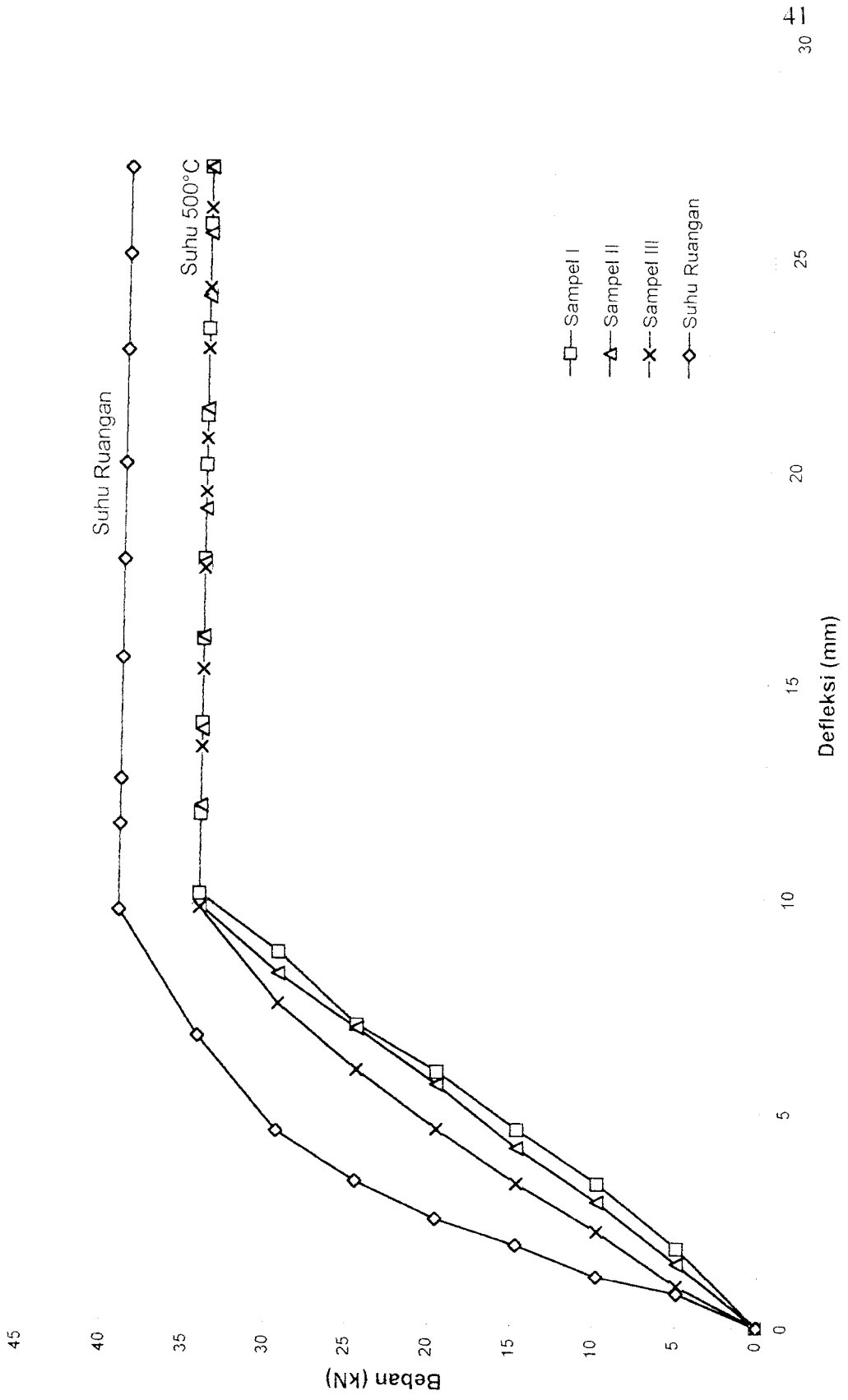
### LAMPIRAN 6

Grafik Trilinier Momen-Kelengkungan "Suhu Ruangan" dan "Suhu 500°C Waktu 2 Jam"



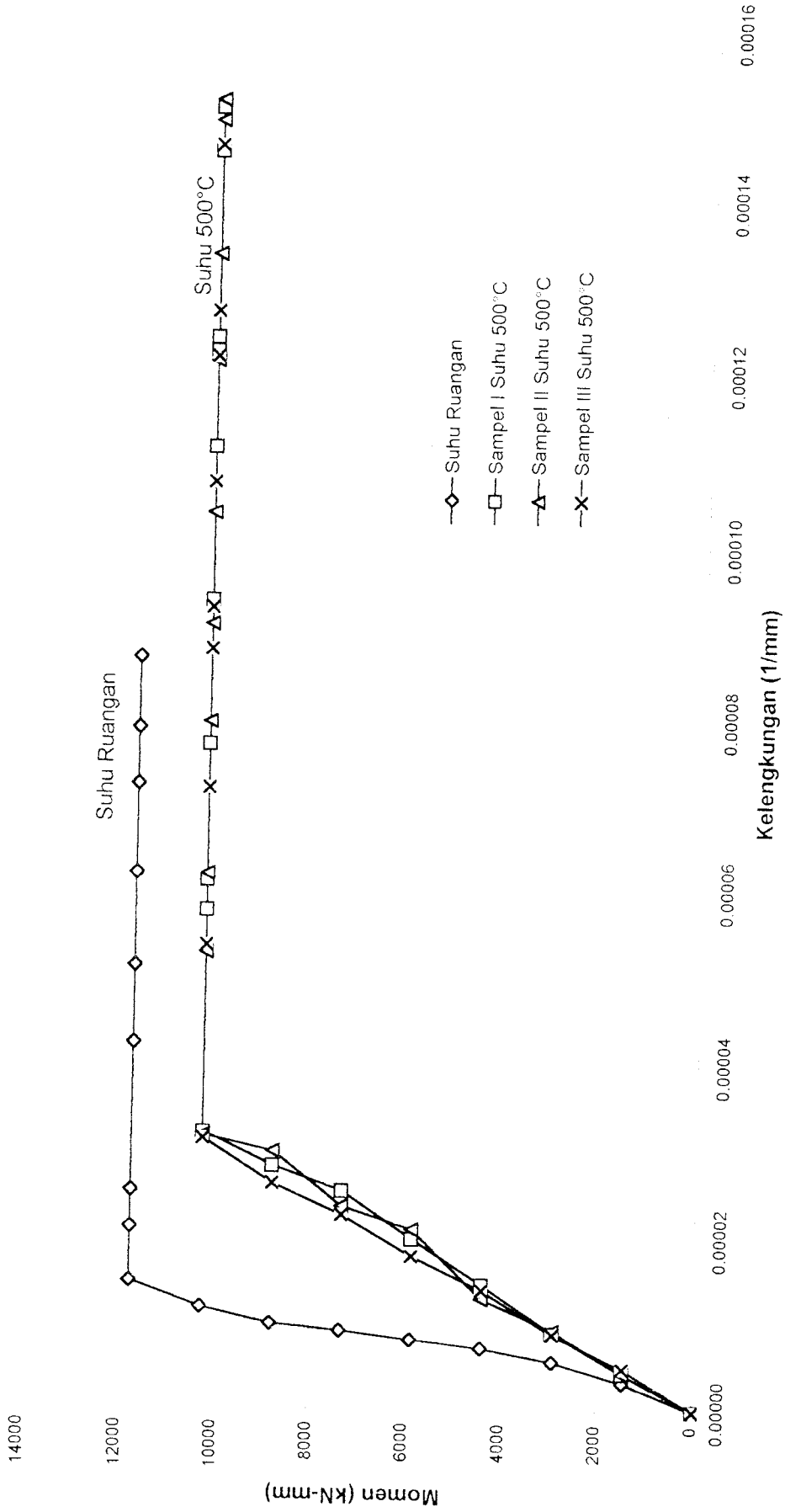
## LAMPIRAN 6

Grafik Beban-Defleksi "Suhu Ruangan" dan "500°C Waktu 3 Jam"



**LAMPIRAN 6**

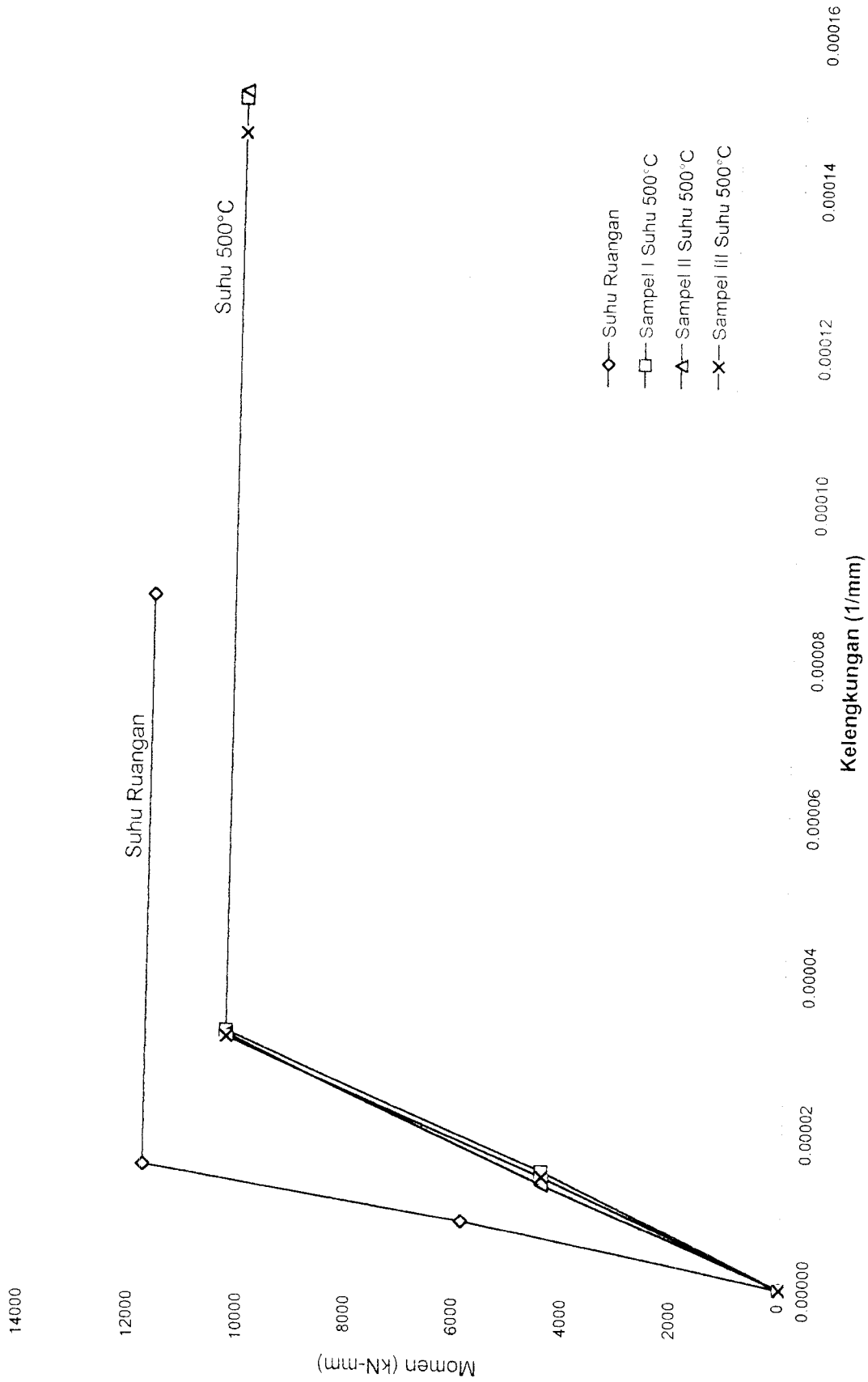
Grafik Momen-Kelengkungan "Suhu Ruangan" dan "Suhu 500°C Waktu 3 Jam"





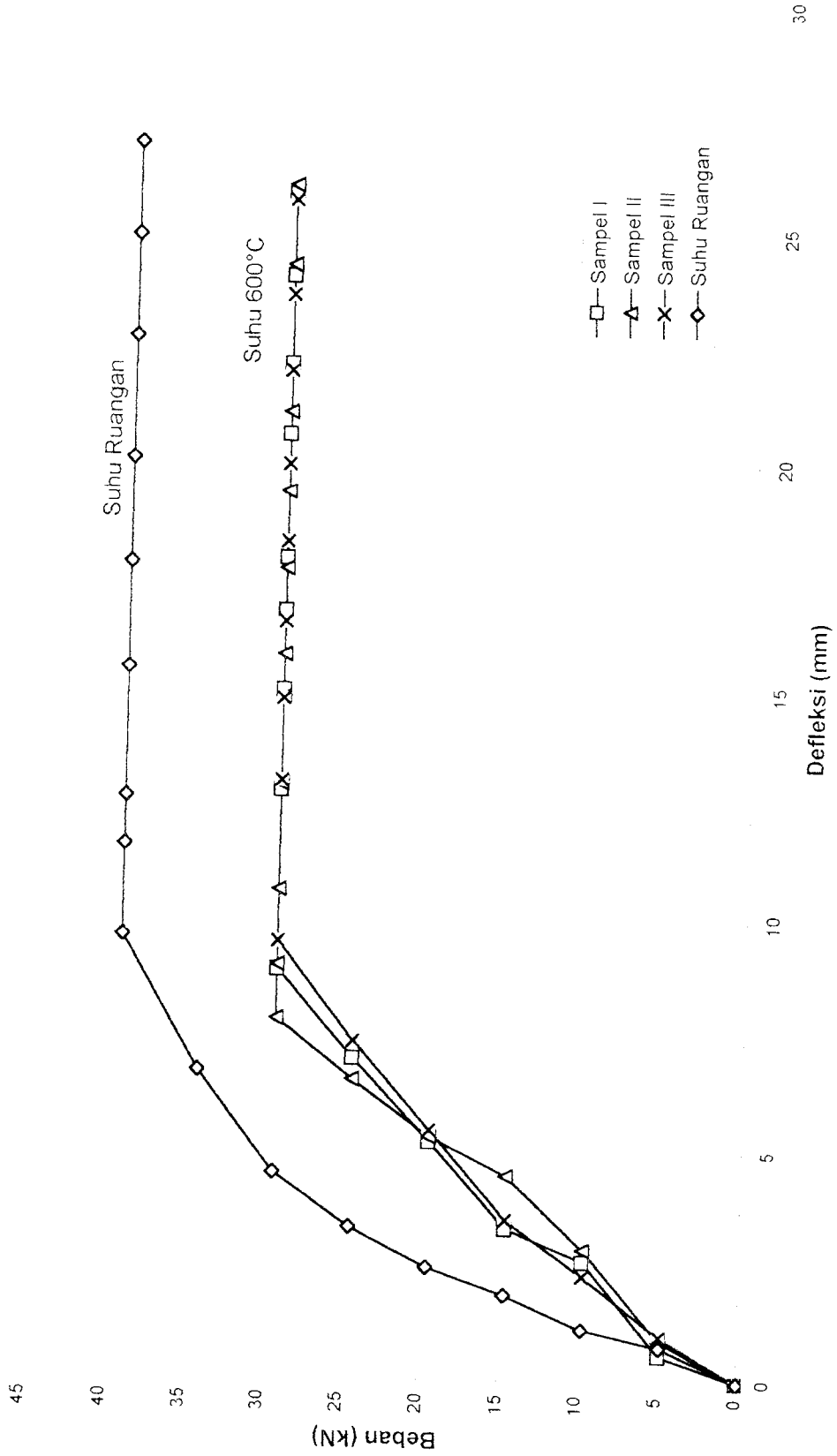
LAMPIRAN 6

Grafik Trilinier Momen-Kelengkungan "Suhu Ruangan" dan "Suhu 500°C Waktu 3 Jam"



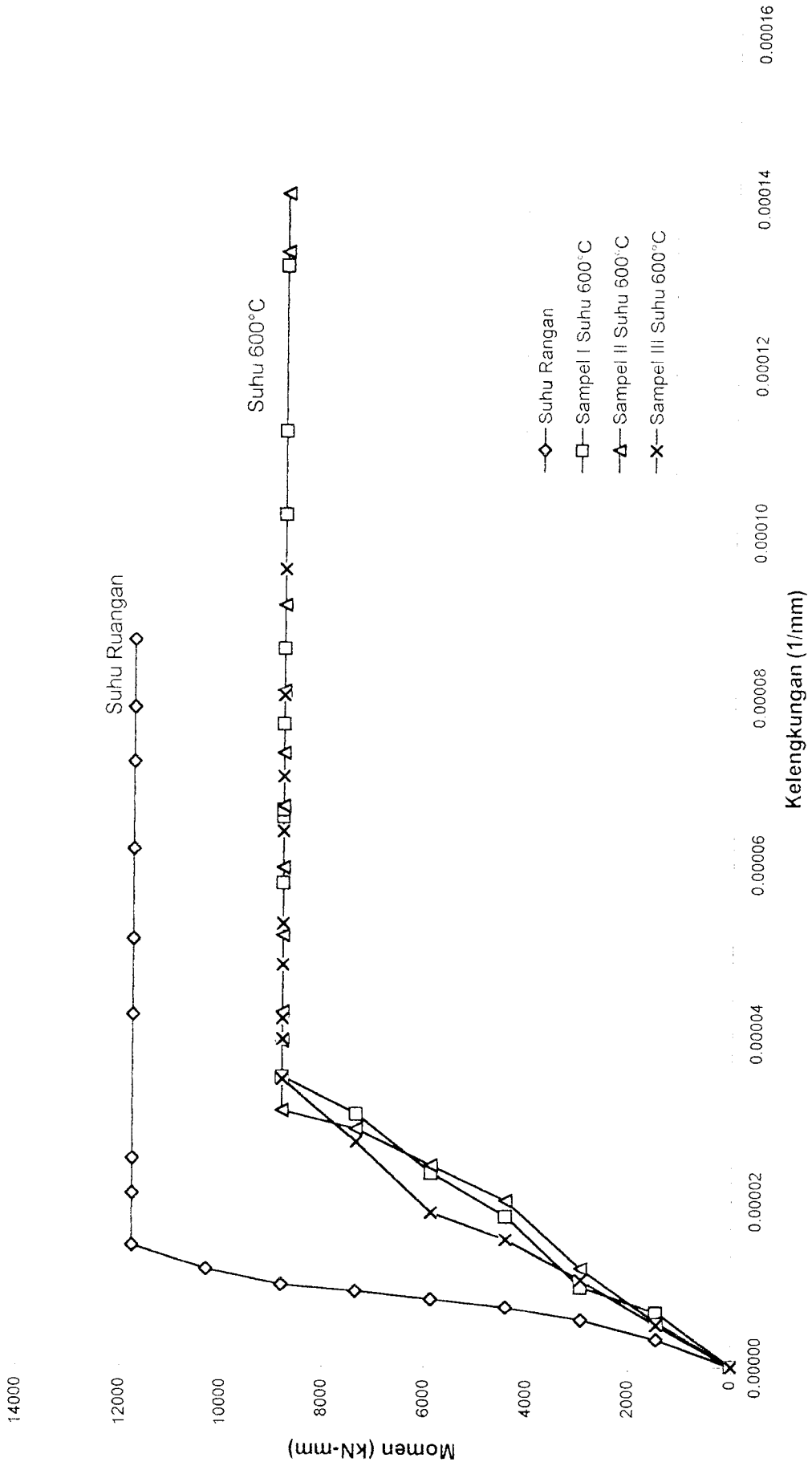
LAMPIRAN 6

Grafik Beban-Defleksi "Suhu Ruangan" dan "600°C Waktu 2 Jam"



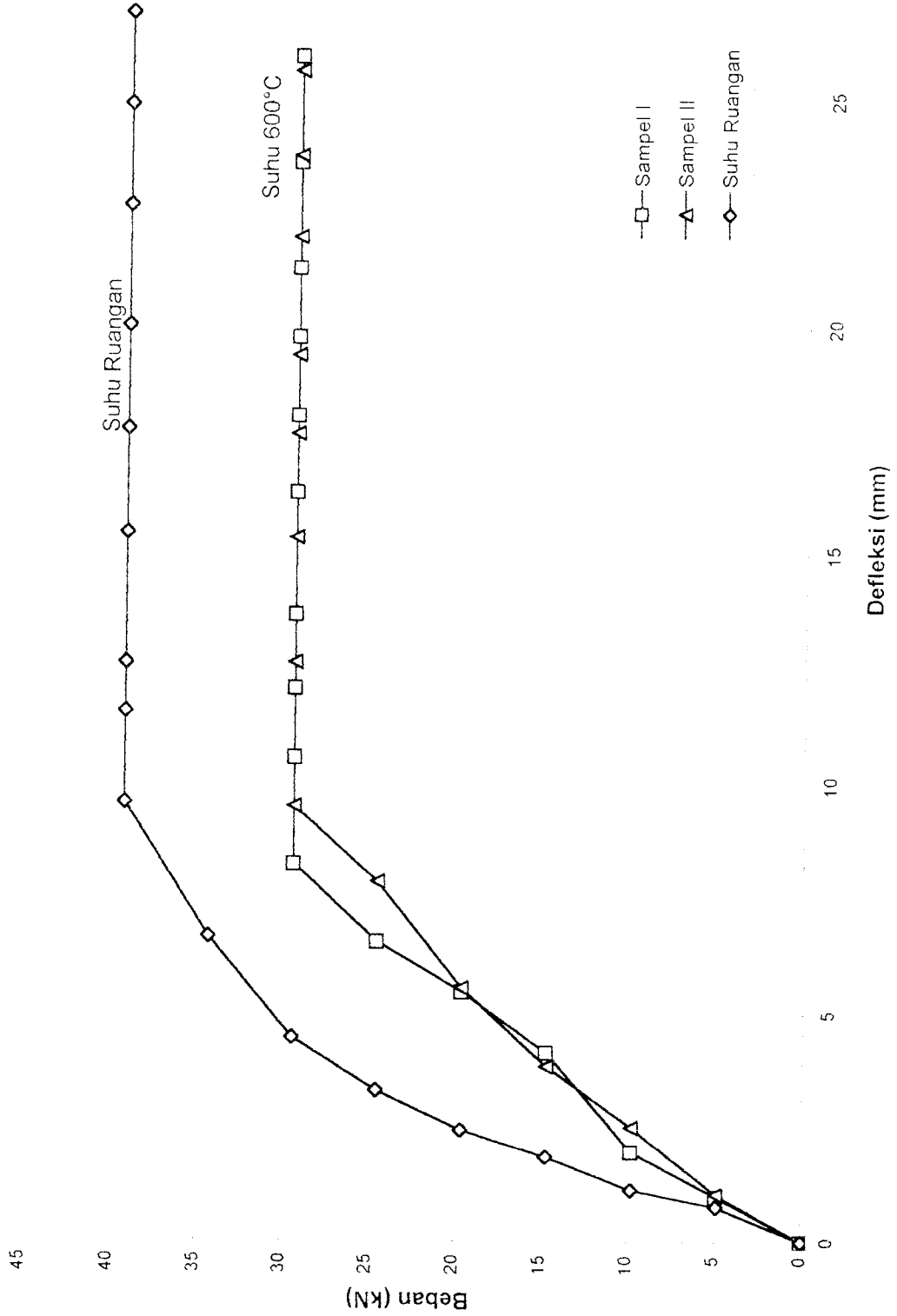
**LAMPIRAN 6**

Grafik Momen-Kelengkungan "Suhu Ruangan" dan "Suhu 600°C Waktu 2 Jam"



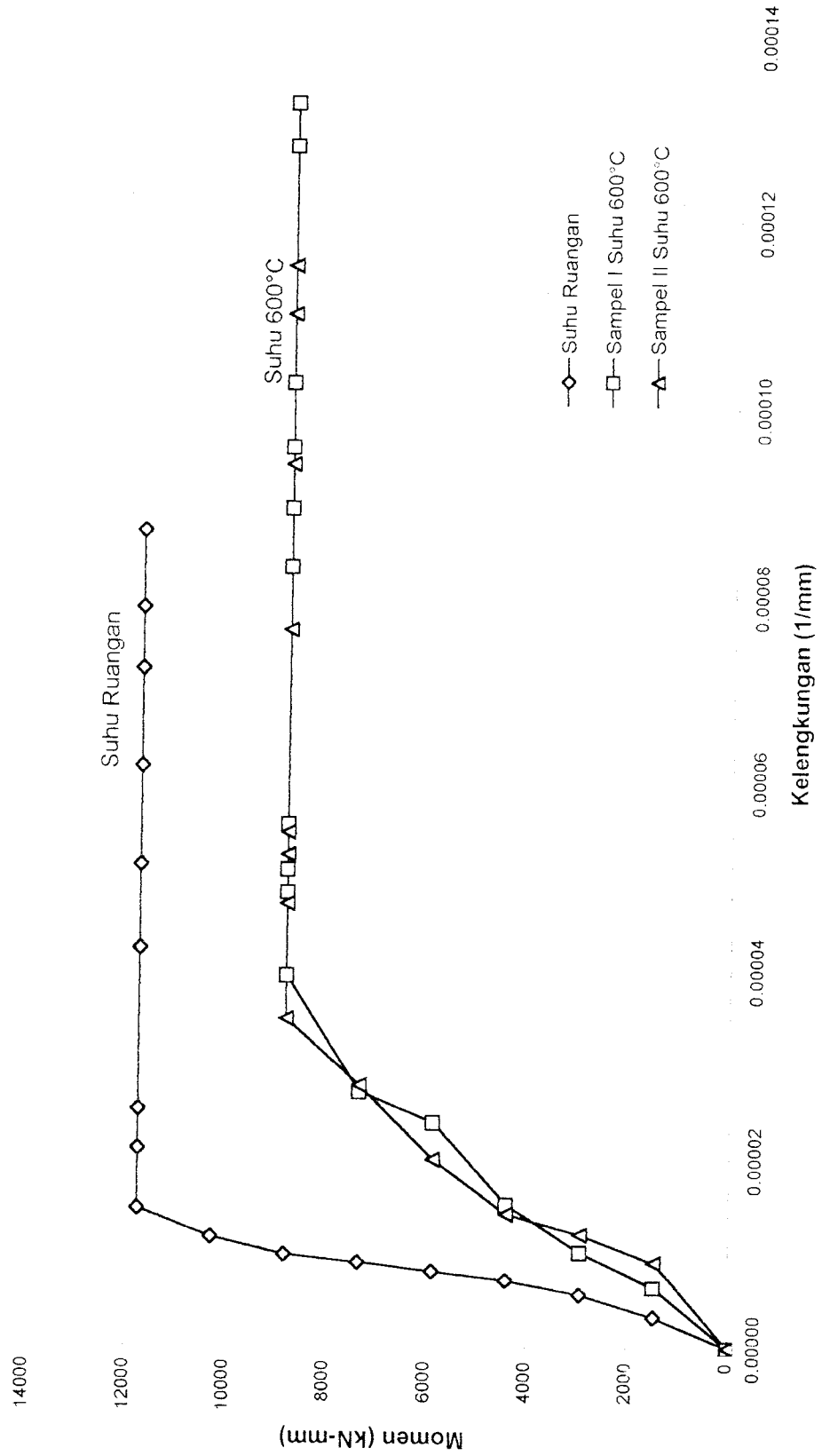
LAMPIRAN 6

Grafik Beban-Defleksi "Suhu Ruangan" dan "600°C Waktu 3 Jam"



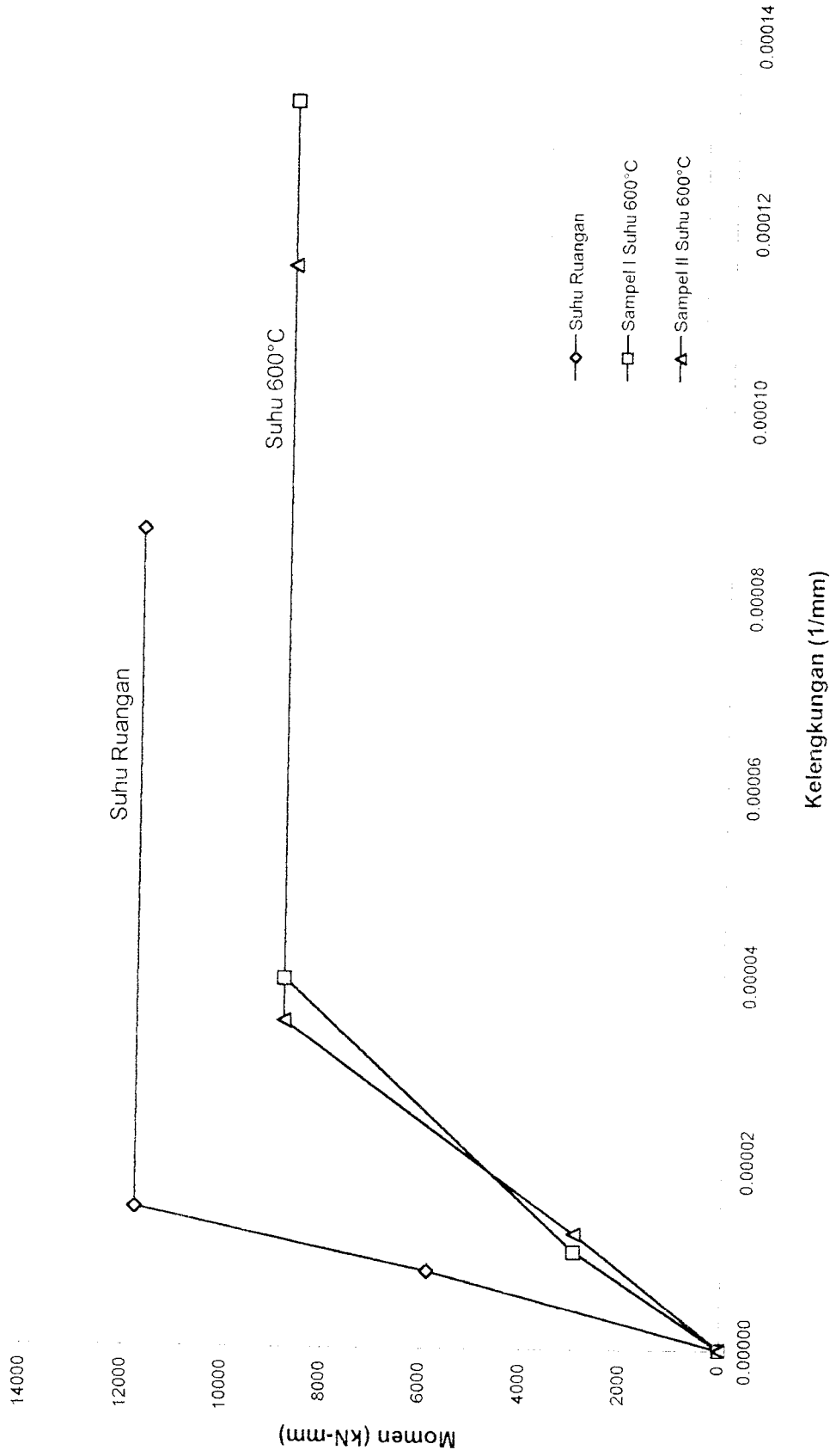
# LAMPIRAN 6

## Grafik Momen-Kelengkungan "Suhu Ruangan" dan "Suhu 600°C Waktu 3 Jam"



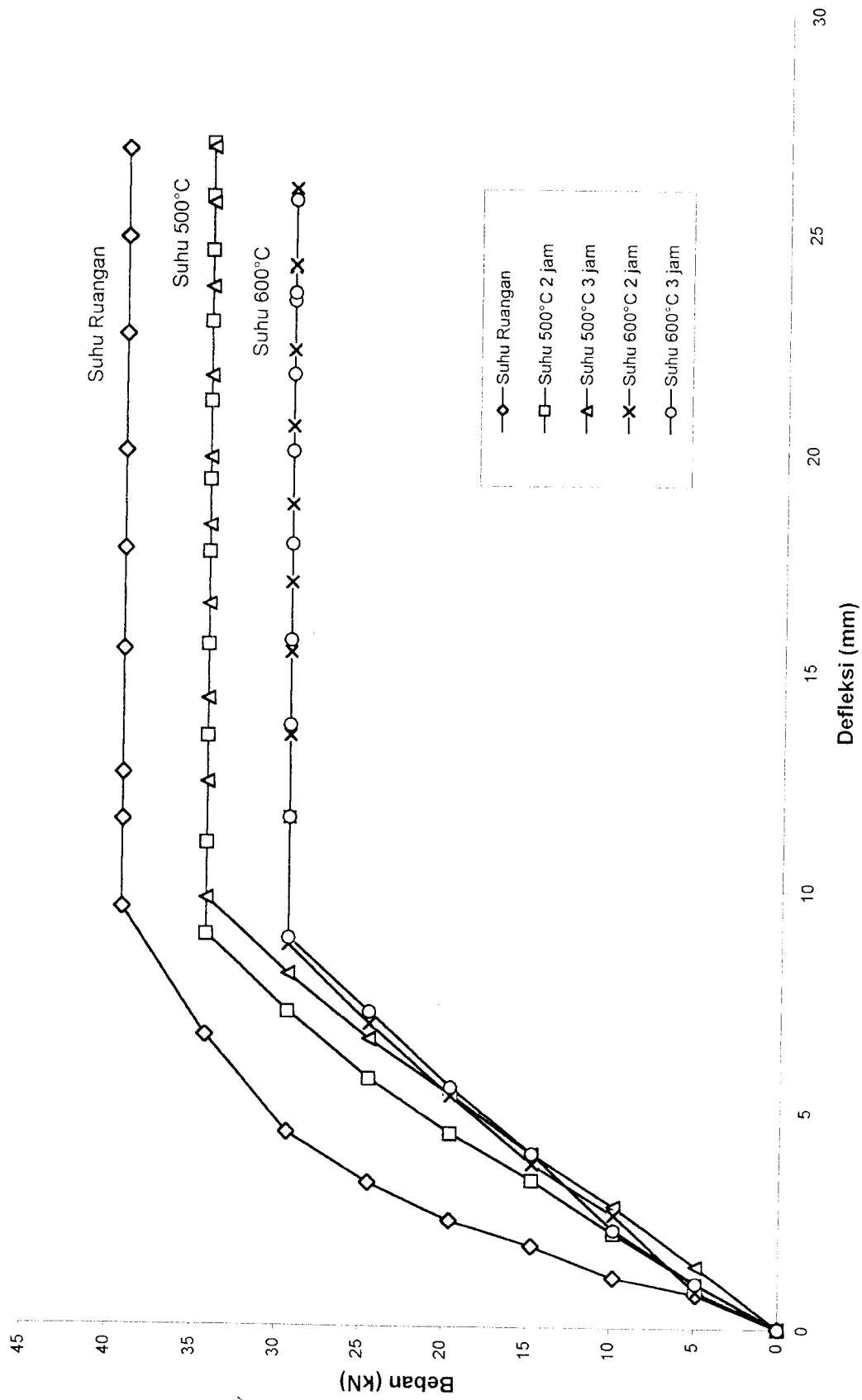
### LAMPIRAN 6

Grafik Trilinier Momen-Kelengkungan "Suhu Ruangan" dan "Suhu 600°C Waktu 3 Jam"



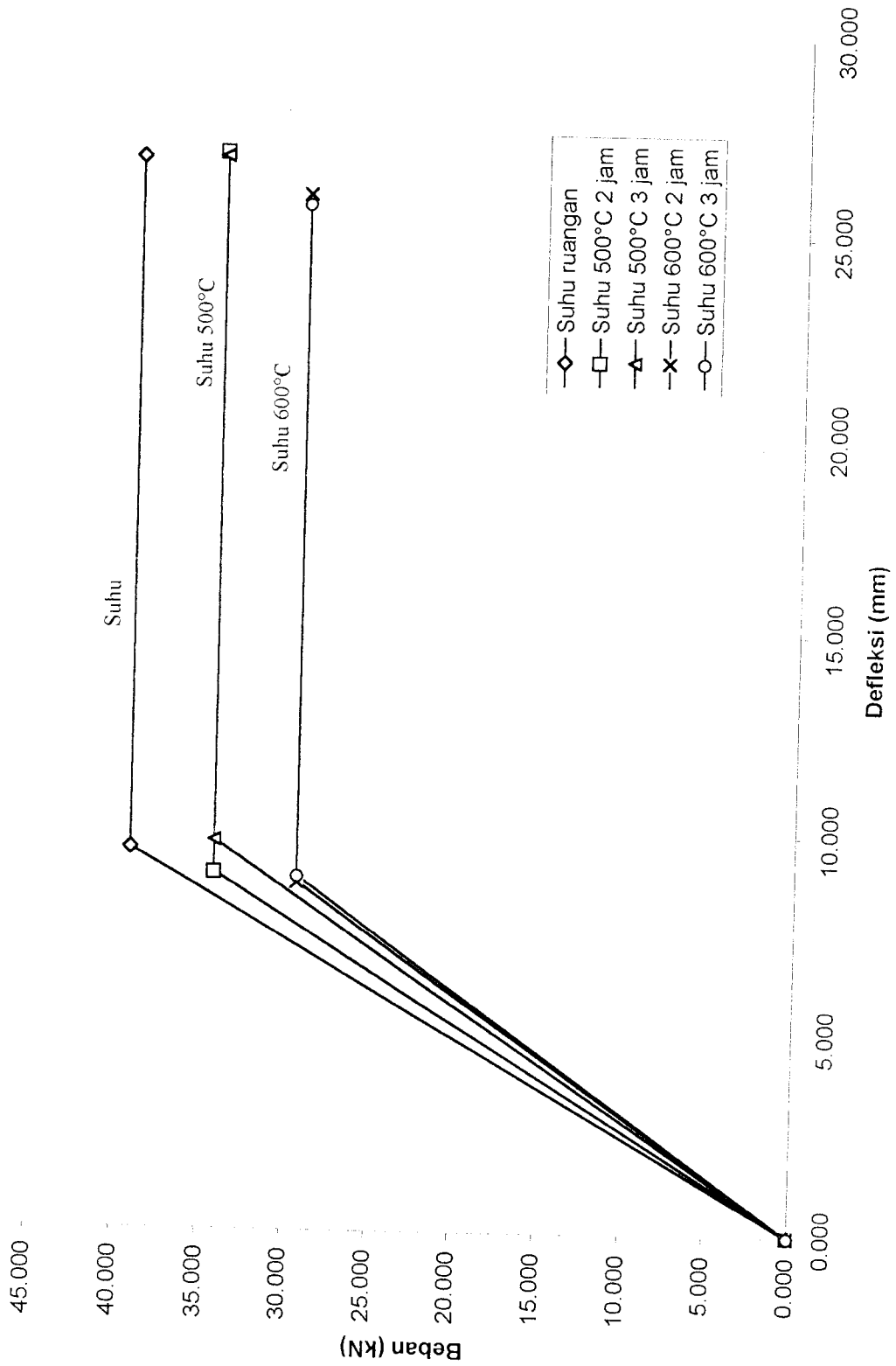
### LAMPIRAN 6

#### Grafik Gabungan Beban-Defleksi



# LAMPIRAN 6

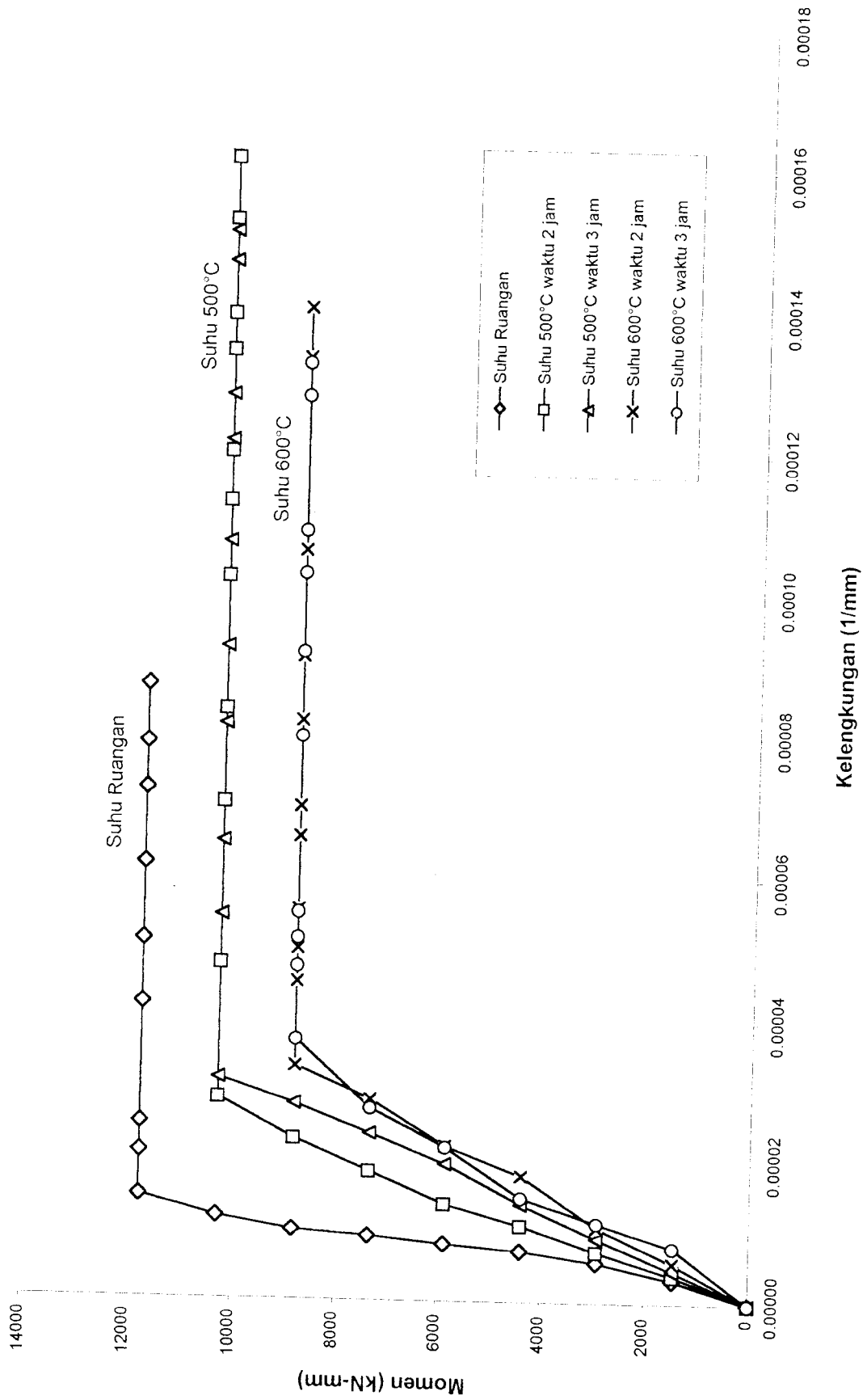
## Grafik Bilinier Beban Defleksi





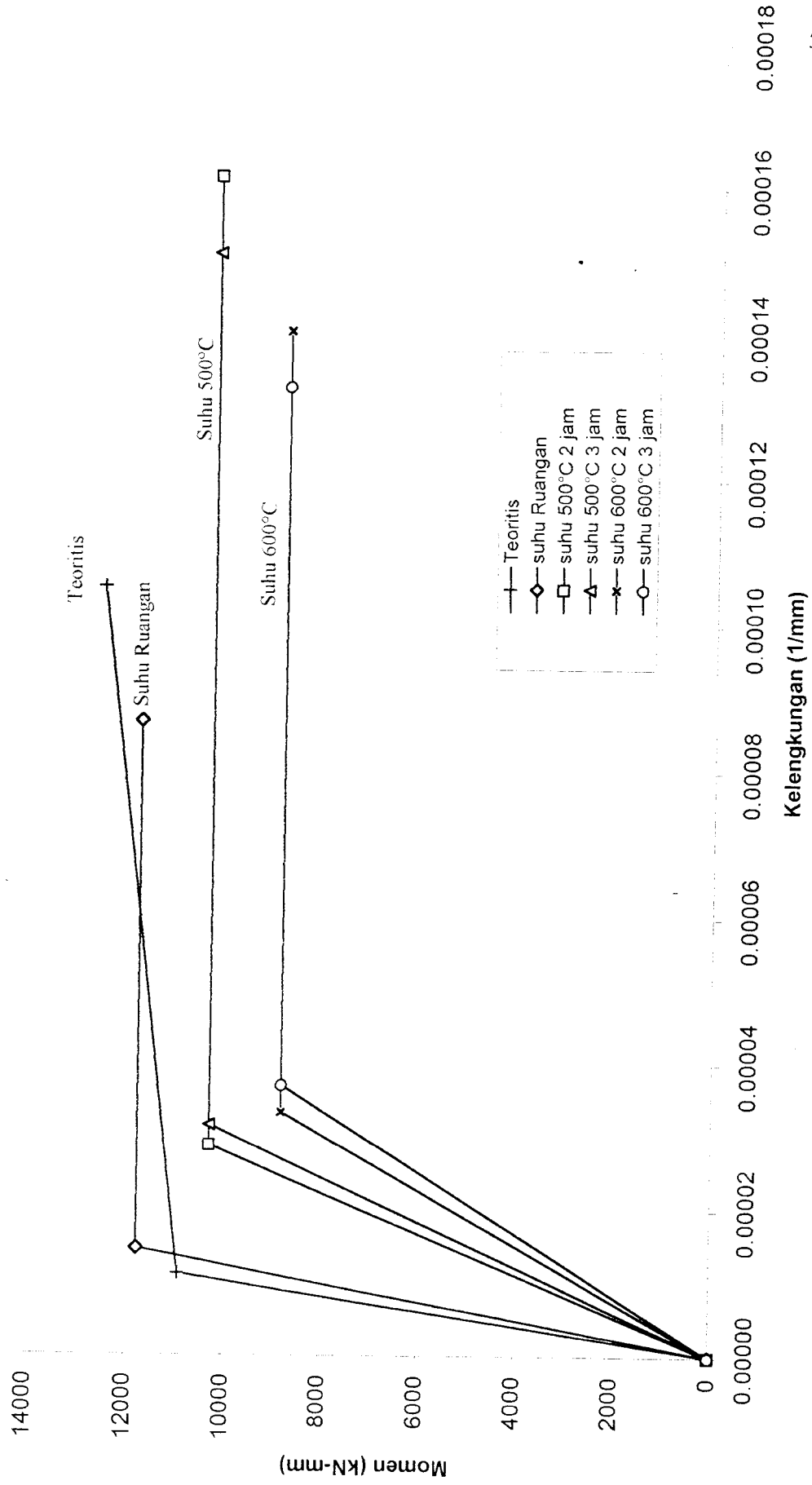
**LAMPIRAN 6**

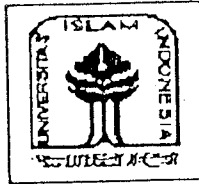
**Grafik Gabungan Momen-Kelengkungan**



LAMPIRAN 6

Grafik Bilinier Momen Kelengkungan





DATA PEMERIKSAAN  
 GRADASI AGREGAT HALUS

Jenis Benda Uji : AGREGAT HALUS  
 Nama Benda uji : PASIR  
 Asal : KRASAK  
 Keperluan : PENERBITIAN  
TUGAS AKHIR

Diperiksa oleh :  
 1) FAUZAN HAMDI  
 2) MUHAMMAD ARIEF Y.  
 Tanggal : 30 MEI 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

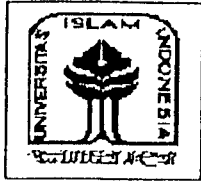
LUBANG AYAKAN ( mm )	BERAT TERTINGGAL ( gram )		BERAT TERTINGGAL ( % )		BERAT TERTINGGAL KUMULATIF	
	I	II	I	II	I	II
PERCOBAAN KE :						
40	.....	.....	.....	.....	.....	.....
20	.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.80	6	7	0,4	0,5	0,4	0,5
2.40	143	70	9,6	4,7	10	5,2
1.20	347	280,1	23,4	18,7	33,4	23,9
0.60	464	475,5	31,3	31,7	64,7	55,6
0.30	324,6	432	21,9	28,8	86,6	84,4
0.15	166,7	195,7	11,2	13	97,8	97,4
SISA	33,5	39,7	2,2	2,6	-	-
Jumlah	1484,8	1500	100	100	292,9	267,0
Jumlah rata-rata	1492,4		100		280	

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

Yogyakarta, 30/5/2000

*[Signature]*

DIREKTUR  
 LABORAN.



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 KASAR

Jenis Benda Uji : AGREGAT KASAR  
Nama Benda uji : SPLIT  
Asal : KALI PROGO  
Keperluan : PENELITIAN  
TUGAS AKHIR

Diperiksa oleh :  
1) FAUZAN HAMDI  
2) MUHAMMAD ARIFF Y.

Tanggal : 29 MEI 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 )	...500... Gram	...500... Gram
Gelas ukur + Air ( V1 )	...500... Cc	...500... Cc
Gelas ukur + Air + Agregat ( V2 )	...690... Cc	...690... Cc
BERAT JENIS ( BJ ) $\frac{W}{V2 - v1}$	...2,632...	...2,632...
BERAT JENIS ( BJ ) RATA-RATA	...2,632...	

Yogyakarta, 29 MEI 2000