

PERPUSTAKAAN FTSP UII  
 HADIAN/BELI  
 TGL. TERIMA : 28-Feb-03  
 NO. JUDUL : 000246  
 NO. INV. : 5120000246001  
 NO. INDIK. :

**TUGAS AKHIR  
 PENELITIAN LABORATORIUM**

**KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG  
 DENGAN SELIMUT GYPSUM PASCA BAKAR**

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



MILIK PERPUSTAKAAN  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
 PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

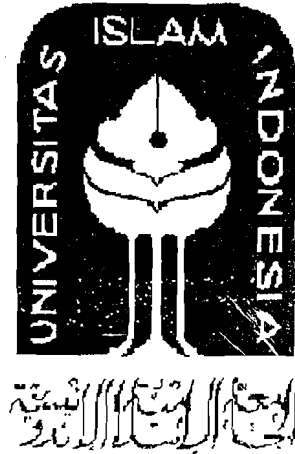
disusun oleh :

- Nama : Bambang Purwadi
- No. Mhs. : 96 310 181
- Nirm. : 960051013114120156
  
- Nama : Ruswitri Juliardi
- No. Mhs. : 96 310 193
- Nirm. : 960051013114120168

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
 YOGYAKARTA  
 2002**

HALAMAN PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR

**KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG  
DENGAN SELIMUT *GYP*SUM PASCA BAKAR**



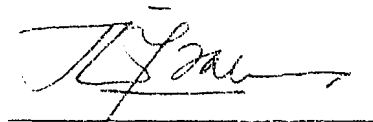
disusun oleh :

Nama : Bambang Purwadi  
No. Mhs. : 96 310 181  
Nirm. : 960051013114120156


Nama : Ruswitri Juliardi  
No. Mhs. : 96 310 193  
Nirm. : 960051013114120168

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. Helmy Akbar Bale, MT  
Dosen Pembimbing I

  
Tanggal : 27/2/02

Ir. Fatkhurrohman NS, MT  
Dosen Pembimbing II

  
Tanggal : 27/02-2002

## KATA PENGANTAR

**Bismillahirrahmaanirrahiim**

**Assalamu'alaikum wr. wb.**

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tentang **KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT *GYPSUM* PASCA BAKAR** ini dengan baik.

Penelitian yang merupakan salah satu syarat untuk mencapai derajat Sarjana S-1 ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dan Laboratorium Teknik Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.

Dengan selesainya laporan penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Helmy Akbar Bale, MT., selaku Dosen Pembimbing I yang dengan penuh kesabaran dan ketekunan telah membimbing penulis.
2. Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ide-ide dasar dan bimbingannya hingga selesainya penelitian ini.
3. Ir. Suharyatmo, MT., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam penelitian ini.
4. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

5. Ir. H. Munadhir, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
6. Ir. Ilman Noor, MSCE., selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia beserta segenap staf dan karyawannya.
7. Ir. H. Morisco, Ph.D., selaku Kepala Laboratorium Teknik Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada beserta segenap staf dan karyawannya.
8. Ayah dan Ibu tercinta, kakak dan adik beserta seluruh sanak famili yang telah memberi dorongan baik moral maupun material selama pelaksanaan pendidikan, penelitian dan penulisan tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan : Heri, Edi, Nopan, Imam, Agung, Maman, Wisnu, Payak, Habib, Budi, Wiwin, Nety, serta semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa hasil karya penelitian ini masih jauh dari sempurna, namun penulis berharap agar hasil yang diperoleh ini bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

**Wabillahittaufik walhidayah, wassalamu'alaikum wr. wb.**

Yogyakarta, Pebruari 2002

Penulis :

Bambang Purwadi

Ruswitri Juliardi

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR SIMBOL .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
ABSTRAKSI .....	xv

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Keaslian Penelitian .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	2
1.5 Batasan Masalah .....	2
1.6 Metode Penelitian .....	3

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Pelapis/Selimut Beton ( <i>Gypsum</i> ) .....	5
---	---

2.2 Pengertian Beton .....	6
2.3 Baja Tulangan .....	7
2.4 Kekuatan/Ketahanan Beton Terhadap Kebakaran .....	7
2.4.1 Pengaruh temperatur pada kuat desak beton .....	7
2.4.2 Sifat fisik beton pada temperatur tinggi .....	8
2.4.3 Sifat agregat pada temperatur tinggi .....	8
2.5 Pengaruh Temperatur Pada Modulus Elastisitas Beton .....	9
2.6 Kekuatan Beton .....	9
2.7 Umur Beton .....	9

### **BAB III LANDASAN TEORI**

3.1 Kapasitas Lentur Balok Persegi Tulangan Rangkap .....	10
3.2 Hubungan Beban dan Lendutan .....	12
3.3 Momen dan Kelengkungan .....	13
3.3.1 Kelengkungan balok .....	13
3.3.2 Perhitungan momen-kelengkungan retak .....	18
3.3.3 Kondisi leleh dan batas momen-kelengkungan .....	19
3.3.4 Momen-kelengkungan balok beton bertulang pasca bakar .....	21
3.4 Hipotesa .....	21

### **BAB IV METODE PENELITIAN**

4.1 Bahan Penyusun Beton .....	23
4.1.1 Semen .....	23

4.1.2 Agregat .....	23
4.1.3 Air .....	24
4.1.4 Besi tulangan beton .....	24
4.1.5 Kawat bendrat .....	25
4.1.6 Kayu lapis .....	25
4.1.7 Bahan pelapis beton ( <i>Gypsum</i> ) .....	25
4.2 Alat yang Digunakan .....	25
4.2.1 Ayakan .....	25
4.2.2 Timbangan .....	26
4.2.3 Mistar dan kaliper .....	26
4.2.4 Mesin uji kuat tarik .....	26
4.2.5 Mesin uji kuat desak .....	27
4.2.6 Mesin pengaduk beton .....	27
4.2.7 Cetok dan talam baja .....	27
4.2.8 Kerucut abrams .....	27
4.2.9 Cetakan benda uji .....	27
4.2.10 Tungku pembakaran .....	27
4.2.11 Thermokopel .....	28
4.2.12 Dukungan sendi dan rol .....	28
4.2.13 <i>Loading frame</i> .....	28
4.2.14 <i>Dial gauge</i> .....	29
4.2.15 <i>Hydraulic jack</i> .....	30
4.3 Pelaksanaan Penelitian .....	31

4.3.1	Persiapan bahan .....	31
4.3.2	Pembuatan sampel .....	32
4.3.3	Perawatan .....	33
4.3.4	Pelapisan <i>gypsum</i> .....	33
4.3.5	Pembakaran sampel .....	34
4.3.6	Pengujian sampel .....	34

## **BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

5.1	Hasil Penelitian .....	36
5.1.1	Hasil uji kuat desak beton .....	36
5.1.2	Hasil uji kuat tarik baja tulangan .....	37
5.1.3	Hasil pembakaran balok uji beton bertulang .....	37
5.1.4	Hasil uji lentur balok beton bertulang .....	38
5.1.4.1	Hubungan beban dan lendutan .....	38
5.1.4.2	Grafik beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang selimut semen dan selimut <i>gypsum</i> pasca bakar suhu 600°C .....	40
5.1.4.3	Analisa data hubungan beban dan lendutan .....	41
5.1.5	Hubungan momen dan kelengkungan .....	42
5.1.5.1	Momen dan kelengkungan teoritis .....	42
5.1.5.2	Grafik momen-kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang .....	43
5.1.5.3	Grafik momen dan kelengkungan balok beton	



bertulang pada suhu ruang dengan momen dan kelengkungan secara teoritis .....	44
5.1.5.4 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut <i>gypsum</i> pasca bakar suhu 600°C .....	45
5.2 Pembahasan .....	46
5.2.1 Pengaruh waktu terhadap kuat tekan beton .....	46
5.2.2 Kuat lentur sisa ditinjau dari hubungan beban dan lendutan ...	47
5.2.3 Degradasi momen dan faktor kekakuan ditinjau dari grafik momen dan kelengkungan .....	48
 <b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1 Kesimpulan .....	50
6.2 Saran .....	51
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	52
 <b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR SIMBOL

$A$	=	Luas penampang balok
$A_s$	=	Luas baja tarik
$A'_s$	=	Luas baja desak
$A$	=	Tinggi blok tegangan
$b$	=	Lebar balok
$C$	=	Jarak garis netral dari tepi serat tertekan
$C_c$	=	Gaya tekan pada beton
$C_s$	=	Gaya tekan pada baja
$d$	=	Tinggi efektif balok
$d'$	=	Jarak dari tepi serat tertekan ke pusat tulangan tekan
$E_c$	=	Modulus elastisitas beton
$E_s$	=	Modulus elastisitas baja
$EI$	=	Faktor kekakuan
$f'_c$	=	Kuat tekan beton
$f_{cr}$	=	Kuat tekan beton rata-rata
$f_r$	=	Modulus retak beton
$f'_s$	=	Tegangan baja tekan
$f_y$	=	Tegangan leleh baja
$h$	=	Tinggi balok

$I$	= Momen inersia balok
$jd$	= Lengan dari titik berat baja tekan dan beton ke titik berat tulangan tarik
$k$	= Faktor tinggi garis netral
$L$	= Panjang
$M$	= Momen
$M_{crack}$	= Momen retak
$M_n$	= Momen nominal
$M_u$	= Momen batas
$M_y$	= Momen leleh
$m$	= Nilai tambah (margin)
$n$	= Rasio modulus elastisitas
$P$	= Beban
$R$	= Jari-jari kelengkungan dari garis netral
$s_d$	= Standar deviasi
$T_s$	= Gaya tarik pada baja
$Y_{bottom}$	= Jarak garis netral ke tepi serat tertarik
$\beta_1$	= Konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton
$\epsilon_c'$	= Regangan beton
$\epsilon_s$	= Regangan baja tarik
$\epsilon_s'$	= Regangan baja tekan
$\epsilon_y$	= Regangan leleh baja
$\emptyset$	= Diameter

$\phi$  = Kelengkungan

$\phi_{crack}$  = Kelengkungan retak

$\phi_u$  = Kelengkungan batas

$\phi_y$  = Kelengkungan leleh

$\pi$  = Konstanta (3,14159)

$\Delta$  = Lendutan

$\rho$  = Rasio tulangan tarik terhadap luas efektif

$\rho'$  = Rasio tulangan tekan terhadap luas efektif

## DAFTAR GAMBAR

No.	Nama Gambar	Hal
3.1	Blok tegangan ekuivalen whitney tulangan rangkap	10
3.2	Hubungan beban dan lendutan	12
3.3	Kelengkungan balok	14
3.4	Hubungan momen dan kelengkungan	16
3.5	Lendutan akibat beban	16
3.6	Kurva idealisasi momen dan kelengkungan	18
3.7	Hubungan momen-kelengkungan balok beton bertulang pasca bakar	21
4.1	Tulangan benda uji	25
4.2	<i>Universal Testing Material Shimatzu UMH 30</i>	26
4.3	Dukungan sendi dan rol	28
4.4	Bentuk fisik <i>loading frame</i>	29
4.5	<i>Dial gauge</i>	30
4.6	<i>Hydraulic jack</i>	30
4.7	Model balok beton bertulang dengan selimut semen	32
4.8	Model balok beton bertulang dengan selimut <i>gypsum</i>	32
4.9	Metode pembebanan	35
5.1	Grafik beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang	40
5.2	Grafik hubungan beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan	

selimut <i>gypsum</i> pasca bakar suhu 600°C	41
5.3 Grafik momen dan kelengkungan trilinear teoritis	42
5.4 Grafik momen-kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang	44
5.5 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dan secara teoritis	45
5.6 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut <i>gypsum</i> pasca bakar suhu 600°C	46

## DAFTAR TABEL

<b>No.</b>	<b>Nama Tabel</b>	<b>Hal</b>
5.1	Hasil Uji Tarik Baja Tulangan	37
5.2	Pengamatan Visual Balok Beton Bertulang Pasca Bakar	38
5.3	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pada Suhu Ruang	38
5.4	Analisa Data	41
5.5	Hasil Perhitungan Momen dan Kelengkungan Teoritis	42
5.6	Hubungan Momen dan Kelengkungan Balok Beton Bertulang Pada Suhu Ruang	43
5.7	Hasil Analisa	49

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul Lampiran	Hal
<b>Lampiran 1</b>	Surat Keterangan	54
<b>Lampiran 2</b>	Data pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	56
	Data Pemeriksaan Modulus Halus Butir Pasir	57
	Data Pemeriksaan Berat Jenis Agregat kasar	58
	Data Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar “SSD”	59
<b>Lampiran 3</b>	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja (Ø 8 mm)	60
	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja (Ø 10 mm)	64
	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja (Ø 12 mm)	68
<b>Lampiran 4</b>	Perencanaan Campuran Beton	72
	Hasil Uji Desak Silinder Beton	76
<b>Lampiran 5</b>	Analisa Teoritis Momen dan Kelengkungan	77
<b>Lampiran 6</b>	Tabel dan Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pada Suhu Ruang	82
	Tabel dan Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Selimut Semen Pasca Bakar	88
	Tabel dan Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Selimut <i>Gypsum</i> Pasca Bakar	94
<b>Lampiran 7</b>	Foto-foto Penelitian	100



## KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT *GYP SUM* PASCA BAKAR

### Abstraksi

Kerusakan balok beton bertulang akibat kebakaran, ditandai dengan perubahan warna, penurunan kekakuan dan penurunan kuat lenturnya. Penelitian eksperimental dengan pembebanan statis dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik balok beton bertulang akibat kebakaran. Kerusakan dimodelkan dengan pembakaran balok beton bertulang dalam tungku pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  dengan lama pembakaran 3 jam. Benda uji dipakai dua variasi yaitu dengan selimut semen dan selimut *gypsum*. Pada balok beton bertulang pasca bakar timbul warna kemerahan dan putih kekuningan. Pengujian pembebanan menghasilkan data primer berupa beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ). Selanjutnya dari data primer didapatkan momen, kelengkungan dan faktor kekakuan. Kuat lentur bervariasi menurut masing-masing model benda uji. Setelah mengalami pembakaran selama 3 jam pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  balok beton bertulang dengan selimut semen mengalami penurunan kuat lentur sebesar  $\pm 18\%$ , sedangkan pada balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* mengalami penurunan kuat lentur sebesar  $\pm 10\%$  dari kuat lentur balok beton bertulang pada suhu ruang. Demikian pula dalam hal kapasitas momen dan kekakuan balok beton bertulang dengan selimut semen pasca bakar mengalami penurunan momen sebesar  $\pm 18\%$  dan penurunan kekakuan sebesar  $\pm 36\%$  terhadap balok beton bertulang pada suhu ruang. Pada balok beton bertulang selimut *gypsum* pasca bakar mengalami penurunan momen sebesar  $\pm 10\%$  dan mengalami penurunan kekakuan sebesar  $\pm 6\%$  terhadap balok beton bertulang pada suhu ruang.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Secara umum struktur gedung-gedung yang terbakar akan mengalami kerusakan dari tingkat ringan sampai dengan sangat berat. Kerusakan dapat terjadi pada saat kebakaran berlangsung. Kerusakan pada saat terjadi kebakaran tergantung dari temperatur dan durasi kebakaran. Jika kerusakan gedung tidak diperbaiki, maka kerusakan dapat terus berlanjut dan berakibat buruk pada kekuatan dan penurunan angka keamanan struktur tersebut.

Kebakaran gedung yang terjadi mengakibatkan merusakkan struktur sehingga dapat menimbulkan degradasi kekakuan dan kekuatan pada balok beton bertulang. Degradasi kekuatan balok beton bertulang yang terjadi dapat diminimalkan dengan melakukan pelapisan pada balok beton bertulang dengan bahan yang tahan terhadap api, seperti *gypsum* dan asbes.

*Gypsum* merupakan bahan tahan api, bahan tersebut merupakan isolasi yang baik dalam menghambat kerusakan akibat kebakaran. Dengan melakukan pelapisan pada seluruh permukaan beton dengan lapisan *gypsum* diharapkan dapat meredam tinggi temperatur yang terjadi pada balok beton bertulang sehingga degradasi kekuatan dapat dikurangi.

## **1.2 Keaslian Penelitian**

Penelitian kuat lentur balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* pasca bakar belum pernah dilakukan. Penelitian yang pernah dilakukan adalah penelitian kuat lentur balok beton bertulang pasca bakar dengan perbaikan pasta semen, jadi penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari perilaku balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* pasca bakar dan perilaku balok beton bertulang dengan selimut semen pasca bakar.
2. Mengetahui hubungan momen dan kelengkungan pada balok beton bertulang pasca bakar.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh selimut *gypsum* terhadap kuat lentur balok beton bertulang pasca bakar.
2. Diharapkan dapat memberikan masukan kepada pembaca sebagai pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan bangunan tahan bakar.
3. Memberikan solusi dan alternatif terbaik untuk penelitian lebih lanjut.

## **1.5 Batasan Masalah**

Untuk mengetahui subjek penelitian, maka lingkup permasalahan dibatasi pada :

1. Kerusakan struktur dilihat dari perubahan perilaku lendutan dan momen pada balok beton bertulang pasca bakar.

2. Dimensi balok uji beton bertulang (balok persegi) dengan ukuran 120x200x2000 (mm).
3. Mutu bahan yang direncanakan dalam penelitian ini adalah beton dengan  $f'_c = 20$  Mpa dan dipakai baja tulangan mutu BJTP24 dengan  $\varnothing 10$  untuk tulangan memanjang atas,  $\varnothing 12$  untuk tulangan memanjang bawah dan dipakai sengkang  $\varnothing 8$ .
4. Simulasi kebakaran dilakukan dengan suhu pembakaran  $600^\circ\text{C}$  selama 3 jam.
5. Uji lentur dengan beban statis bertahap (monotonic).
6. Pelapis beton menggunakan *gypsum* dengan ketebalan 10 mm.

## 1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan berupa serangkaian percobaan laboratorium, meliputi :

### A. Perancangan campuran

1. Pemeriksaan agregat halus yang terdiri dari pemeriksaan berat jenis dan gradasi pasir.
2. Pemeriksaan agregat kasar yang terdiri dari pemeriksaan berat jenis, berat volume dan gradasi split.
3. Campuran beton direncanakan dengan metode ACI (*American Concrete Institute*).

### B. Pembuatan benda uji

1. Benda uji desak berupa silinder beton berukuran 150x300 (mm) dengan jumlah 18 buah.

2. Dimensi balok uji beton bertulang (balok persegi) berukuran 120x200x2000 (mm) sebanyak 6 buah dan 100x180x1980 (mm) sebanyak 3 buah dengan dipasang tulangan 2Ø10 untuk tulangan memanjang atas, 2Ø12 untuk tulangan memanjang bawah dan dipakai sengkang Ø8.

#### C. Percobaan pembakaran

1. Pembakaran dilakukan setelah balok beton bertulang berumur 28 hari.
2. Pembakaran balok uji beton bertulang dilakukan dengan menggunakan tungku bakar dengan suhu 600°C selama 3 jam.
3. Pelaksanaan pembakaran di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

#### D. Pengujian Lentur

1. Pengujian lentur balok uji beton bertulang menggunakan alat *loading frame* dengan beban statis bertahap (monotoric).
2. Pengukuran besar lendutan menggunakan alat *dial gauge*.
3. Pelaksanaan pengujian di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Bahan Pelapis/Selimut Beton (*Gypsum*)**

Surahman (1998) menginformasikan perencanaan bangunan yang tahan terhadap kebakaran membutuhkan bahan tahan api sebagai pelindung seperti *gypsum* dan asbes. Bahan pelindung ini selain termasuk tidak terbakar (*non combustible*) juga sulit menghantarkan panas.

*Gypsum* merupakan mineral kalsium sulfat, sedang mineral kalsium sulfat ada dua macam yaitu *gypsum* dan sulfat. *Gypsum* merupakan dihidrat kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dengan komposisi kimia  $\text{CaO} = 32,57\%$ ,  $\text{SO}_3 = 46,50\%$  dan  $\text{H}_2\text{O} = 20,93\%$  (Winanto dan Indah,1999).

*Gypsum* adalah bahan tahan panas yang baik untuk struktur baja. Kekuatan *gypsum* dapat menurun oleh pemanasan secara terus menerus dalam waktu yang lama ketika kristalisasi air berakhir, tetapi telah diketahui bahwa panas dibutuhkan untuk penguapan kristal air dan sebagaimana pada proses penguapan tersebut *gypsum* tidak mengalami keretakan tetapi permukaannya berubah menjadi bubuk kering yang bekerja sebagai isolator panas yang sangat baik, menghambat penguapan kristal air berikutnya pada lapisan *gypsum* bagian dalam (Moore dan Moore,1953).

Pada pemanasan  $128^{\circ}\text{C}$  *gypsum* akan kehilangan  $\frac{3}{4}$  bagian kandungan airnya (membentuk plaster paris) dan air kristal sisanya akan hilang pada temperatur  $163^{\circ}\text{C}$ . *Gypsum* tidak mempunyai titik leleh, diatas  $204^{\circ}\text{C}$  akan kehilangan airnya dan membentuk anhidrat (**Winanto dan Indah,1999**).

*Gypsum* digunakan untuk pembuatan adukan plesteran sebagai pengganti mortar semen, sebagai contohnya pada pelat atap dan di sekeliling kolom untuk menahan panas. Mortar *gypsum* digunakan juga untuk pembuatan ubin lantai dan barang-barang tembikar (**Moore dan Moore,1953**).

## 2.2 Pengertian Beton

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (**Istimawan,1996**).

Salah satu kebaikan beton adalah termasuk bahan yang berkekuatan tinggi. Bila beton dibuat dengan cara yang baik, kuat tekannya akan sama dengan batuan alami (**Kardiyono,1996**).

Bilamana suhu dari beton meningkat oleh suatu pemanasan maupun oleh sinar matahari maka akan terjadi penyusutan kering. Sesudah pemuaiian suhu awal, beton yang dipanasi cenderung untuk menyusut sampai pada tingkatan tertentu (**Murdock dan Brook,1999**).

### **2.3 Baja Tulangan**

Baja tulangan merupakan material yang mempunyai kekuatan tarik tinggi. Baja penguat atau baja tulangan memikul gaya tarik maupun gaya tekan, kekuatan lelehnya kurang lebih sepuluh kali dari kekuatan tekan struktur beton yang umum, atau seratus kali dari kekuatan tariknya (**Winter dan Arthur,1993**).

Kekuatan tarik beton hanya 10% dari kekuatan tekan. Hampir semua konstruksi beton bertulang direncanakan dengan anggapan bahwa beton sama sekali tidak memikul gaya tarik. Baja tulangan direncanakan untuk memikul gaya tarik tersebut. Tempat dimana terjadi tarikan mungkin akan terdapat retak-retak pada beton, akan tetapi retak-retak ini tidak mengurangi keamanan konstruksi yang dilengkapi pelekatan baja tulangan yang baik. Disamping itu baja yang terbungkus oleh beton dapat mengurangi dan melindungi tulangan dari korosi (**Mosley dan Bungey,1989**).

Disisi lain kekuatan baja tulangan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Pada temperatur 550°C baja akan mengalami penurunan tegangan leleh sebesar 50%. Namun demikian bila temperatur tersebut telah kembali normal, tegangan leleh baja hampir pulih kembali (**Priyosulistyo,1998**).

### **2.4 Kekuatan/Ketahanan Beton Terhadap Kebakaran**

#### **2.4.1 Pengaruh temperatur pada kuat desak beton**

Beton menunjukkan kenaikan kuat desak pada temperatur 200°C-300°C, tetapi diatas 400°C kuat desak hanya mencapai 90% dari kuat desak normal dan maksimum 40% pada suhu 700°C (**Neville,1975**).



Pengaruh panas yang tidak terlalu tinggi (sampai pada suhu 200°C) pada permukaan beton setelah mengeras (diatas umur 28 hari) akan menyebabkan penguapan air (dehidrasi) dan penetrasi kedalam rongga-rongga beton lebih dalam, sehingga memperbaiki sifat lekatan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Andang W (1999) terhadap kuat tekan silinder beton berdiameter 100 mm, tinggi 200 mm yang dipanaskan didalam tungku, bahwa beton menunjukkan peningkatan sekitar 10-15% dibanding dengan beton normal pada suhu 200°C. Pengaruh panas lebih tinggi (500°C) sudah menyebabkan penurunan kuat tekan beton hingga 50% dari kuat tekan beton normal.

#### **2.4.2 Sifat fisik beton pada temperatur tinggi**

Neville (1975) mengemukakan 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 semakin besar, semakin besar pula koefisien muai panas betonnya.

#### **2.4.3 Sifat agregat pada temperatur tinggi**

Ketahanan beton dipengaruhi jumlah mortar dalam beton, beton dengan ukuran agregat maksimum yang lebih kecil, lebih tahan terhadap kebakaran daripada beton dengan agregat yang lebih besar (Mark Fintel,1987).

Batuan alam dengan kandungan *feldspar* yang tinggi seperti *basalt*, *andesit*, *diabase* dan agregat buatan dari lempung bakar (slag) atau batuan keras yang lain adalah bahan yang sangat cocok untuk beton yang tahan panas. Bahan-bahan ini tidak akan menghasilkan kekuatan tahan panas yang tinggi bila tidak

dicampur dengan semen yang bersifat tahan panas, misalnya semen aluminat (Hansen,1970).

### **2.5 Pengaruh Temperatur Pada Modulus Elastisitas Beton**

Penurunan modulus elastisitas pada beton dipengaruhi oleh kenaikan suhu, demikian juga halnya dengan modulus elastisitas beton tahan panas. Nilai modulus elastisitas dari beton turun 25% jika dipanaskan sampai 500°F dan turun 50% jika dipanaskan 800°F (Hansen,1970).

### **2.6 Kekuatan Beton**

Beton mempunyai kuat tekan yang tinggi, tetapi kuat tariknya sangat rendah. Kardiyono (1996) menyebutkan bahwa kuat desak beton dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya air semen (f.a.s), kepadatan, umur beton, jumlah semen dan sifat agregat.

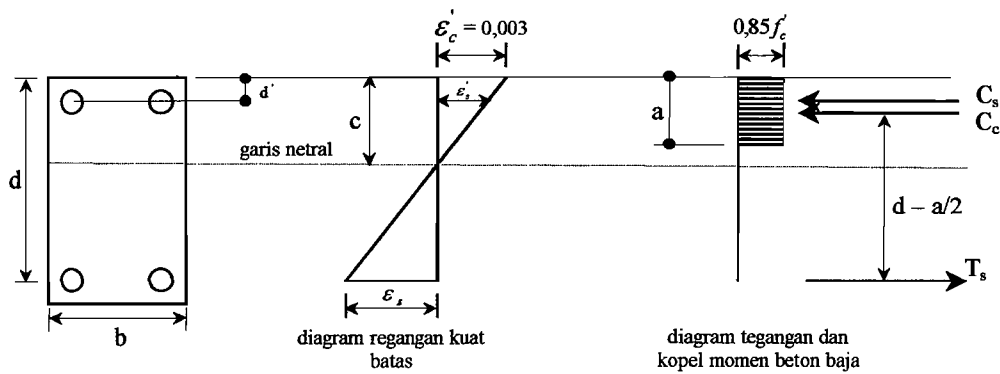
### **2.7 Umur Beton**

Kuat desak beton berbanding lurus terhadap umur beton. Faktor air semen berpengaruh pada kecepatan meningkatnya nilai kuat desak. Bertambahnya nilai faktor air semen (f.a.s) akan memperlambat kenaikan kuat desak beton dan sebaliknya semakin rendah faktor air semen (f.a.s) semakin cepat kenaikan kuat desaknya (Kardiyono,1996).

**BAB III**  
**LANDASAN TEORI**

**3.1 Kapasitas Lentur Balok Persegi Tulangan Rangkap**

Park dan Paulay (1975) mengemukakan analisis momen kapasitas balok tulangan rangkap dengan mengacu pada Gambar 3.1 adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Blok tegangan ekuivalen whitney tulangan rangkap

Ada dua kemungkinan yang akan dialami oleh penampang balok tulangan rangkap :

- a. Apabila  $\epsilon'_s \geq \epsilon_y$  dan  $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ , maka baja tekan dan tarik telah leleh.
- b. Apabila  $\epsilon'_s < \epsilon_y < \epsilon_s$ , maka baja tarik telah leleh, tetapi baja tekan belum leleh.

dengan :  $\epsilon'_s$  = regangan baja tekan,  $\epsilon_s$  = regangan baja tarik,

$\epsilon_y$  = regangan leleh baja

### 1. Kemungkinan a

Menganggap semua tulangan telah leleh, sehingga gaya-gaya dalam dari gambar 3.1 dihitung dengan rumus :

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots(3.1)$$

$$C_s = A'_s \cdot f_y \dots\dots\dots(3.2)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(3.3)$$

dengan :  $C_c$  = gaya tekan pada beton,  $C_s$  = gaya tekan pada baja,

$T_s$  = gaya tarik pada baja,  $f'_c$  = kuat tekan beton,

$a$  = tinggi blok tegangan,  $b$  = lebar balok,  $A'_s$  = luas baja desak,

$f_y$  = tegangan leleh baja,  $A_s$  = luas baja tarik

Persamaan keseimbangan didapat :

$$C_c + C_s = T_s \dots\dots\dots(3.4)$$

$$0,85 f'_c \cdot a \cdot b + A'_s \cdot f_y = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(3.5)$$

sehingga dari persamaan 3.5 didapat nilai a :

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0,85 f'_c \cdot b} \dots\dots\dots(3.6)$$

sehingga momen nominal untuk tulangan rangkap dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_n = (A_s - A'_s) f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y \cdot (d - d') \dots\dots\dots(3.7)$$

dengan :  $M_n$  = momen nominal,  $d$  = tinggi efektif balok,

$d'$  = jarak dari tepi serat tertekan ke pusat tulangan tekan

## 2. Kemungkinan b

Apabila  $\varepsilon_s' < \varepsilon_y < \varepsilon_s$ , baja tekan belum leleh maka dicari nilai a dari persamaan keseimbangan dan diagram tegangan pada Gambar 3.1 sehingga didapat nilai a :

$$(0,85 f_c' \cdot b) \cdot a^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot a - (600 \cdot 0,85 \cdot d' \cdot A_s') = 0 \quad \dots\dots (3.8)$$

nilai dari tegangan baja tekan dicari dengan persamaan :

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \cdot \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \cdot E_s \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

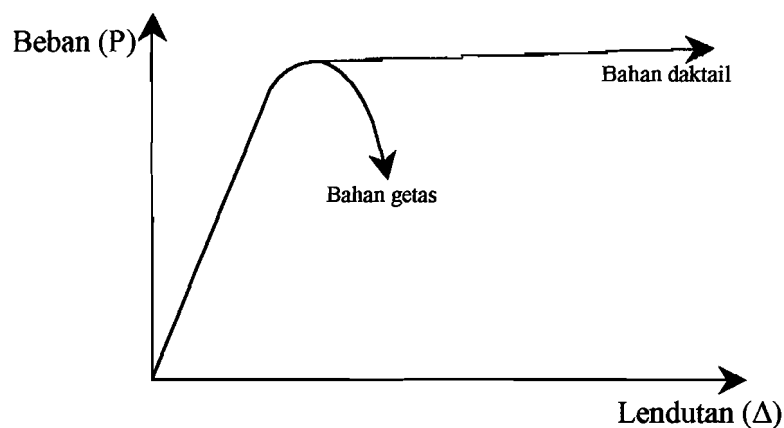
dengan :  $f_s'$  = tegangan baja tekan,  $\beta_1$  = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton.

maka momen nominal dapat dicari dengan persamaan :

$$M_n = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d') \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

## 3.2 Hubungan Beban dan Lendutan

Park dan Paulay (1975) mengemukakan hubungan beban dan lendutan akibat beban seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Hubungan beban dan lendutan

Dari hubungan antara kekuatan ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ) pada Gambar 3.2, didapat kekakuan balok ( $k$ ), sebagai berikut :

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots(3.11)$$

### 3.3 Momen dan Kelengkungan

#### 3.3.1 Kelengkungan balok

Kerusakan balok dapat dideteksi dengan perubahan kelengkungan.

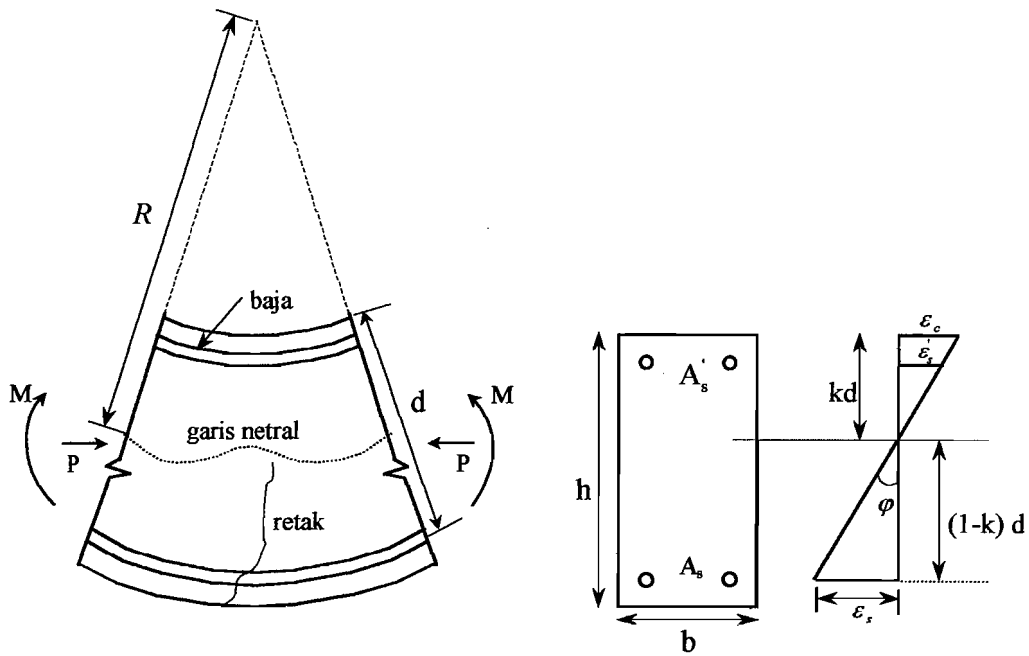
Kelengkungan balok menurut E.P.Popov (1984), adalah :

$$\frac{1}{R} = \varphi = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots(3.12)$$

Kemiringan  $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \approx 0$  sehingga kelengkungan didekati dengan persamaan :

$$\varphi = \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots(3.13)$$

Park dan Paulay (1975) mengemukakan, kelengkungan balok didapat dengan mengambil sebuah elemen lurus dari sebuah balok beton bertulang dengan momen-momen ujung dan gaya aksial yang sama seperti Gambar 3.3. Jari-jari kelengkungan ( $R$ ) diukur dari garis netral. Retak-retak pada beton akibat penambahan tegangan akan merubah jari-jari kelengkungan ( $R$ ), tinggi netral ( $k_d$ ), regangan beton ( $\varepsilon_c$ ) dan regangan tarik baja ( $\varepsilon_s$ ). Berdasar teori tersebut, retak beton akibat kebakaran akan bertambah jika dilakukan penambahan beban.



Gambar 3.3 Kelengkungan balok

Menganggap sebuah elemen kecil dengan panjang  $dx$  dari balok dan menggunakan notasi seperti pada Gambar 3.3 maka rotasi diantara ujung-ujung dari elemen diberikan oleh :

$$\frac{dx}{R} = \frac{\epsilon_c \cdot dx}{k \cdot d} = \frac{\epsilon_s \cdot dx}{d \cdot (1-k)} \dots\dots\dots(3.14)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{k \cdot d} = \frac{\epsilon_s}{d \cdot (1-k)} \dots\dots\dots(3.15)$$

dengan :  $\frac{1}{R} = \varphi$

dari Gambar 3.3 jika regangan dijumlahkan diperoleh :

$$\varphi = \frac{\epsilon_c}{k \cdot d} = \frac{\epsilon_s}{d \cdot (1-k)} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d} \dots\dots\dots(3.16)$$

dengan :  $\varphi$  = kelengkungan,  $\epsilon_c$  = regangan beton

$\epsilon_s$  = regangan baja,  $d$  = tinggi efektif penampang

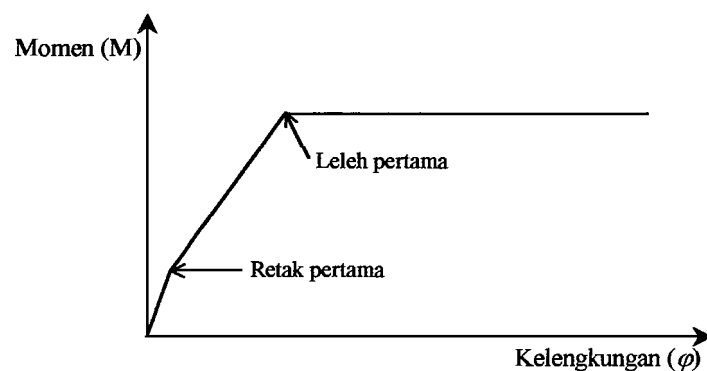
Dari Persamaan 3.16 diatas dapat dilihat bahwa untuk memperoleh kelengkungan ( $\phi$ ) diperlukan data regangan pada balok beton dan baja dengan cara memberikan *strain gauge*, dimana kemudian kelengkungan ( $\phi$ ) diperoleh dari hasil membandingkan jumlah regangan beton dan baja ( $\varepsilon_c + \varepsilon_s$ ) dengan tinggi efektif balok ( $d$ ).

Ini menunjukkan bahwa kelengkungan ( $\phi$ ) adalah gradien dari regangan elemen seperti dalam Gambar 3.3. Kelengkungan akan benar-benar berubah sepanjang bentang balok karena naik-turunnya garis netral dan regangan-regangan di antara retak-retak. Jika panjang elemen adalah kecil dan sebuah retak berakhir, kelengkungan dihitung dengan Persamaan 3.16 untuk penampang ijin yang diperoleh dari hubungan momen dan kelengkungan. Dua grafik yang diperoleh dari perhitungan balok bertulangan sebelah adalah lurus/linear diawal dan hubungan antara momen dan kelengkungan diberikan oleh persamaan :

$$EI = MR = \frac{M}{\phi} \dots\dots\dots(3.17)$$

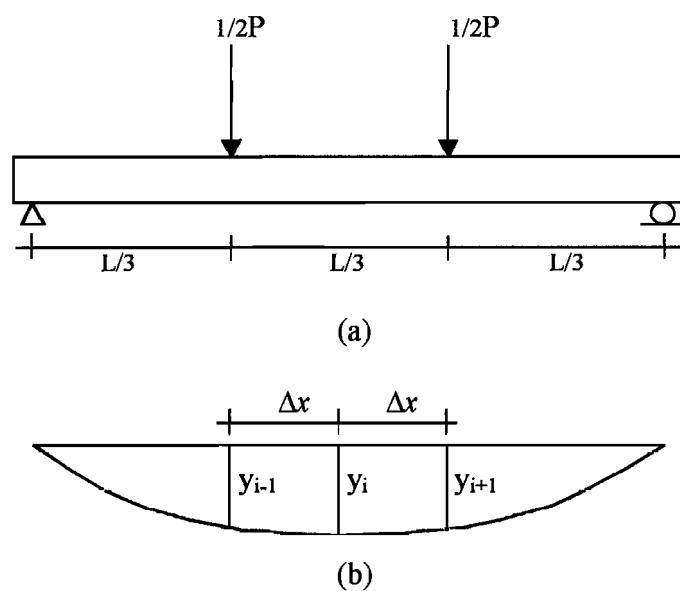
dengan  $EI$  adalah faktor kekakuan dari penampang. Peningkatan momen, retak pada beton mengurangi faktor kekakuan penampang. Perilaku penampang setelah retak bergantung dari jumlah tulangan pokok. Balok bertulangan sedikit menghasilkan sebuah kurva linear  $M-\phi$  diatas titik leleh baja. Ketika baja leleh, terjadi peningkatan kelengkungan yang besar pada momen hampir konstan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.





Gambar 3.4 Hubungan momen dan kelengkungan

Menurut Chapra dan Canale (1989), pada suatu potongan balok kelengkungan dapat ditentukan dengan pendekatan metode *central difference* dengan memanfaatkan tiga titik diskrit yang berurutan. Mengacu pada Gambar 3.5 dan Deret Taylor.



Gambar 3.5 Lendutan akibat beban

$$f(y_{i+1}) = f(y_i) + f'(y_i)\Delta x + \frac{f''(y_i)}{2}\Delta x^2 + \dots \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

Untuk mendapatkan turunan kedua digunakan  $f(y_{i+2})$  sehingga Deret Taylor adalah sebagai berikut :

$$f(y_{i+2}) = f(y_i) + f'(y_i) \cdot 2\Delta x + \frac{f''(y_i)}{2} \cdot (2\Delta x)^2 + \dots \quad (3.19)$$

apabila Persamaan 3.18 dikalikan dengan 2 kemudian untuk mengurangi Persamaan 3.19, maka akan diperoleh :

$$f(y_{i+2}) - 2f(y_{i+1}) = -f(y_i) + f''(y_i) \Delta x^2 \quad (3.20)$$

$$f''(y_i) = \frac{f(y_{i+2}) - 2f(y_{i+1}) + f(y_i)}{\Delta x^2} \quad (3.21)$$

untuk tengah bentang :

$$f''(y_i) = \frac{f(y_{i+1}) - 2f(y_i) + f(y_{i-1}))}{\Delta x^2} \quad (3.22)$$

dimana,

$$f''(y_i) = \frac{d^2 y}{dx^2} = \varphi$$

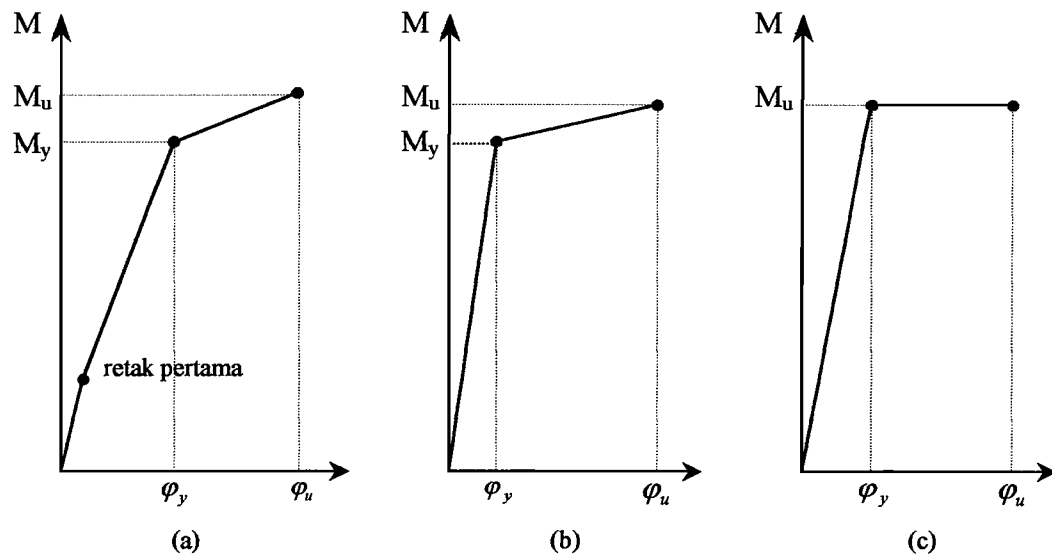
kelengkungan diperoleh dengan menggunakan tiga titik bantu yang letaknya berurutan, sehingga diperoleh persamaan kelengkungan :

$$\varphi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (3.23)$$

Mengacu pada Gambar 3.5 (a) diperoleh momen (M) :

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L \quad (3.24)$$

Menurut Park dan Paulay (1975) hubungan  $M-\varphi$  yang ideal pada balok beton bertulang dapat digambarkan dengan grafik trilinear dan bilinear seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Kurva idealisasi momen dan kelengkungan

Mengacu pada Gambar 3.6 (a) garis pertama menunjukkan retak awal, garis kedua adalah tegangan leleh baja dan garis ketiga merupakan regangan ultimit dari beton sehingga grafik ini disebut grafik trilinear. Gambar 3.6 (c) merupakan grafik bilinear yang dihasilkan dari pendekatan Gambar 3.6 (b) karena pada saat hubungan  $M-\phi$  terjadi dari beban 0 KN hingga baja leleh, garis pertama dan kedua hampir linear sehingga grafik hubungan  $M-\phi$  digambarkan dalam bentuk bilinear.

### 3.3.2 Perhitungan momen-kelengkungan retak

Momen-kelengkungan retak menurut Park dan Paulay (1975), dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$M_{crack} = \frac{f_r \cdot I}{Y_{bottom}} \dots\dots\dots(3.25)$$

$$\phi_{crack} = \frac{f_r}{E_c \cdot Y_{bottom}} \dots\dots\dots(3.26)$$

dengan:  $M_{crack}$  = momen retak (KNm),  $\phi_{crack}$  = kelengkungan retak (rad/m)

$$f_r = \text{modulus retak beton} = 8\sqrt{0,00689f'_c} \text{ (Mpa)},$$

$$I = \text{inersia balok} = \frac{1}{12}.b.h^3, \quad E_c = \text{modulus elastisitas beton}$$

$$Y_{bottom} = \text{jarak garis netral ke serat tepi tertarik.}$$

### 3.3.3 Kondisi leleh dan batas momen-kelengkungan

Persamaan momen-kelengkungan pada saat leleh pertama dicari dengan persamaan :

$$M_y = A_s \cdot f_y \cdot jd \quad \dots\dots\dots(3.27)$$

$$\varphi_y = \frac{\frac{f_y}{E_s}}{d(1-k)} \quad \dots\dots\dots(3.28)$$

$$k = \left[ (\rho + \rho')^2 \cdot n^2 + 2 \left( \rho + \frac{\rho' \cdot d'}{d} \right) n \right]^{1/2} - (\rho + \rho') n \quad \dots\dots\dots(3.29)$$

dengan :  $M_y$  = momen leleh pertama,  $\varphi_y$  = kelengkungan leleh pertama

$k$  = faktor tinggi garis netral,  $A_s$  = luas tulangan tarik,

$A'_s$  = luas tulangan tekan,  $d$  = tinggi efektif penampang,

$d'$  = jarak dr serat tekan ke titik berat baja tekan,  $f_y$  = tegangan leleh baja,

$E_c$  = modulus elastisitas beton,  $E_s$  = modulus elastisitas baja,

$jd$  = lengan dari titik berat dari baja tekan dan beton ke titik berat tulangan tarik,  $n$  = rasio modulus elastisitas.

$\rho$  = rasio tulangan terhadap luas efektif

$$n = \frac{E_s}{E_c}, \quad \rho = \frac{A_s}{b \cdot d}, \quad \rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d}$$

Momen-kelengkungan batas dari penampang bertulangan rangkap dicari dengan persamaan :

$$M_u = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y \cdot (d - d') \dots\dots\dots(3.30)$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_c \cdot \beta_1}{a} \dots\dots\dots(3.31)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f_y}{0,85 f'_c \cdot b} \dots\dots\dots(3.32)$$

Regangan baja tekan yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 dicari dengan persamaan :

$$\epsilon'_s = \epsilon_c \cdot \left( \frac{c - d'}{c} \right) = \epsilon_c \cdot \left( 1 - \frac{\beta_1 \cdot d'}{a} \right) \dots\dots\dots(3.33)$$

Dengan substitusi Persamaan 3.32 ke Persamaan 3.33 menunjukkan bahwa gaya tekan akan leleh ketika :

$$\epsilon_c \cdot \left[ 1 - \beta_1 \cdot d' \cdot \left( \frac{0,85 f'_c \cdot b}{(A_s \cdot f_y) - (A'_s \cdot f_y)} \right) \right] \geq \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(3.34)$$

Jika Persamaan 3.34 tidak memenuhi, baja tekan tidak leleh maka nilai nyata dari tegangan baja dicari dengan Persamaan 3.9 :

$$f'_s = \epsilon'_s \cdot E_s = 0,003 \cdot \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \cdot E_s$$

dengan a (Persamaan 3.8) :

$$(0,85 f'_c \cdot b) \cdot a^2 + (600 \cdot A'_s - A_s \cdot f_y) \cdot a - (600 \cdot 0,85 \cdot d' \cdot A'_s) = 0$$

maka momen batas dapat dicari dengan persamaan :

$$M_u = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \cdot (d - d') \dots\dots\dots(3.35)$$

dan kelengkungan batas  $\phi_u$  dicari dengan Persamaan 3.31.

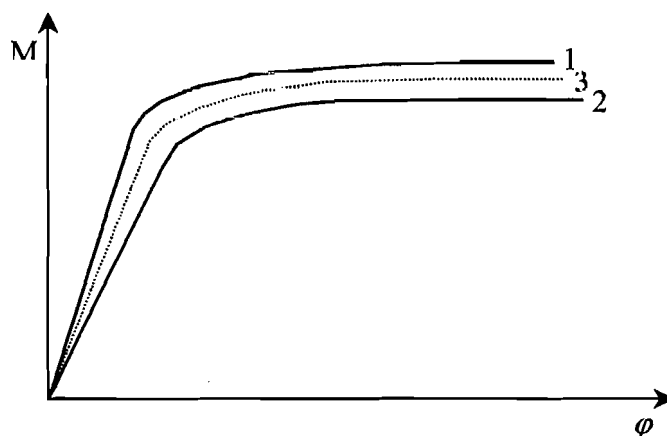
### 3.3.4 Momen-kelengkungan balok beton bertulang pasca bakar

Kebakaran yang terjadi pada balok beton bertulang akan menyebabkan nilai kuat tekan beton ( $f'_c$ ) menurun. Penurunan kuat tekan beton mempengaruhi penurunan nilai modulus elastisitas beton sehingga akan mengakibatkan penurunan momen ( $M$ ) dan kelengkungan ( $\phi$ ) yang semakin besar.

Moore dan Moore (1953) mengemukakan, *gypsum* merupakan bahan yang tahan terhadap panas. Balok beton bertulang yang dilapisi *gypsum* akan meredam panas yang terjadi, sehingga penurunan kuat tekan beton ( $f'_c$ ) dapat diminimalkan maka penurunan momen ( $M$ ) dapat dikurangi.

### 3.4 Hipotesa

Mengacu pada landasan teori tersebut di atas, dapat dibuat suatu hipotesa grafik hubungan momen-kelengkungan seperti terlihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Hubungan momen-kelengkungan balok beton bertulang pasca bakar

Keterangan gambar :

1. Balok beton bertulang tanpa mengalami pembakaran (balok beton bertulang pada suhu ruang).
2. Balok beton bertulang pasca bakar tanpa pelapisan *gypsum* (balok beton bertulang dengan selimut semen pasca bakar).
3. Balok beton bertulang pasca bakar setelah pelapisan *gypsum* mengalami peningkatan kekuatan dan kekakuan mendekati balok beton bertulang pada suhu ruang (balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* pasca bakar).

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam pembuatan sampel penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut :

#### **4.1 Bahan Penyusun Beton**

Perencanaan campuran adukan beton menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*). Sebagai penyusun beton digunakan bahan-bahan antara lain :

##### **4.1.1 Semen**

Dipakai semen portland jenis I merk Gresik. Semen dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan perekat adukan beton (*binder*). Semen jenis ini dipilih karena paling umum digunakan sebagai perekat adukan beton dan tidak memerlukan persyaratan khusus. Penilaian kualitas semen dalam penelitian ini hanya dilakukan dengan pengamatan secara visual terhadap keutuhan kemasan dan kehalusan butirannya.

##### **4.1.2 Agregat**

Dalam penelitian ini digunakan dua macam agregat, yaitu :

###### **a. Agregat halus**

Agregat halus adalah pasir yang diambil dari Kali Boyong, Sleman, Yogyakarta yang berdiameter lolos saringan 4,80 mm. Pasir sebelum digunakan terlebih dahulu dicuci. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang



terkandung di dalam butiran-butiran pasir tersebut. Selain itu dilakukan pula penyelidikan pasir yang bertujuan untuk memperoleh distribusi ukuran butir (gradasi) dan berat volume dalam keadaan jenuh kering muka (SSD).

#### **b. Agregat kasar**

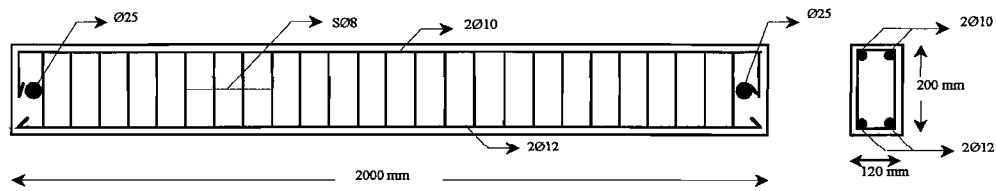
Agregat kasar adalah batuan pecah yang didatangkan dari daerah Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Memperhatikan ukuran penampang model, dipilih batu pecah dengan ukuran butir maksimum 30 mm. Penyelidikan batu pecah bertujuan memperoleh data tentang berat jenis dan berat volume dalam keadaan SSD. Batu pecah sebelum digunakan dicuci dahulu dan fraksi batu-batu pecah dipisahkan menggunakan ayakan.

#### **4.1.3 Air**

Dalam penelitian ini fungsi air terutama adalah untuk membuat campuran adukan beton, rawatan keras (*curing*), mencuci agregat halus dan agregat kasar. Air yang digunakan berdasarkan pengamatan secara visual tampak jernih, tidak berbau, dan tidak berwarna. Air diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

#### **4.1.4 Besi tulangan beton**

Dalam pembuatan sampel penelitian digunakan baja tulangan polos (BJTP)  $\varnothing$  10 mm sebagai tulangan memanjang atas,  $\varnothing$  12 mm sebagai tulangan memanjang bawah, dan  $\varnothing$  8 mm untuk tulangan sengkang, sedangkan jarak sengkang yang dipakai 100 mm. Pengujian tarik baja dilakukan untuk mengetahui kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan yang terpasang pada sampel. Tulangan benda uji ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Tulangan benda uji

#### 4.1.5 Kawat bendrat

Kawat bendrat  $\varnothing 0,8$  mm digunakan untuk merangkai tulangan-tulangan baja yaitu tulangan memanjang dan tulangan melintang.

#### 4.1.6 Kayu lapis

Dalam pembuatan sampel agar didapat ukuran yang tepat dan permukaan yang rata sesuai dengan apa yang telah direncanakan digunakan cetakan dari kayu lapis dengan ketebalan 9 mm.

#### 4.1.7 Bahan pelapis beton (*Gypsum*)

Sampel beton yang telah dicetak kemudian dilapisi dengan menggunakan pasta *gypsum*. Ketebalan lapisan *gypsum* sebesar 10 mm.

### 4.2 Alat yang Digunakan

Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa peralatan yang akan digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian. Adapun alat-alat yang dipergunakan adalah :

#### 4.2.1 Ayakan

Ayakan digunakan untuk mengetahui gradasi pasir dan batu pecah. Sedangkan ukuran yang dipakai untuk memisahkan fraksi-fraksi dalam pasir adalah 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 mm, batu pecah 20; 9,6; 4,8 mm.

#### 4.2.2 Timbangan

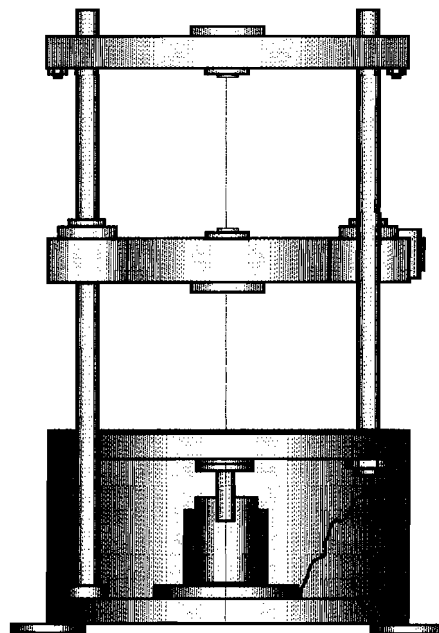
Timbangan merk Fa Gani kapasitas 500 kg digunakan untuk menimbang bahan susun campuran adukan beton (pasir, semen, kerikil). Timbangan halus merk O'house kapasitas 20 kg dan 5 kg untuk menimbang batu pecah dan pasir ketika melakukan uji berat jenis, berat volume, agregat batu pecah dan modulus halus butir pasir.

#### 4.2.3 Mistar dan kaliper

Mistar dari logam digunakan untuk mengukur dimensi cetakan model, sedangkan kaliper untuk mengukur diameter baja tulangan.

#### 4.2.4 Mesin uji kuat tarik

Digunakan untuk mengetahui kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan. Pada penelitian ini digunakan *UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM)* merk *SHIMATSU* type *UMH 30*, kapasitas 30 ton, seperti ditunjukkan Gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Universal Testing Material Shimatzu UMH30*

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

Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat desak silinder beton. Kapasitas mesin uji desak merk *CONTROL* yang dimiliki oleh Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Universitas Islam Indonesia adalah 2000 KN.

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

Agar diperoleh adukan bahan penyusun beton (semen, batu pecah, pasir, dan air) yang homogen digunakan mesin pengaduk beton.

#### **4.2.7 Cetok dan talam baja**

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

#### **4.2.8 Kerucut abrams**

Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan beton, tinggi 300 mm dengan diameter atas 100 mm dan diameter bawah 200 mm, dilengkapi dengan penumbuk besi panjang 600 mm dengan diameter 16 mm.

#### **4.2.9 Cetakan benda uji**

Cetakan benda uji dibuat dari kayu lapis dengan ketebalan 9 mm kemudian pada bagian luar dari cetakan diberi pengaku yang terbuat dari kayu reng ukuran 20x20 mm. Hal ini dimaksudkan agar dalam pembuatan sampel didapat ukuran yang tepat dan permukaan yang rata sesuai dengan apa yang telah direncanakan.

#### **4.2.10 Tungku pembakaran**

Dalam penelitian ini, pembakaran balok uji beton bertulang dilakukan pada tungku pembakaran di Laboratorium Struktur, Teknik Sipil UGM. Tungku

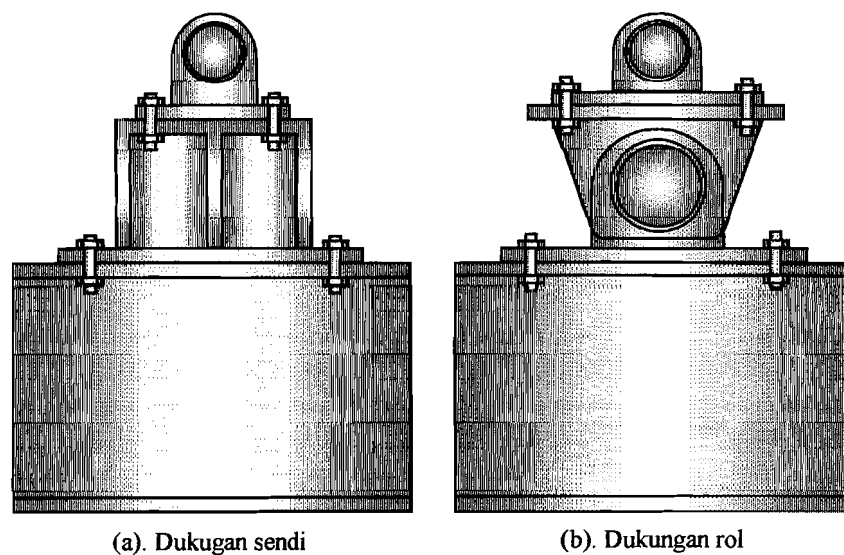
pembakaran ini dapat mencapai suhu  $1200^{\circ}\text{C}$  dan mampu menampung balok uji beton bertulang sebanyak tiga buah setiap kali pembakaran.

#### 4.2.11 Thermokopel

Thermokopel dipakai untuk mengetahui/mengukur besar suhu didalam tungku pembakaran. Pengukuran suhu pada alat ini dapat mencapai  $1600^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.2.12 Dukungan sendi dan rol

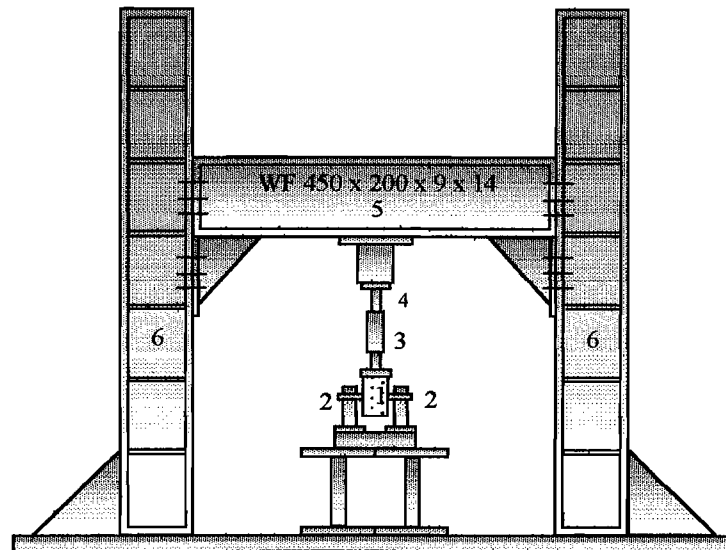
Untuk membuat model balok uji beton bertulang mendekati balok sederhana (*simple beam*), maka pada salah satu ujung model balok uji beton bertulang dipasang dukungan sendi, sedangkan pada ujung yang lain dipasang dukungan rol seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Dukungan sendi dan rol

#### 4.2.13 Loading frame

Untuk keperluan penelitian ini telah dibuat *loading frame* dari bahan baja profil WF 450x200x9x14 mm, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Keterangan :

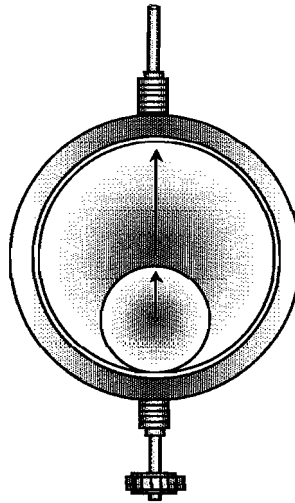
- |                          |                    |
|--------------------------|--------------------|
| 1. Model balok           | 4. <i>Loadcell</i> |
| 2. Dukungan              | 5. Balok portal    |
| 3. <i>Hydraulic jack</i> | 6. Kolom           |

Gambar 4.4 Bentuk fisik *loading frame*

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 kelantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9x14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model benda uji yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut.

#### 4.2.14 *Dial gauge*

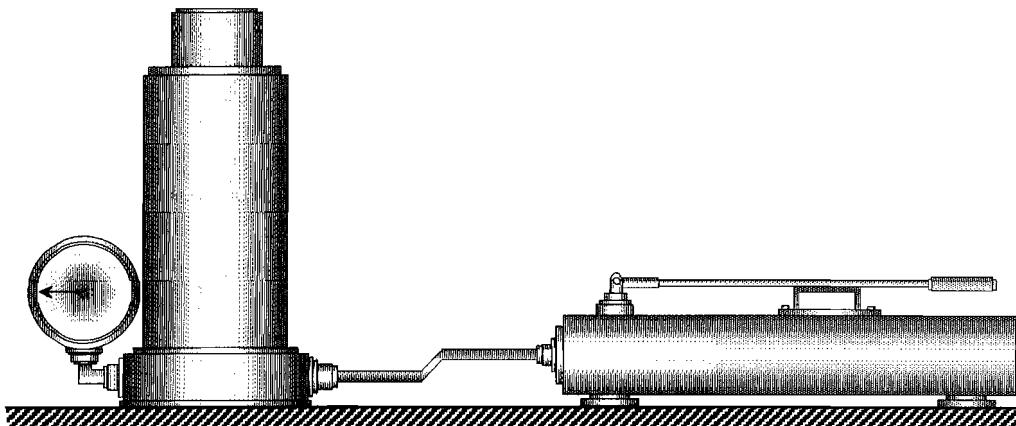
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dengan ketelitian alat 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dengan ketelitian alat 0,01 mm. Bentuk fisik dari *dial gauge* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Dial gauge*

#### 4.2.15 *Hydraulic jack*

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur balok skala penuh. Dalam penelitian ini digunakan *hydraulic jack* dengan kapasitas maksimum yang dimiliki adalah 25 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,5 ton. Bentuk fisik dari *hydraulic jack* dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Hydraulic jack*

### 4.3 Pelaksanaan Penelitian

#### 4.3.1 Persiapan bahan

Pekerjaan persiapan meliputi : uji sifat-sifat teknis bahan susun beton (pasir, agregat dan semen), perancangan adukan beton, uji kuat desak silinder beton, uji kuat tarik baja tulangan, kalibrasi peralatan, *set-up instrument* pengujian dan uji pendahuluan. Sedangkan uji sifat-sifat teknis bahan susun beton dan uji pendahuluan yang perlu dilakukan antara lain :

a. Uji pasir

Uji pasir bertujuan memperoleh berat jenis keadaan SSD dan modulus kehalusan butir. Didapat berat jenis SSD 2,712 dan modulus kehalusan butir 2,36.

b. Uji batu pecah

Uji batu pecah bertujuan mendapatkan berat jenis dan berat volume batu pecah keadaan SSD. Didapat berat jenis SSD 2,6236 dan berat volume SSD 1,547865 ton/m<sup>3</sup>.

c. Perencanaan campuran adukan beton

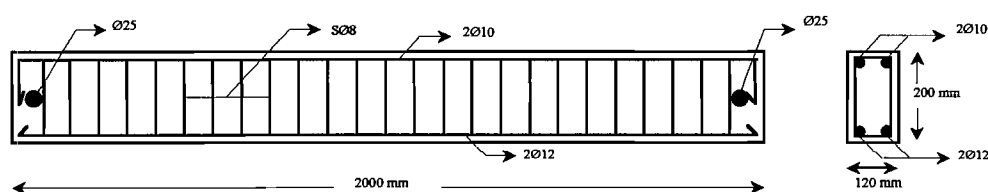
Perencanaan campuran adukan beton yang dipakai menggunakan metoda *American Concrete Institute (ACI)*, hitungannya disajikan dalam lampiran 3. Untuk setiap satu sampel balok beton bertulang (120x200x2000) mm dan dua buah silinder beton (150x300) mm dengan kuat desak rencana 20 Mpa diperlukan bahan penyusun beton sebagai berikut : semen 19,751 kg, pasir 44,005 kg, kerikil 60,812 kg dan air 10,925 lt.



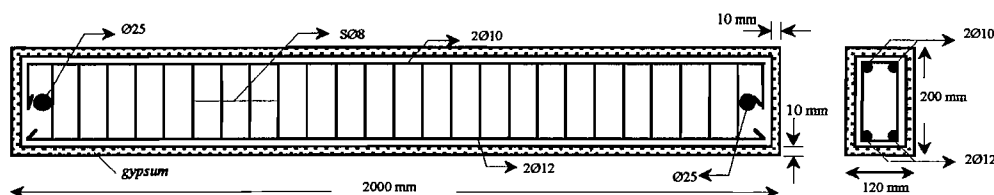
### 4.3.2 Pembuatan sampel

Adapun tahap-tahap pembuatan sampel yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

1. Membuat 6 buah balok beton bertulang dengan selimut semen ukuran (120x200x2000) mm seperti terlihat pada Gambar 4.7 dan 3 buah balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* ukuran (120x200x2000) mm seperti terlihat pada Gambar 4.8. Rawatan keras (*curing*) terhadap balok uji beton bertulang dilaksanakan dengan menyelimuti balok uji beton bertulang dengan karung basah yang disiram air setiap hari. Dengan cara ini diharapkan proses hidrasi semen dapat berlangsung dengan baik. Setelah balok uji beton bertulang berumur 28 hari baru dilakukan penelitian, yaitu : pembakaran dan uji lentur dengan beban statis bertahap (*monotonic*).
2. Dibuat 2 buah silinder beton dari setiap pencetakan balok beton bertulang, dengan tujuan memperoleh kuat desak pada setiap balok beton bertulang.



Gambar 4.7 Model balok beton bertulang dengan selimut semen



Gambar 4.8 Model balok beton bertulang dengan selimut *gypsum*

### 4.3.3 Perawatan

Perawatan balok uji beton bertulang adalah suatu usaha menjaga permukaan beton segar dan selalu lembab, sejak beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras pada umur yang direncanakan. Kelembaban permukaan beton harus dijaga dengan baik untuk menjamin proses hidrasi semen berlangsung dengan sempurna. Bila hal tersebut tidak dilakukan nantinya akan didapatkan beton yang kurang kuat dan timbul retak-retak. Kelembaban permukaan beton juga dimaksudkan agar lebih tahan terhadap cuaca dan lebih kedap air.

Perawatan balok uji beton bertulang dilakukan dengan cara menyelimuti balok beton bertulang dengan karung basah yang disiram air setiap hari selama umur beton yang direncanakan.

### 4.3.4 Pelapisan *gypsum*

Proses pelapisan *gypsum* pada balok uji beton bertulang dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari atau lebih. Tebal selimut *gypsum* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 mm. Adapun beberapa langkah yang dilakukan dalam proses pelapisan ini adalah sebagai berikut :

1. Agar antara balok beton bertulang dengan *gypsum* terjadi ikatan yang baik, terlebih dahulu dilakukan pencampuran *gypsum* dengan alkasit hingga rata.
2. Pembuatan pasta *gypsum* dilakukan dengan mencampurkan adukan *gypsum* dengan alkasit kedalam air sampai mendapatkan kekentalan yang diinginkan.
3. Proses pelapisan pasta *gypsum* pada balok beton bertulang dilakukan selapis demi selapis sampai ketebalan 10 mm.

4. Untuk memperoleh tingkat kekerasan *gypsum* yang diinginkan, balok uji beton bertulang dengan selimut *gypsum* tersebut didiamkan selama 3 hari atau lebih.
5. Setelah selimut *gypsum* pada balok uji beton bertulang mengeras selanjutnya dapat dilakukan proses pembakaran.

#### **4.3.5 Pembakaran sampel**

Dalam penelitian ini pembakaran balok uji beton bertulang dilakukan dengan menggunakan tungku bakar yang bisa mencapai suhu 1200°C.

Penggunaan tungku bakar ini dimaksudkan untuk mendekati kebakaran secara nyata yang terjadi pada kasus di lapangan. Hal tersebut tidak seperti pembakaran dengan menggunakan oven, dimana hanya terjadi perambatan panas. Pendeteksian suhu pada pembakaran ini menggunakan thermokopel dan pengendalian suhu menggunakan kran yang dihubungkan menggunakan selang ke tungku bakar.

Pembakaran sampel dilaksanakan setelah balok beton berumur 28 hari atau lebih. Pembakaran dilakukan dengan suhu 600°C, sampel yang dibakar sebanyak 6 buah dengan rincian 3 buah sampel balok beton bertulang dengan selimut semen dan 3 buah sampel balok beton bertulang dengan selimut *gypsum*. Lama pembakaran adalah 3 jam yang dihitung apabila suhu yang diinginkan telah tercapai. Pembakaran dilakukan di Laboratorium Teknik Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

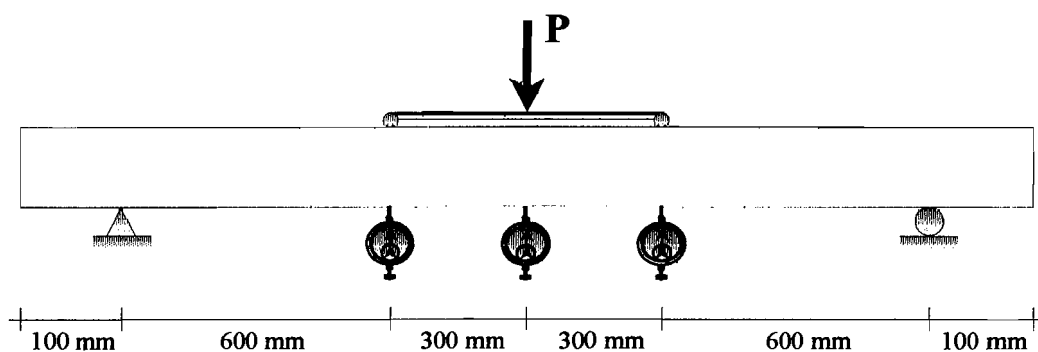
#### **4.3.6 Pengujian sampel**

Pengujian sampel dilaksanakan setelah balok uji beton bertulang berumur 28 hari atau lebih. Hal ini dikarenakan pada umur 28 hari atau lebih kuat tekan

beton cenderung stabil, sehingga pengujian balok beton bertulang dapat dilakukan setelah balok uji beton bertulang mengalami perawatan selama 28 hari atau lebih.

Adapun tahap-tahap pengujian sampel yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Menguji kuat tekan beton dengan cara uji desak silinder beton.
- b. Menguji kuat tarik baja tulangan yang dipakai pada model balok uji beton bertulang, dengan tujuan untuk mengetahui kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan.
- c. Pengujian balok beton bertulang dengan beban statis 2 titik secara bertahap (monotoric), bertujuan untuk memperoleh kerusakan sampel, dikerjakan bertahap dari nol sampai terjadi retak pertama dengan penambahan beban 200 kg. Besarnya lendutan yang terjadi pada balok beton bertulang dapat diketahui dengan menggunakan alat *dial gauge* seperti terlihat pada Gambar 4.9. Pencatatan hasil pengujian yang berupa lendutan balok dilakukan setiap penambahan beban.



Gambar 4.9 Metode pembebanan

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh data primer berupa kuat desak silinder beton, kuat tarik baja tulangan, beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang dan balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar. Data tersebut dianalisa untuk memperoleh grafik hubungan beban-lendutan dan momen-kelengkungan.

##### 5.1.1 Hasil uji kuat desak beton

Kekuatan desak beton rencana tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat serta kualitas perawatannya. Kuat desak beton diketahui dari uji desak 18 silinder beton ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian dilakukan setelah silinder beton berumur 28 hari. Kuat desak beton yang disyaratkan pada umur 28 hari adalah 20 Mpa. Dari hasil uji desak silinder beton diperoleh kuat desak 23 Mpa, sehingga memenuhi kuat desak beton rencana yang disyaratkan.

Uji kuat desak 18 buah silinder beton bertujuan mengetahui kuat desak beton pada model, hasil uji desak silinder beton disajikan pada lampiran 2, sedangkan rangkuman hasil uji kuat desak sebagai berikut :

$$\text{Kuat desak rata-rata } (f'_{cr}) = 29,8354 \text{ Mpa}$$

$$\text{Standar deviasi } (s) = 4 \text{ Mpa}$$

Jika penyimpangan maksimum 5%, kuat desak karakteristik silinder beton dihitung dengan persamaan :

$$f'_c = f'_{cr} - 1,64.s \dots\dots\dots(5.1)$$

diperoleh  $f'_c = 29,8354 - 1,64.(4) = 23,2754$  Mpa

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton pada model adalah 23 Mpa.

### 5.1.2 Hasil uji kuat tarik baja tulangan

Untuk mengetahui kualitas baja tulangan yang terpasang dalam model balok beton bertulang, dilakukan uji tarik baja tulangan, hasilnya ditunjukkan pada lampiran 2, rangkuman hasil uji kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Uji Tarik Baja Tulangan

diameter (mm)	kuat leleh (Mpa)	kuat tarik (Mpa)
8	297,927	431,320
10	276,119	458,998
12	319,399	450,267

### 5.1.3 Hasil pembakaran balok uji beton bertulang

Untuk memperoleh kerusakan balok uji beton bertulang yang diakibatkan oleh kebakaran, dilakukan pembakaran terhadap balok uji beton bertulang. Pembakaran dilakukan dengan suhu 600°C dan dibakar selama 3 jam. Setelah pembakaran, balok uji beton bertulang disiram dengan air agar mendekati keadaan sesungguhnya di lapangan. Kemudian dilakukan pengamatan visual untuk mengetahui perubahan fisik yang ditandai dengan adanya perubahan warna dan retak-retak yang terjadi pada balok uji beton bertulang, hasil pengamatan visual disajikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Pengamatan Visual Balok Beton Bertulang Pasca Bakar

Kode	Suhu	Waktu	Hasil Pengamatan
Balok IV Balok V Balok VI	600°C	3 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warna beton sebagian kemerah-merahan</li> <li>• Banyak timbul retak-retak rambut</li> </ul>
Balok VII Balok VIII Balok IX	600°C	3 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warna putih kekuning-kuningan pada <i>gypsum</i> tampak jelas</li> <li>• Retak-retak rambut yang terjadi lebih sedikit</li> </ul>

#### 5.1.4 Hasil uji lentur balok beton bertulang

##### 5.1.4.1 Hubungan beban dan lendutan

Setelah dilakukan pembakaran terhadap balok uji beton bertulang, selanjutnya dilaksanakan uji kuat lentur terhadap balok uji beton bertulang. Pelaksanaan uji kuat lentur dilakukan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Pada pengujian kuat lentur ini, setiap balok beton bertulang diberikan pembebanan pada dua titik. Secara bertahap balok beton bertulang diberi beban dengan kenaikan sebesar 200 kg (0,2 ton), kemudian pada setiap tahap pembebanan, lendutan yang terjadi dicatat dan hasilnya disajikan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pada Suhu Ruang

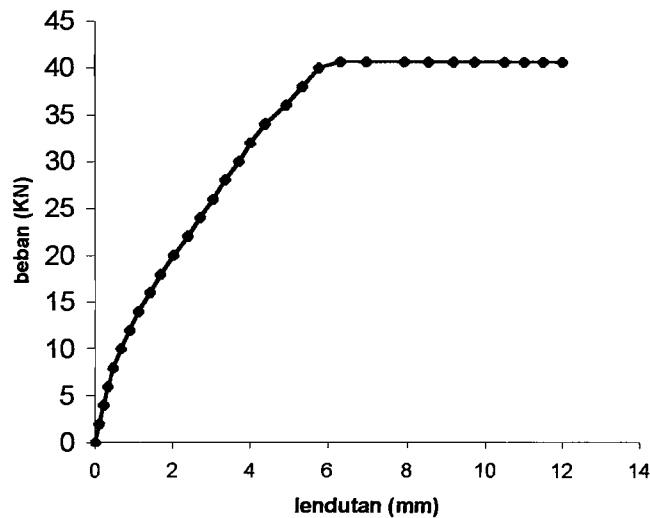
Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	2	3	4
0	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0817	0.1107	0.0817
4	0.1873	0.2193	0.1873

Lanjutan Tabel 5.3.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
6	0.2930	0.3353	0.2930
8	0.4127	0.4827	0.4127
10	0.5873	0.6840	0.5873
12	0.7993	0.9273	0.7993
14	1.0130	1.2117	1.0130
16	1.2507	1.4817	1.2507
18	1.5417	1.8007	1.5417
20	1.7993	2.0797	1.7993
22	2.0950	2.3993	2.0950
24	2.3760	2.7017	2.3760
26	2.6807	3.0550	2.6807
28	2.9637	3.3530	2.9637
30	3.2563	3.7037	3.2563
32	3.4960	4.0150	3.4960
34	3.8047	4.3927	3.8047
36	4.1340	4.9160	4.1340
38	4.4597	5.3217	4.4597
40	4.8940	5.7717	4.8940
40.6667	5.2747	6.3140	5.2747
40.6667	5.7130	6.9650	5.7130
40.6667	6.3413	7.9260	6.3413
40.6667	6.8363	8.5450	6.8363
40.6667	7.3073	9.1727	7.3073
40.6667	7.8083	9.7117	7.8083
40.6667	8.2317	10.4937	8.2317
40.6667	8.6017	10.9963	8.6017
40.6667	9.0083	11.4893	9.0083
40.6667	9.3893	11.9883	9.3893

Grafik hubungan beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang ditunjukkan pada Gambar 5.1.



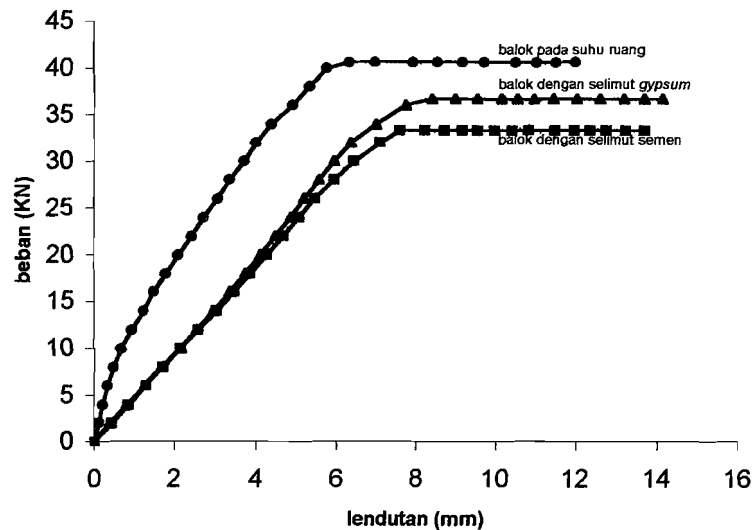


Gambar 5.1 Grafik beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang

Hubungan beban dan lendutan balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  ditunjukkan pada lampiran 5. Dari data tersebut dibuat grafik hubungan momen dan kelengkungan.

#### 5.1.4.2 Grafik beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu $600^{\circ}\text{C}$

Grafik beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$  ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik hubungan beban dan lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$

#### 5.1.4.3 Analisa data hubungan beban dan lendutan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban dan lendutan pada Gambar 5.2 dapat disimpulkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Analisa Data

SAMPEL	P(leleh) (KN)	P(leleh) (%)	Lendutan ( $\Delta$ ) (mm)	Kekakuan ( $\Phi$ )	Kekakuan (%)
Balok Pada Suhu Ruang	40,667	100,000	6,314	6,441	100,000
$600^{\circ}\text{C}$ Selimut Semen	33,333	81,966	8,202	4,064	63,096
$600^{\circ}\text{C}$ Selimut <i>Gypsum</i>	36,667	90,164	7,958	4,608	71,542

Dari data Tabel 5.4 dapat diteliti pengaruh suhu terhadap kuat lentur balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$  dalam menahan beban, serta perilaku lendutan yang terjadi pada balok beton bertulang.

## 5.1.5 Hubungan momen dan kelengkungan

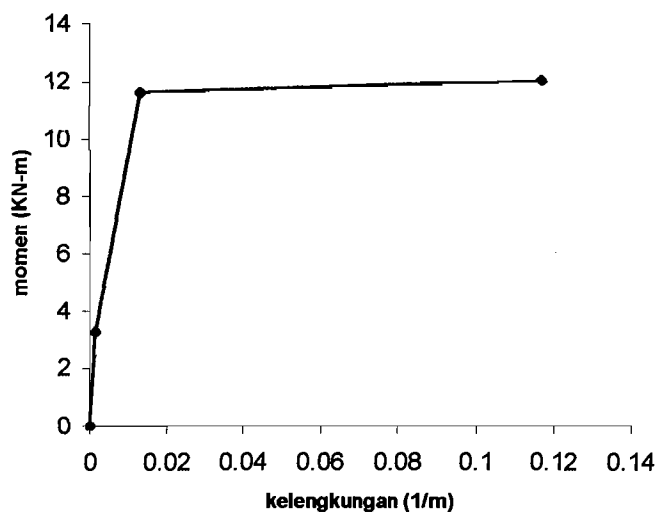
### 5.1.5.1 Momen dan kelengkungan teoritis

Mengacu pada tulisan Park dan Paulay (1975), nilai momen dan kelengkungan dapat dicari dengan perhitungan teoritis. Perhitungan momen dan kelengkungan teoritis disajikan pada lampiran 4, sedangkan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan kurva trilinearnya pada Gambar 5.3.

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Momen dan Kelengkungan Teoritis

Keadaan	Momen (kNm)	Kelengkungan (1/m)
Retak ( $C_r$ )	3,2130	$1,46575E^{-3}$
Leleh ( $y$ )	11,6112	$12,9873E^{-3}$
Ultimit ( $u$ )	12,0246	$116,643E^{-3}$

Dari data perhitungan momen dan kelengkungan dapat digambarkan grafik trilinear seperti ditunjukkan pada Gambar 5.3 yang dijadikan sebagai pembanding dengan grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang.



Gambar 5.3 Grafik momen dan kelengkungan trilinear teoritis

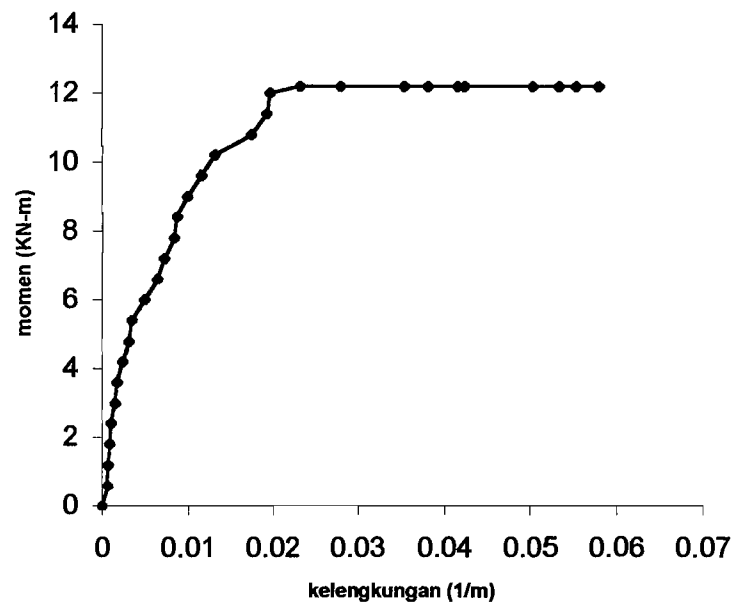
### 5.1.5.2 Grafik momen-kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang

Dari hasil data penelitian didapat grafik P- $\Delta$ , sehingga dapat dicari momen dan kelengkungan untuk balok beton bertulang pada suhu ruang. Sedangkan grafik hubungan M- $\phi$  dapat digunakan untuk mencari faktor kekakuan.

Tabel 5.6 Hubungan Momen dan Kelengkungan Balok Beton Bertulang Pada Suhu Ruang

Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (kN-m)	Kelengkungan (1/m)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.00000
2	0.0817	0.1107	0.0817	0.6	0.00064
4	0.1873	0.2193	0.1873	1.2	0.00071
6	0.2930	0.3353	0.2930	1.8	0.00094
8	0.4127	0.4827	0.4127	2.4	0.00155
10	0.5873	0.6840	0.5873	3.0	0.00214
12	0.7993	0.9273	0.7993	3.6	0.00284
14	1.0130	1.2117	1.0130	4.2	0.00441
16	1.2507	1.4817	1.2507	4.8	0.00513
18	1.5417	1.8007	1.5417	5.4	0.00575
20	1.7993	2.0797	1.7993	6.0	0.00622
22	2.0950	2.3993	2.0950	6.6	0.00676
24	2.3760	2.7017	2.3760	7.2	0.00723
26	2.6807	3.0550	2.6807	7.8	0.00831
28	2.9637	3.3530	2.9637	8.4	0.00865
30	3.2563	3.7037	3.2563	9.0	0.00994
32	3.4960	4.0150	3.4960	9.6	0.01153
34	3.8047	4.3927	3.8047	10.2	0.01306
36	4.1340	4.9160	4.1340	10.8	0.01737
38	4.4597	5.3217	4.4597	11.4	0.01915
40	4.8940	5.7717	4.8940	12.0	0.01950
40.6667	5.2747	6.3140	5.2747	12.2	0.02309
40.6667	5.7130	6.9650	5.7130	12.2	0.02782
40.6667	6.3413	7.9260	6.3413	12.2	0.03521
40.6667	6.8363	8.5450	6.8363	12.2	0.03797
40.6667	7.3073	9.1727	7.3073	12.2	0.04145
40.6667	7.8083	9.7117	7.8083	12.2	0.04229
40.6667	8.2317	10.4937	8.2317	12.2	0.05026
40.6667	8.6017	10.9963	8.6017	12.2	0.05321
40.6667	9.0083	11.4893	9.0083	12.2	0.05513
40.6667	9.3893	11.9883	9.3893	12.2	0.05775

Berdasarkan Tabel 5.6 dapat digambarkan grafik hubungan momen dan kelengkungan, sedangkan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.4 yang merupakan Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang.

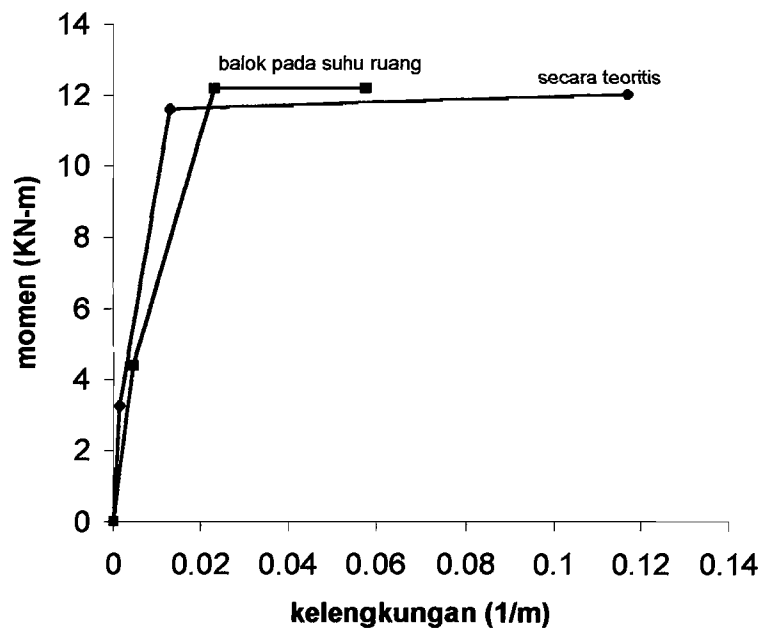


Gambar 5.4 Grafik momen-kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang

Hubungan momen dan kelengkungan balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$  ditunjukkan pada lampiran 5.

### 5.1.5.3 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dengan momen dan kelengkungan secara teoritis

Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dengan momen dan kelengkungan secara teoritis ditunjukkan pada Gambar 5.5.

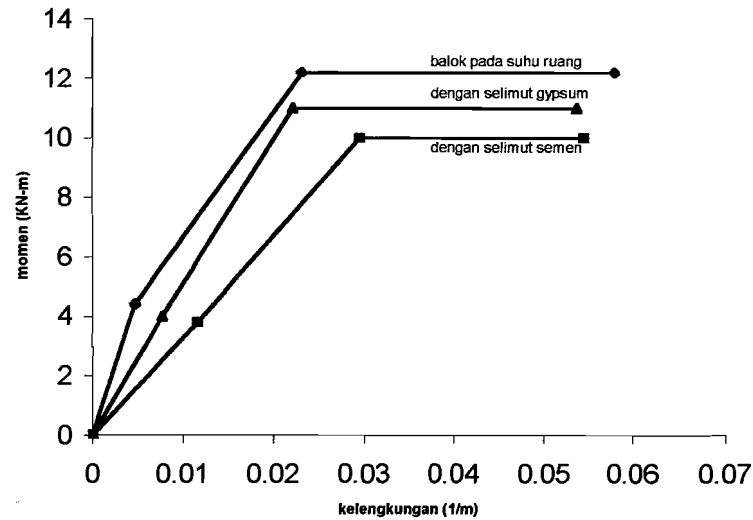


Gambar 5.5 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dan secara teoritis

#### 5.1.5.4 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu 600°C

Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu 600°C ditunjukkan pada Gambar 5.6.





Gambar 5.6 Grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang, balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu 600°C

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Pengaruh waktu terhadap kuat tekan beton

Pelaksanaan penelitian dan pembakaran sampel balok beton bertulang dilakukan setelah semua sampel balok beton bertulang mencapai umur 28 hari atau lebih. Hal ini dikarenakan semakin bertambah umur beton, maka kuat tekan akan bertambah pula, akan tetapi setelah umur 28 hari kenaikan kuat tekan beton tidak terlalu besar.

Pada balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* pasca bakar, pembakaran dilakukan setelah umur 28 hari. Sebelum dilakukan pembakaran, balok beton bertulang terlebih dahulu diselimuti *gypsum*, hal ini telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Selanjutnya setelah pembakaran, dapat dilakukan pengujian kuat lentur balok beton bertulang.

### 5.2.2 Kuat lentur sisa ditinjau dari hubungan beban dan lendutan

Dari penelitian didapat hubungan beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ). Nilai kekakuan didapat dari  $P/\Delta$ , kekakuan pada balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$  secara umum mempunyai perilaku kekakuan yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik beban-lendutan yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium. Pola grafik beban-lendutan tersebut sesuai dengan teori yang diharapkan.

Pada perbandingan grafik beban-lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang dengan grafik beban-lendutan balok beton bertulang selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$ , grafik beban-lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang dianggap mempunyai kuat lentur dan kelengkungan 100%. Sedangkan grafik beban-lendutan balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$  dibandingkan dengan grafik beban-lendutan balok beton bertulang pada suhu ruang dapat diketahui besarnya kuat lentur dan nilai kekakuan dalam persen (%). Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan kuat lentur dan nilai kekakuan dari balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar suhu  $600^{\circ}\text{C}$ .

Balok uji beton bertulang dengan selimut semen pasca bakar pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam mengalami penurunan kuat lentur sebesar 18,034% atau mempunyai kuat lentur sebesar 81,966%. Dan mengalami penurunan kekakuan 36,904% dari kekakuan balok beton bertulang pada suhu ruang.



Balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* pasca bakar pada suhu 600°C selama 3 jam mengalami penurunan kuat lentur sebesar 9,836% atau memiliki kuat lentur sebesar 90,164% dari kuat lentur balok beton bertulang pada suhu ruang dan kekakuan mengalami penurunan sebesar 28,458% atau memiliki kekakuan sebesar 71,542% dari kekakuan balok beton bertulang pada suhu ruang.

Hal tersebut membuktikan bahwa balok beton bertulang akan mengalami penurunan kuat lentur apabila terbakar, tetapi dengan adanya lapisan selimut *gypsum* pada balok beton bertulang yang terbakar, maka besarnya penurunan kuat lentur yang terjadi dapat dikurangi, bahkan bisa mendekati kuat lentur balok beton bertulang pada suhu ruang.

### **5.2.3 Degradasi momen dan faktor kekakuan ditinjau dari grafik momen dan kelengkungan**

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

Pada perbandingan grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dengan grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pasca bakar, pada grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang dianggap mempunyai faktor kekakuan 100%. Sedangkan grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pasca bakar dibandingkan dengan grafik momen dan kelengkungan balok beton bertulang pada suhu ruang

dapat diketahui besarnya faktor kekakuan dalam (%) seperti disajikan dalam Tabel 5.7

Tabel 5.7 Hasil Analisa

SAMPEL	M (kN-m)	$\phi$ ( $m^{-1}$ )	EI (kN-m <sup>2</sup> )	M (%)	EI (%)
Balok Pada Suhu Ruang	12,200	0,023096	528,2299	100,00	100,00
600°C Selimut Semen	10,000	0,029467	339,3627	81,967	64,245
600°C Selimut <i>Gypsum</i>	11,000	0,022074	498,3238	90,164	94,338

Dari Tabel 5.7 dapat dilihat terjadinya penurunan momen dan faktor kekakuan yang terjadi sebesar :

Balok beton bertulang dengan selimut semen pasca bakar suhu 600°C, balok uji mengalami penurunan momen sebesar 18,033% dan penurunan kekakuan sebesar 35,755% terhadap balok beton bertulang pada suhu ruang. Balok beton bertulang dengan selimut *gypsum* pasca bakar suhu 600°C, balok uji mengalami penurunan momen sebesar 9,836% dan mengalami penurunan kekakuan sebesar 5,662% terhadap balok beton bertulang pada suhu ruang. Penurunan kuat lentur akibat kebakaran ini disebabkan karena menurunnya mutu beton ( $f'_c$ ) dan bertambahnya tinggi blok tegangan ( $a$ ). Dengan bertambahnya tinggi blok tegangan ( $a$ ) ini, maka lengan momen menjadi berkurang sehingga momen nominal yang dihasilkan mengalami penurunan. Hal ini sesuai yang dikemukakan oleh Neville (1975) bahwa, beton menunjukkan kenaikan kuat desak pada temperatur 200<sup>0</sup>-300<sup>0</sup>C, tetapi diatas 400<sup>0</sup>C kuat desak hanya mencapai 90% dari kuat desak normal dan maksimum 40% pada suhu 700<sup>0</sup>C.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 KESIMPULAN

Dari penelitian balok uji dapat diambil kesimpulan mengenai perilaku balok beton bertulang dengan selimut semen dan selimut *gypsum* pasca bakar pada suhu 600°C selama 3 jam sebagai berikut :

1. Balok beton bertulang (120x200x2000 mm) dengan selimut semen (tebal 20 mm) pasca bakar pada suhu 600°C selama 3 jam mengalami penurunan kuat lentur 18,034%.
2. Balok beton bertulang (120x200x2000 mm) dengan selimut *gypsum* (tebal 10 mm) pasca bakar pada suhu 600°C selama 3 jam mengalami penurunan kuat lentur yang lebih kecil dibandingkan balok beton bertulang dengan selimut semen pasca bakar pada suhu 600°C selama 3 jam, dimana penurunan kuat lentur yang terjadi sebesar 9,836%.
3. Pada balok beton bertulang (120x200x2000 mm) dengan selimut semen (tebal 20 mm) pasca bakar dengan suhu 600°C selama 3 jam mengalami penurunan momen sebesar 18,033% dan penurunan kekakuan sebesar 35,755%. Pada balok beton bertulang (120x200x2000 mm) dengan selimut *gypsum* (tebal 10 mm) pasca bakar, balok uji mengalami penurunan momen sebesar 9,836% dan mengalami penurunan kekakuan sebesar 5,662%.

## 6.2 SARAN

Untuk memperoleh gambaran yang lebih luas tentang kuat lentur balok beton bertulang pasca bakar, dikemukakan saran sebagai berikut ;

1. Dalam penelitian ini pokok permasalahan hanya tertuju pada struktur balok, sehingga masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk jenis struktur lainnya seperti : kolom.
2. Pada saat pembakaran berlangsung balok beton bertulang di beri beban sehingga mendekati keadaan di lapangan.
3. Penelitian ini hanya menggunakan data lendutan balok, sehingga belum dapat diketahui diagram tegangan dan regangan yang terjadi pada balok beton bertulang pasca bakar. Pada penelitian yang akan datang, hendaknya dipasang *strain gauge* pada balok beton bertulang untuk mengetahui distribusi tegangan dan regangan yang terjadi.
4. Untuk memperoleh struktur beton bertulang pasca kebakaran dapat pula dengan memakai bahan tahan api lain, misalnya asbes.

**DAFTAR PUSTAKA**

Adang Surahman, 1998, **STUDI KASUS LAPANGAN**, Laboratorium Mekanika Struktur ITB, Bandung.

A. M. Neville, 1975, **PROPERTIES OF CONCRETE**, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.

E.P. Popov, 1995, **MEKANIKA TEKNIK**, Diterjemahkan oleh Zainul Astamar, Erlangga, Jakarta.

Herbert F. Moore, Mark B. Moore, 1953, **TEXT BOOK OF THE MATERIALS OF ENGINEERING**, McGraw-Hill Book Company, Inc, New York.

Istimawan Dipohusodo, 1996, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, PT Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.

Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996, **TEKNOLOGI BETON**, Nafiri, Yogyakarta.

L.J. Murdock, K.M. Brook, 1999, **BAHAN DAN PRAKTEK BETON**, Erlangga, Jakarta.

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

M. Winanto, Indah S, 1999, **REKAYASA BAHAN GALIAN INDUSTRI**, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, UPN, Yogyakarta.

Park R., Paulay, 1975, **REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**, John Wiley & Sons, Inc.

Steven C. Chapra, R. P. Canale, 1989, **NUMERICAL METHODS FOR ENGINEERS**, McGraw-Hill Book Company, Singapore.

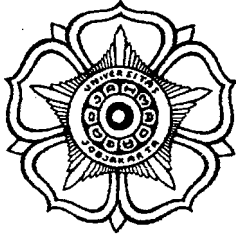
Tonny P., Sri Palupi L., 2000, TA, **KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG PASCA BAKAR DENGAN PERBAIKAN PASTA SEMEN**, FTSP UII, Yogyakarta.

Torben C. Hansen, 1970, **TEXT BOOK ON CONCRETE TECHNOLOGY**, Ministry of Industry in cooperation with Ministry of Public Work and Electric Power, Bandung.

W. H. Mosley, J.H. Bungey, 1989, **PERENCANAAN BETON BERTULANG**, Erlangga, Jakarta.

Winter G., Nilson A.H., 1993, **PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG**, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

LAMPPIRAN 1



## LABORATORIUM TEKNIK STRUKTUR

**Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Gadjah Mada**

Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta Ph. 0274 - 546541, 902293, Fax. :  
0274-545676

Nomor : 040/LTS/IX/2001

### SURAT KETERANGAN UNTUK YUDISIUM

Nama : Bambang Purwadi  
 Nomor Mahasiswa : 96.310.181  
 Jurusan : Teknik Sipil  
 Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan  
 Universitas : Universitas Islam Indonesia Yogyakarta  
 Jenjang Studi : S1-Reguler  
 Dosen Pembimbing : Ir. Fatkhurrohman,MT.

Telah selesai melakukan Penelitian di laboratorium Teknik Struktur JTS FT-UGM dalam rangka Tugas Akhir dengan judul :

*“ Kuat Lentur Pasca Bakar Balok dengan Selimut Gypsum “*

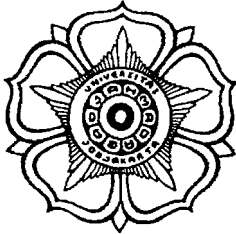
Tidak mempunyai tanggungan berupa : Pinjam alat-alat dan sejenisnya pada Laboratorium Teknik Struktur JTS FT-UGM.

Yogyakarta,



Ir. H. Morisco, Ph.D.





## LABORATORIUM TEKNIK STRUKTUR

### Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta Ph. 0274 - 546541, 902293, Fax. :  
0274-545676

Nomor : 041/LTS/IX/2001

### SURAT KETERANGAN UNTUK YUDISIUM

Nama : Ruswitri Juliardi  
 Nomor Mahasiswa : 96.310.193  
 Jurusan : Teknik Sipil  
 Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan  
 Universitas : Universitas Islam Indonesia Yogyakarta  
 Jenjang Studi : S1-Reguler  
 Dosen Pembimbing : Ir. Fatkhurrohman,MT.

Telah selesai melakukan Penelitian di laboratorium Teknik Struktur JTS FT-UGM dalam rangka Tugas Akhir dengan judul :

*" Kuat Lentur Pasca Bakar Balok dengan Selimut Gypsum "*

Tidak mempunyai tanggungan berupa : Pinjam alat-alat dan sejenisnya pada Laboratorium Teknik Struktur JTS FT-UGM.

Yogyakarta,

Kepala,



Ir. H. Morisco, Ph.D.

# LAMPPIRAN 2



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**DATA PEMERIKSAAN  
BERAT JENIS AGREGAT HALUS**

Jenis Benda Uji : Agregat  
Nama Benda Uji : Pasir  
Asal : Kali Boyong  
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Diperiksa Oleh :  
1. B. Purwadi 96 310 181  
2. R. Juliardi 96 310 193

Tanggal : 3 Juli 2001

**ALAT-ALAT :**

1. Gelas ukur kapasitas 1000 ml
2. Timbangan ketelitian 0,01 gram
3. Piring, sendok, lap, dan lain-lain

	<b>BENDA UJI I</b>	<b>BENDA UJI II</b>
Berat agregat (W)	400 gram	400 gram
Volume air ( $V_1$ )	400 cc	400 cc
Volume air + agregat ( $V_2$ )	545 cc	550 cc
Berat Jenis (BJ) $BJ = \frac{W}{V_2 - V_1}$	2,758	2,666
Berat Jenis (BJ) rata-rata	2,712	

Yogyakarta, Juli 2001

Mengetahui :  
Laboratorium BKT FTSP UII

LABORATORIUM  
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK UII  
(Samartha)



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**DATA PEMERIKSAAN  
MODULUS HALUS BUTIR PASIR**

Jenis Benda Uji : Agregat  
Nama Benda Uji : Pasir  
Asal : Kali Boyong  
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Diperiksa Oleh :  
1. B. Purwadi 96 310 181  
2. R. Juliardi 96 310 193

Tanggal : 4 Juli 2001

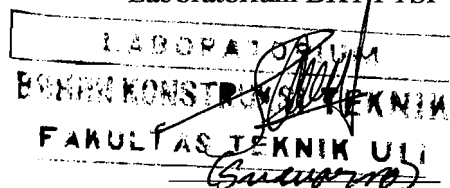
Saringan	Berat tertinggal (gram)		Berat tertinggal (%)		Berat kumulatif	
	I	II	I	II	I	II
Ø lubang (mm)						
4,75	8,0000	21,50	0,5330	1,4330	0,5330	1,4330
2,36	88,250	138,5	5,8330	9,2330	6,4160	10,666
1,18	286,75	279,5	19,117	18,633	25,533	29,299
0,60	436,50	399,5	29,100	26,633	54,633	55,932
0,30	341,50	322,5	22,767	21,500	77,400	77,432
0,15	222,00	219,0	14,800	14,600	92,200	92,032
Pan	117,00	119,5	7,8000	7,9670	-----	-----
			<b>Jumlah</b>		256,715	266,794

MODULUS HALUS BUTIR (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{256,715 + 266,794}{100} - 2,6176$$

Yogyakarta, Juli 2001

Mengetahui :  
Laboratorium BKT/FTSP UII





**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**DATA PEMERIKSAAN  
BERAT JENIS AGREGAT KASAR**

Jenis Benda Uji : Agregat  
Nama Benda Uji : Kerikil  
Asal : Clereng  
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Diperiksa Oleh :  
1. B. Purwadi 96 310 181  
2. R. Juliardi 96 310 193

Tanggal : 3 Juli 2001

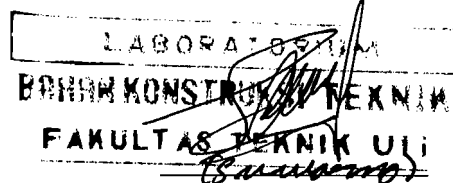
**ALAT-ALAT :**

1. Gelas ukur kapasitas 1000 ml
2. Timbangan ketelitian 0,01 gram
3. Piring, sendok, lap, dan lain-lain

	<b>BENDA UJI I</b>	<b>BENDA UJI II</b>
Berat agregat (W)	400 gram	400 gram
Volume air (V <sub>1</sub> )	400 cc	400 cc
Volume air + agregat (V <sub>2</sub> )	555 cc	550 cc
Berat Jenis (BJ) $BJ = \frac{W}{V_2 - V_1}$	2,5806	2,6666
Berat Jenis (BJ) rata-rata	2,6236	

Yogyakarta, Juli 2001

Mengetahui :  
Laboratorium BKT FTSP UII





**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**DATA PEMERIKSAAN  
BERAT VOLUME AGREGAT KASAR "SSD"**

Jenis Benda Uji : Agregat  
Nama Benda Uji : Kerikil  
Asal : Clereng  
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Diperiksa Oleh :  
1. B. Purwadi 96 310 181  
2. R. Juliardi 96 310 193

Tanggal : 3 Juli 2001

**ALAT-ALAT :**

1. Tabung silinder ( $\varnothing 15 \times t 30$ ) cm
2. Timbangan kapasitas 20 kg
3. Tongkat penumbuk  $\varnothing 16$  panjang 60 cm
4. Serok/sekop, lap, dan lain-lain

	<b>BENDA UJI I</b>	<b>BENDA UJI II</b>
Berat tabung ( $W_1$ )	5,4335 kg	5,431 kg
Berat tabung + agregat ( $W_2$ )	13,719 kg	13,557 kg
Volume tabung = $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t$ (V)	$5,3014 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$	$5,3014 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
Berat Volume (BV) $BV = \frac{W_2 - W_1}{V}$	$1,56288 \text{ t/m}^3$	$1,53285 \text{ t/m}^3$
Berat Volume rata-rata	$1,547865 \text{ t/m}^3$	

Yogyakarta, Juli 2001

Mengetahui :  
Laboratorium BKT FTSP UII

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

# LAMPPIRAN 3



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**A**

**HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA  
(Ø 8 mm)**

Tanggal pengujian: Juli 2001

**I. BENDA UJI :**

1. Baja jenis tulangan, panjang keseluruhan = 50 cm
2. Panjang di bidang uji (bagian kecil) = 15 cm
3. Diameter bidang uji (do) = 0,61 cm
4. Luas tampang awal (Ao) =        cm
5. Panjang ukur awal (Lo) = 5,64  $\sqrt{Ao}$  =        cm

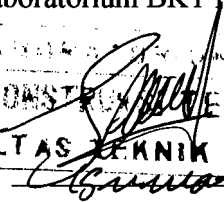
**II. ALAT-ALAT :**

1. Kaliper
2. Strainometer
3. Jangka
4. Penggaris
5. Stop watch

**III. HASIL PERCOBAAN**

1. Beban leleh atas (LA) = 875 kg, pembacaan strainometer    x 10<sup>-2</sup> mm,  
waktu = 1,50 menit  
Beban leleh bawah (LB) = 900 kg, pembacaan strainometer    x 10<sup>-2</sup> mm,  
waktu = 4,05 menit
2. Beban maksimum = 1282 kg
3. Beban patah = 730 kg
4. Waktu patah = 13,25 menit
5. Jenis patah

Mengetahui :  
Laboratorium BKT FTSP UII

  
BANDAR KONS...  
FAKULTAS TEKNIK UII







**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**A**

**HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA  
(Ø 8 mm)**

Tanggal pengujian: Juli 2001

**I. BENDA UJI :**

6. Baja jenis tulangan, panjang keseluruhan = 50 cm
7. Panjang di bidang uji (bagian kecil) = 15 cm
8. Diameter bidang uji (do) = 0,62 cm
9. Luasampang awal (Ao) = cm
10. Panjang ukur awal (Lo) =  $5,64 \sqrt{Ao}$  = cm

**II. ALAT-ALAT :**

6. Kaliper
7. Strainometer
8. Jangka
9. Penggaris
10. Stop watch

**III. HASIL PERCOBAAN**

1. Beban leleh atas (LA) = 895 kg, pembacaan strainometer x  $10^{-2}$  mm,  
waktu = 1,13 menit  
Beban leleh bawah (LB) = 920 kg, pembacaan strainometer x  $10^{-2}$  mm,  
waktu = 3,35 menit
2. Beban maksimum = 1280 kg
3. Beban patah = 1020 kg
4. Waktu patah = 13,02 menit
5. Jenis patah

Mengetahui :

Laboratorium BK/ FTSP UII

**LABORATORIUM  
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK UII**  
*(Signature)*





**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**A**

**HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA  
(Ø 10 mm)**

Tanggal pengujian: Juli 2001

**I. BENDA UJI :**

1. Baja jenis tulangan, panjang keseluruhan = 50 cm
2. Panjang di bidang uji (bagian kecil) = 15 cm
3. Diameter bidang uji (do) = 0,72 cm
4. Luasampang awal (Ao) =        cm
5. Panjang ukur awal (Lo) =  $5,64 \sqrt{Ao}$  =        cm

**II. ALAT-ALAT :**

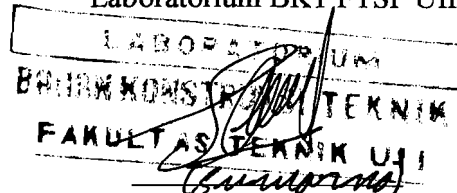
1. Kaliper
2. Strainometer
3. Jangka
4. Penggaris
5. Stop watch

**III. HASIL PERCOBAAN**

1. Beban leleh atas (LA) = 1120 kg, pembacaan strainometer    x  $10^{-2}$  mm,  
waktu = 2,30 menit  
Beban leleh bawah (LB) = 1165 kg, pembacaan strainometer    x  $10^{-2}$  mm,  
waktu = 5,10 menit
2. Beban maksimum = 1865 kg
3. Beban patah = 1385 kg
4. Waktu patah = 16,45 menit
5. Jenis patah

Mengetahui :

Laboratorium BKT FTSP UII





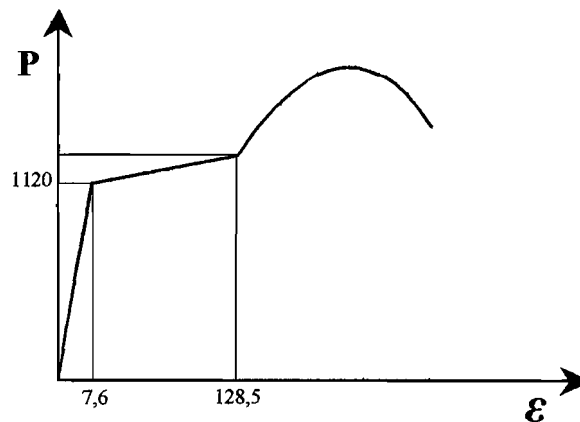
**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**B**

**HASIL PENGUJIAN TARIK BAJA  
(Ø 10 mm)**

Beban P (kg)	Pengamatan Strainometer ( $\Delta L$ ) ..... x $10^{-2}$ mm
100	1,2
200	2,0
300	2,3
400	2,95
500	3,3
600	4,0
700	4,6
800	5,0
900	5,7
1000	6,0
1100	6,9
1120	7,6



Pengukuran dengan jangka  
Penambahan per 2 mm

Panjang Jangka (cm)	Beban (kg)
4,2	1195
4,4	1705
4,6	1853
4,8	1865

Panjang setelah di uji ( $l_u$ ) = 4,23 cm  
Diameter tempat patah ( $d_u$ ) = 0,42 cm

Mengetahui :  
Laboratorium BKT FTSP UII

LABORATORIUM  
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK UII  
*(Signature)*



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**A**

**HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA  
(Ø 10 mm)**

Tanggal pengujian: Juli 2001

**I. BENDA UJI :**

6. Baja jenis tulangan, panjang keseluruhan = 50 cm
7. Panjang di bidang uji (bagian kecil) = 15 cm
8. Diameter bidang uji (do) = 0,73 cm
9. Luasampang awal (Ao) =            cm
10. Panjang ukur awal (Lo) =  $5,64 \sqrt{Ao}$  =            cm

**II. ALAT-ALAT :**

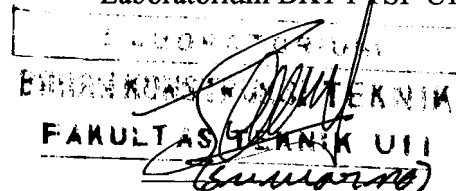
6. Kaliper
7. Strainometer
8. Jangka
9. Penggaris
10. Stop watch

**III. HASIL PERCOBAAN**

1. Beban leleh atas (LA) = 1160 kg, pembacaan strainometer    x 10<sup>-2</sup> mm,  
waktu - 1,16 menit  
Beban leleh bawah (LB) = 1195 kg, pembacaan strainometer    x 10<sup>-2</sup> mm,  
waktu = 2,43 menit
2. Beban maksimum = 1925 kg
3. Beban patah = 1425 kg
4. Waktu patah = 14,30 menit
5. Jenis patah

Mengetahui :

Laboratorium BKT FTSP UII





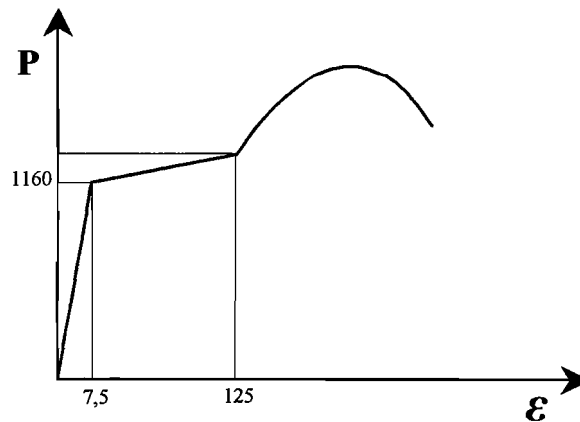
**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**B**

**HASIL PENGUJIAN TARIK BAJA  
(Ø 10 mm)**

Beban P (kg)	Pengamatan Strainometer ( $\Delta L$ ) ..... x $10^{-2}$ mm
100	1,2
200	1,9
300	2,5
400	3,0
500	3,5
600	4,2
700	4,9
800	5,4
900	6,0
1000	6,5
1100	7,0
1160	7,5



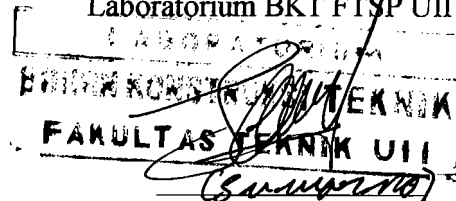
Pengukuran dengan jangka  
Penambahan per 2 mm

Panjang Jangka (cm)	Beban (kg)
3,7	1260
3,9	1700
4,1	1900
4,3	1925

Panjang setelah di uji ( $l_u$ ) = 4,265 cm  
Diameter tempat patah ( $d_u$ ) = 0,45 cm

Mengetahui :

Laboratorium BKT FTSP UII





**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**A**

**HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA  
(Ø 12 mm)**

Tanggal pengujian: Juli 2001

**I. BENDA UJI :**

1. Baja jenis tulangan, panjang keseluruhan = 50 cm
2. Panjang di bidang uji (bagian kecil) = 15 cm
3. Diameter bidang uji (do) = 0,98 cm
4. Luasampang awal (Ao) =        cm
5. Panjang ukur awal (Lo) = 5,64  $\sqrt{Ao}$  =        cm

**II. ALAT-ALAT :**

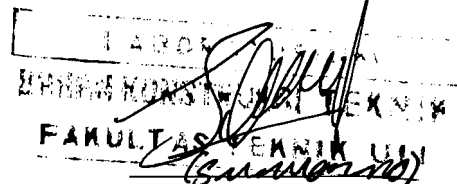
1. Kaliper
2. Strainometer
3. Jangka
4. Penggaris
5. Stop watch

**III. HASIL PERCOBAAN**

1. Beban leleh atas (LA) = 2355 kg, pembacaan strainometer  $\times 10^{-2}$  mm,  
waktu = 2,10 menit  
Beban leleh bawah (LB) = 2495 kg, pembacaan strainometer  $\times 10^{-2}$  mm,  
waktu = 5,40 menit
2. Beban maksimum = 3390 kg
3. Beban patah = 2745 kg
4. Waktu patah = 15,54 menit
5. Jenis patah

Mengetahui :

Laboratorium BKT FTSP UII







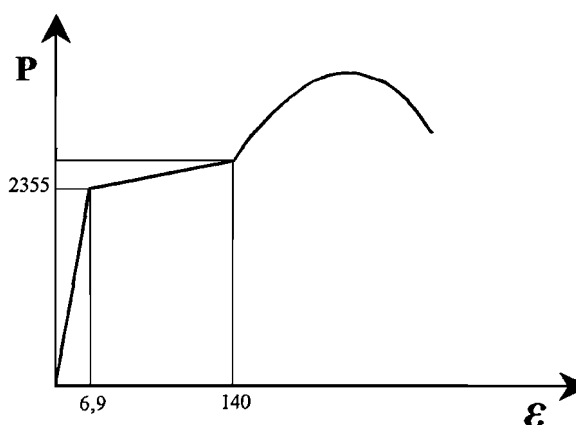
**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**B**

**HASIL PENGUJIAN TARIK BAJA  
(Ø 12 mm)**

Beban P (kg)	Pengamatan Strainometer ( $\Delta L$ ) ..... x $10^{-2}$ mm
100	0,0
200	0,2
300	0,6
400	0,9
500	1,1
600	1,4
700	1,8
800	2,0
900	2,3
1000	2,5
1100	2,9
1200	3,1
1300	3,5
1400	3,6
1500	3,9
1600	4,2
1700	4,4
1800	4,7
1900	5,0
2000	5,2
2100	5,6
2200	6,0
2300	6,4
2355	6,9

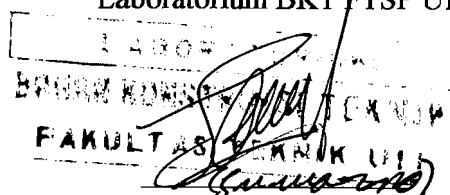


Pengukuran dengan jangka  
Penambahan per 2 mm

Panjang Jangka (cm)	Beban (kg)
5,5	2495
5,7	3105
5,9	3290
6,1	3345
6,3	3375
6,5	3390
6,7	3390

Panjang setelah di uji ( $l_u$ ) = 6,68  
Diameter tempat patah ( $d_u$ ) = 0,57

Mengetahui :  
Laboratorium BKT FTSP UII





**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**A**

**HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA  
(Ø 12 mm)**

Tanggal pengujian: Juli 2001

**I. BENDA UJI :**

6. Baja jenis tulangan, panjang keseluruhan = 50 cm
7. Panjang di bidang uji (bagian kecil) = 15 cm
8. Diameter bidang uji (do) = 1,00 cm
9. Luas tampang awal (Ao) =            cm
10. Panjang ukur awal (Lo) =  $5,64 \sqrt{Ao}$  =            cm

**II. ALAT-ALAT :**

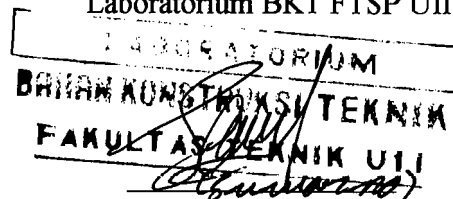
6. Kaliper
7. Strainometer
8. Jangka
9. Penggaris
10. Stop watch

**III. HASIL PERCOBAAN**

1. Beban leleh atas (LA) = 2565 kg, pembacaan strainometer    x 10<sup>-2</sup> mm,  
waktu = 1,20 menit  
Beban leleh bawah (LB) = 2735 kg, pembacaan strainometer    x 10<sup>-2</sup> mm,  
waktu = 4,40 menit
2. Beban maksimum = 3543 kg
3. Beban patah = 3035 kg
4. Waktu patah = 11,44 menit
5. Jenis patah

Mengetahui :

Laboratorium BKT FTSP UII





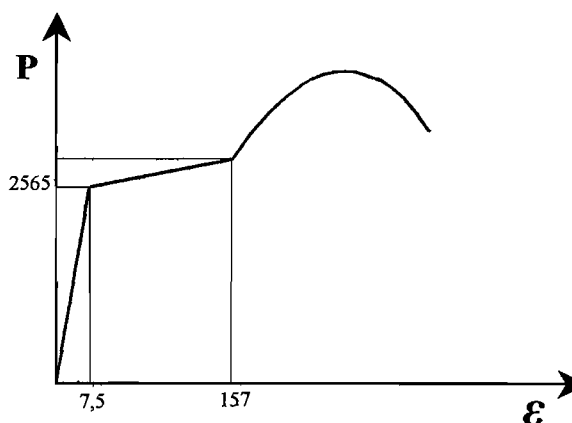
**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**B**

**HASIL PENGUJIAN TARIK BAJA  
(Ø 12 mm)**

Beban P (kg)	Pengamatan Strainometer ( $\Delta L$ ) ..... x $10^{-2}$ mm
100	1,1
200	1,5
300	1,9
400	2,2
500	2,5
600	3,0
700	3,2
800	3,7
900	4,0
1000	4,1
1100	4,5
1200	4,9
1300	5,0
1400	5,2
1500	5,3
1600	5,5
1700	5,8
1800	6,0
1900	6,3
2000	6,6
2100	6,7
2200	6,9
2300	7,1
2400	7,2
2500	7,3
2565	7,5

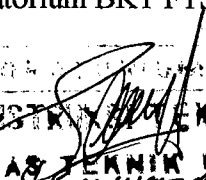


Pengukuran dengan jangka  
Penambahan per 2 mm

Panjang Jangka (cm)	Beban (kg)
5,15	2735
5,35	3215
5,55	3435
5,75	3505
5,95	3543

Panjang setelah di uji ( $l_u$ ) = 5,975  
Diameter tempat patah ( $d_u$ ) = 0,595

Mengetahui :  
Laboratorium BKT FTSP UII

  
 BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
 FAKULTAS TEKNIK UII  
*(Sunanda)*

LAMPPIRAN 4



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

---

## **PERENCANAAN CAMPURAN BETON**

### **A. Data-data perencanaan campuran beton :**

1. Kuat beton yang disyaratkan  $f'_c = 20$  Mpa
2. Volume pekerjaan kecil dan mutu pekerjaan cukup, diperkirakan standar deviasi ( $s_d$ ) = 4 Mpa
3. Beton didalam ruangan dengan keadaan sekeliling non-korosif
4. Jenis struktur adalah balok
5. Ukuran maksimum kerikil 30 mm
6. Berat volume agregat = 1,5479 ton/m<sup>3</sup>
7. Berat jenis kerikil = 2,6236
8. Berat jenis pasir = 2,712
9. Modulus halus butir (mhb) = 2,6176

### **B. Tahap-tahap perencanaan campuran beton :**

1. Menghitung mutu beton

$$s_d = 4 \text{ Mpa}$$

$$m = 1,64 s_d = 1,64 \cdot 4 = 6,56 \text{ Mpa}$$

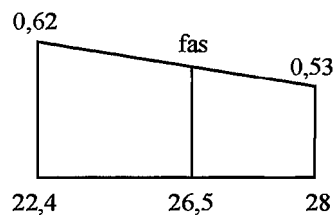
$$f'_c = f'_c + m = 20 + 6,56 = 26,56 \text{ Mpa}$$



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

2. Menghitung nilai faktor air semen (f.a.s)



$$\frac{0,62 - 0,53}{28 - 22,4} = \frac{fas - 0,53}{28 - 26,56}$$

$$\begin{aligned} f.a.s &= 0,53 + \frac{0,62 - 0,53}{28 - 22,4} \cdot (28 - 26,56) \\ &= 0,53 + 0,0231 = 0,5531 \end{aligned}$$

$$f.a.s \text{ maksimum} = 0,60$$

$$\text{sehingga f.a.s yang digunakan} = 0,5531$$

3. Nilai slam : Untuk struktur balok nilai slam = 75-150 mm

4. Jumlah air yang diperlukan per-meter kubik beton

Berdasarkan nilai slam dan ukuran maksimum kerikil 30 mm, maka diperoleh kebutuhan air sebesar 190 liter = 0,19 m<sup>3</sup> dan udara terperangkap 1,5%.

5. Jumlah semen yang diperlukan per meter kubik beton

$$\begin{aligned} W_s &= \frac{A}{f.a.s} \\ &= \frac{0,19}{0,5531} = 0,3435 \text{ ton} \end{aligned}$$



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

6. Menghitung volume kerikil

Berdasarkan ukuran maksimum kerikil 30 mm dan modulus halus butir pasir = 2,6176 maka diperoleh kebutuhan volume kerikil = 0,68324

$$\text{Berat volume kerikil} = 1,54789 \text{ ton/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat kerikil, } W_k &= 1,54789 \cdot 0,68324 \\ &= 1,0576 \text{ ton} \end{aligned}$$

7. Jumlah volume absolut air, semen, kerikil dan udara

$$\begin{aligned} V_a + V_s + V_k + V_u &= 0,19 + \frac{0,3455}{3,15} + \frac{1,0576}{2,6236} + 0,015 \\ &= 0,19 + 0,1097 + 0,4031 + 0,015 \\ &= 0,7178 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume absolut pasir :

$$V_p = 1 - 0,7178 = 0,2822 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat pasir} = 0,2822 \cdot 2,712 = 0,7653 \text{ ton}$$

8. Kebutuhan material per meter kubik beton

$$\text{Semen} = 0,3435 \text{ ton} = 343,5 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 0,7653 \text{ ton} = 765,3 \text{ kg}$$

$$\text{Kerikil} = 1,0576 \text{ ton} = 1057,6 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 190 \text{ liter}$$



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

9. Volume pekerjaan

$$\text{Balok (6 buah)} = 0,12 \times 0,2 \times 2 \times 6 = 0,288 \text{ m}^3$$

$$\text{Balok (3 buah)} = 0,10 \times 0,18 \times 1,98 \times 3 = 0,1069 \text{ m}^3$$

$$\text{Silinder (18 buah)} = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \times 18 = 0,0954 \text{ m}^3$$

$$\text{Total volume pekerjaan} = 0,4903 \text{ m}^3$$

10. Kebutuhan material

$$\text{Semen} = 343,5 \times 0,4903 = 168,418 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 765,3 \times 0,4903 = 375,227 \text{ kg}$$

$$\text{Kerikil} = 1057,6 \times 0,4903 = 518,541 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 190 \times 0,4903 = 93,157 \text{ liter}$$

11. Kebutuhan material setiap satu kali campuran adukan beton

$$\text{Volume molen (mixer)} = 0,05 \text{ m}^3$$

$$\text{Semen} = 343,5 \times 0,05 = 17,175 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 765,3 \times 0,05 = 38,265 \text{ kg}$$

$$\text{Kerikil} = 1057,6 \times 0,05 = 52,88 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 190 \times 0,05 = 9,5 \text{ liter}$$





**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

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

**HASIL UJI DESAK SILINDER BETON**

No	Benda uji	Ø Silinder (mm)	Luas penampang silinder (mm <sup>2</sup> )	Beban maksimum (N)	Kuat desak (MPa)
1	SL VI/01	150.40	17765.83212	460000	25.89239822
2	SL VI/01	150.50	17789.46475	340000	19.11243563
3	SL VI/02	150.00	17671.45868	465000	26.31361725
4	SL VI/02	151.15	17943.45973	630000	35.11028583
5	SL VI/03	150.35	17754.02170	720000	40.55419174
6	SL VI/03	149.65	17589.08808	625000	35.53339417
7	SL VI/04	150.90	17884.15236	550000	30.75348437
8	SL VI/04	149.10	17460.03735	455000	26.05950898
9	SL VI/05	149.75	17612.60290	480000	27.25321195
10	SL VI/05	150.45	17777.64647	415000	23.34392241
11	SL VI/06	150.15	17706.81927	570000	32.19098763
12	SL VI/06	150.80	17860.45689	620000	34.71355765
13	SL III/01	150.25	17730.41263	520000	29.32813866
14	SL III/01	149.65	17589.08808	610000	34.68059271
15	SL III/02	149.00	17436.62463	505000	28.96202739
16	SL III/02	149.50	17553.84530	565000	32.18667991
17	SL III/03	149.90	17647.90459	535000	30.31521376
18	SL III/03	150.50	17789.46475	440000	24.73374023
					29.83541047

Kuat desak beton rerata ( $f_{cr}$ ):

$$f_{cr} = f'_c + m \quad \text{dengan } m = 1,64.S_d$$

Kuat desak beton ( $f'_c$ ):

$$\begin{aligned} f'_c &= f_{cr} - m \\ &= 29,83541047 - (1,64.4) \\ &= 23,27541 \text{ MPa} \end{aligned}$$

LABORATORIUM  
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK UII

LAMPDIRAN 5

## ANALISA TEORITIS

### MOMEN DAN KELENGKUNGAN

Data :

$$\text{Ø10} \quad A = 78,54 \text{ mm}^2 \quad A'_s = 157,08 \text{ mm}^2 \quad f'_y = 276,1188 \text{ Mpa}$$

$$\text{Ø12} \quad A = 113,098 \text{ mm}^2 \quad A_s = 226,195 \text{ mm}^2 \quad f_y = 319,3989 \text{ Mpa}$$

$$f'_c = 23 \text{ Mpa}$$

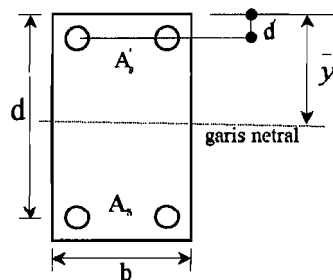
$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{226,195}{120 \cdot 180} = 0,0105 \quad \rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d} = \frac{157,08}{120 \cdot 180} = 0,00727$$

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

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{23} = 22,540 \text{ KN/mm}^2$$

$$\text{Rasio Modulus elastisitas (n)} = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200}{22,540} = 8,8729$$

#### ➤ KONDISI SEBELUM RETAK



penampang balok

$$\begin{aligned} A &= b \cdot h + [(n-1) \cdot (A_s + A'_s)] \\ &= 120 \cdot 200 + [(8,8729 - 1) \cdot (226,195 + 157,08)] \\ &= 27017,51 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Garis netral diperoleh dengan mengalikan titik berat dimensi ke suatu sisi (terhadap sisi atas), yaitu :

$$\bar{y} = \frac{(120.200).100 + (8,8729 - 1).157,08.20 + (8,8729 - 1).226,195.180}{27017,51}$$

$$= 101,611 \text{ mm}$$

Momen Inersia (I) :

$$I = \frac{1}{12} \cdot 120.200^3 + (120.200.1,611^2) + [(8,8729 - 1).78,389^2.226,195]$$

$$+ [(8,8729 - 1).81,611^2.157,08]$$

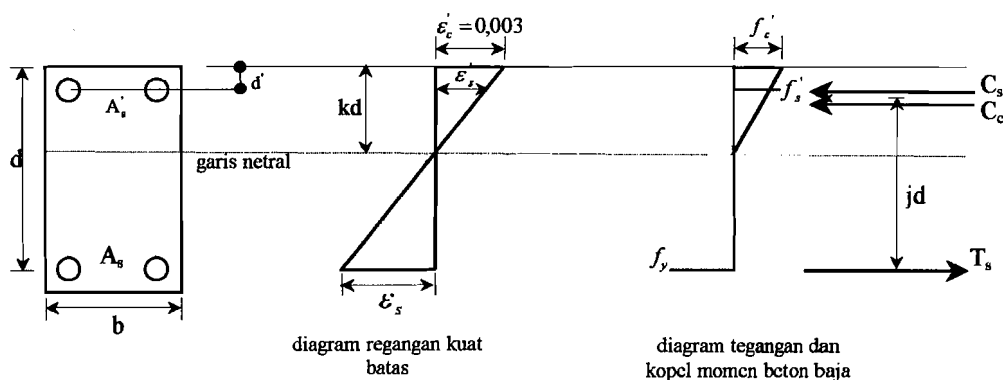
$$= 99241902,5 \text{ mm}^4$$

Modulus retak beton  $\rightarrow f_r = 8\sqrt{0,00689 \cdot f'_c} = 3,185 \text{ Mpa}$

$$M_{crack} = \frac{f_r \cdot I}{y_{bottom}} = \frac{3,185.99241902,5}{98,389} = 3,213 \text{ KN.m}$$

$$\varphi_{crack} = \frac{f_r}{E_c \cdot y_{bottom}} = \frac{3,185}{22,540.98,389} = 1,436 \cdot 10^{-3} \text{ rad/m}$$

### ➤ SETELAH RETAK PADA SAAT LELEH PERTAMA



Diasumsikan bahwa struktur beton berperilaku elastis

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

$$= \left[ (0,0105 + 0,00727)^2 \cdot 8,8729^2 + 2 \cdot \left( 0,0105 + \frac{0,00727 \cdot 20}{180} \right) \cdot 8,8729 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$- (0,0105 + 0,00727) \cdot 8,8729$$

$$= 0,3169$$

maka  $k.d = 0,3169.180 = 57,0346$  mm

$$\varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} = \frac{319,3989}{200.000} = 1,597.10^{-3}$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \cdot \frac{k.d}{(d - k.d)} = 1,597.10^{-3} \cdot \frac{57,0346}{(180 - 57,0346)} = 0,000741$$

$$f_c = \varepsilon_c \cdot E_c = 0,000741 \cdot 22,54 \cdot 1000 = 16,6963 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_c \cdot \frac{k.d - d'}{k.d} = 0,000741 \cdot \frac{57,0346 - 20}{57,0346} = 0,000481$$

$$f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s = 0,000481 \cdot 200000 = 96,1961 \text{ MPa}$$

$$C_c = \frac{1}{2} \cdot f_c \cdot b \cdot k.d = \frac{1}{2} \cdot 16,6963 \cdot 120 \cdot 57,0346 = 57135,9513 \text{ N}$$

$$C_s = A'_s \cdot f'_s = 157,08 \cdot 96,1961 = 21759,08 \text{ N}$$

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

$$\begin{aligned} y_a &= \frac{(d' \cdot C_s) + C_c \left(\frac{k.d}{3}\right)}{(C_c + C_s)} \\ &= \frac{(20 \cdot 2175,08) + 57135,9513 \cdot \left(\frac{57,0346}{3}\right)}{(57135,9513 + 21759,08)} = 19,2841 \text{ mm} \end{aligned}$$

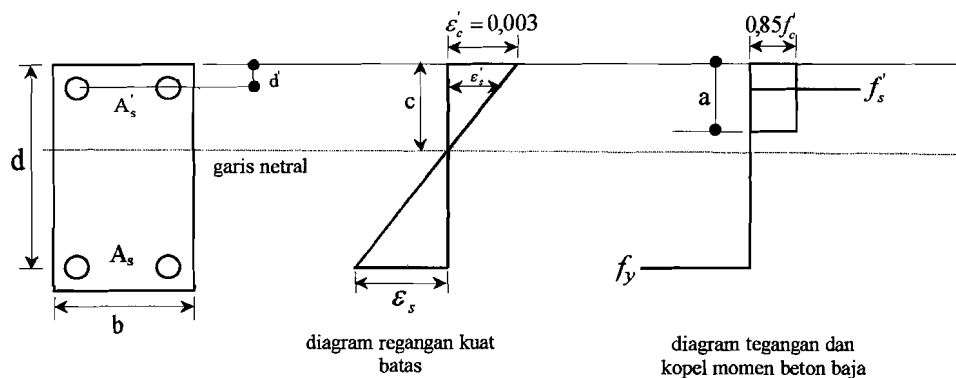
$$j.d = d - y_a = 180 - 19,2841 = 160,7159 \text{ mm}$$

maka :

$$\begin{aligned} M_y &= A_s \cdot f_y \cdot j.d \\ &= 226,195 \cdot 319,3989 \cdot 160,7159 = 11,6112 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_y &= \frac{\varepsilon_s}{d \cdot (1 - k)} \\ &= \frac{1,597.10^{-3}}{180 \cdot (1 - 0,3169)} = 12,98734.10^{-6} \text{ rad/mm} \\ &= 12,98734.10^{-3} \text{ rad/m} \end{aligned}$$

➤ **SETELAH RETAK PADA SAAT BEBAN MAKSIMUM (ULTIMIT)**



Diasumsikan bahwa semua baja telah mengalami leleh

$$\varepsilon_s', \varepsilon_s \geq \varepsilon_y$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 23 \cdot a \cdot 120 = 2346a$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y' = 157,08 \cdot 276,1188 = 43372,74 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y = 226,195 \cdot 319,3989 = 72246,43 \text{ N}$$

$$C_c + C_s = T_s$$

$$2346a + 43372,74 = 72246,43$$

didapat  $a = 12,3076 \text{ mm}$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{12,3076}{0,85} = 14,4796$$

cek regangan baja :

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{319,3989}{200000} = 0,001597$$

$$\varepsilon_s' = 0,003 \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,003 \cdot \frac{14,4796 - 20}{14,4796} = -0,001144 < \varepsilon_y$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \cdot \frac{d - c}{c} = 0,003 \cdot \frac{180 - 14,4796}{14,4796} = 0,03429 > \varepsilon_y$$

Tampak bahwa  $\varepsilon_s > \varepsilon_y > \varepsilon_s'$ , kondisi ini menunjukkan bahwa tulangan baja tarik telah leleh, sedangkan tulangan baja tekan belum leleh maka asumsi awal salah.

$$f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s = \frac{c-d'}{c} \cdot 0,003 \cdot E_s$$

$$= \frac{a - (\beta_1 \cdot d')}{a} \cdot 0,003 \cdot E_s$$

$$C_s = A'_s \cdot f'_s = 157,08 \cdot \left[ \frac{a - (0,85 \cdot 20)}{a} \cdot 0,003 \cdot 200000 \right]$$

$$= \frac{94248a - 1602216}{a}$$

$$C_c + C_s = T_s$$

$$2346a + \frac{94248a - 1602216}{a} = 72246,43$$

dari persamaan diatas diperoleh nilai  $a = 21,8616 \text{ mm}$

$$C_s = \frac{94248a - 1602216}{a}$$

$$= 20959,05 \text{ N}$$

$$f'_s = \frac{C_s}{A'_s} = \frac{20959,05}{157,08} = 133,4291 \text{ MPa}$$

$$C_c = 2346 \cdot a = 2346 \cdot 21,8613 = 51287,39 \text{ N}$$

Cek :

$$C_c + C_s = T_s$$

$$51287,39 + 20959,05 = 72246,43 \text{ N} \approx T_s = 72246,43 \text{ N}$$

OK!

Maka momen ultimit dapat dihitung dengan rumus :

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

$$= 51287,39 \cdot \left( 180 - \frac{21,8616}{2} \right) + 20959,05 \cdot (180 - 20)$$

$$= 12024564,24 \text{ N} \cdot \text{mm} \approx 12,02456 \text{ KN} \cdot \text{mm}$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$c = \frac{21,8616}{0,85} = 25,71957$$

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{0,003}{25,71957} = 116,6427 \cdot 10^{-6} \text{ rad/mm}$$

$$= 116,6427 \cdot 10^{-3} \text{ rad/m}$$

# LAMPPIRAN 6



**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG PADA SUHU RUANG**

Kode balok : **BLK I**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.000	0.000	0.000
2	2	0.075	0.125	0.075
3	4	0.185	0.228	0.185
4	6	0.292	0.339	0.292
5	8	0.375	0.462	0.375
6	10	0.618	0.698	0.618
7	12	0.845	0.925	0.845
8	14	1.092	1.262	1.092
9	16	1.352	1.605	1.352
10	18	1.668	1.852	1.668
11	20	1.958	2.265	1.958
12	22	2.295	2.628	2.295
13	24	2.615	2.978	2.615
14	26	2.895	3.325	2.895
15	28	3.228	3.642	3.228
16	30	3.545	4.068	3.545
17	32	3.745	4.375	3.745
18	34	4.098	4.695	4.098
19	36	4.425	5.448	4.425
20	38	4.752	5.822	4.752
21	40	5.412	6.328	5.412
22	40	5.758	6.885	5.758
23	40	6.175	7.465	6.175
24	40	6.548	8.015	6.548
25	40	6.932	8.632	6.932
26	40	7.382	9.268	7.382
27	40	7.825	9.885	7.825
28	40	8.358	10.525	8.358
29	40	8.715	11.242	8.715
30	40	9.145	11.978	9.145
31	40	9.685	12.462	9.685

**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG PADA SUHU RUANG**

Kode balok : **BLK II**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.000	0.000	0.000
2	2	0.072	0.095	0.072
3	4	0.165	0.195	0.165
4	6	0.272	0.312	0.272
5	8	0.418	0.458	0.418
6	10	0.532	0.595	0.532
7	12	0.755	0.815	0.755
8	14	0.912	1.058	0.912
9	16	1.158	1.215	1.158
10	18	1.365	1.572	1.365
11	20	1.535	1.792	1.535
12	22	1.742	1.975	1.742
13	24	1.978	2.215	1.978
14	26	2.285	2.598	2.285
15	28	2.525	2.892	2.525
16	30	2.812	3.225	2.812
17	32	3.058	3.552	3.058
18	34	3.368	3.988	3.368
19	36	3.595	4.248	3.595
20	38	3.942	4.715	3.942
21	40	4.175	4.972	4.175
22	42	4.548	5.415	4.548
23	42	4.952	6.115	4.952
24	42	6.048	7.838	6.048
25	42	6.765	8.425	6.765
26	42	7.325	9.212	7.325
27	42	7.918	9.825	7.918
28	42	8.412	11.094	8.412
29	42	8.845	11.412	8.845
30	42	9.168	11.732	9.168
31	42	9.425	12.218	9.425

**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG PADA SUHU RUANG**

Kode balok : **BLK III**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.000	0.000	0.000
2	2	0.098	0.112	0.098
3	4	0.212	0.235	0.212
4	6	0.315	0.355	0.315
5	8	0.445	0.528	0.445
6	10	0.612	0.759	0.612
7	12	0.798	1.042	0.798
8	14	1.035	1.315	1.035
9	16	1.242	1.625	1.242
10	18	1.592	1.978	1.592
11	20	1.905	2.182	1.905
12	22	2.248	2.595	2.248
13	24	2.535	2.912	2.535
14	26	2.862	3.242	2.862
15	28	3.138	3.525	3.138
16	30	3.412	3.818	3.412
17	32	3.685	4.118	3.685
18	34	3.948	4.495	3.948
19	36	4.382	5.052	4.382
20	38	4.685	5.428	4.685
21	40	5.095	6.015	5.095
22	40	5.518	6.642	5.518
23	40	6.012	7.315	6.012
24	40	6.428	7.925	6.428
25	40	6.812	8.578	6.812
26	40	7.215	9.038	7.215
27	40	7.682	9.425	7.682
28	40	7.925	9.862	7.925
29	40	8.245	10.335	8.245
30	40	8.712	10.758	8.712
31	40	9.058	11.285	9.058

**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG PADA SUHU RUANG (RERATA)**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000
2	2	0.0817	0.1107	0.0817
3	4	0.1873	0.2193	0.1873
4	6	0.2930	0.3353	0.2930
5	8	0.4127	0.4827	0.4127
6	10	0.5873	0.6840	0.5873
7	12	0.7993	0.9273	0.7993
8	14	1.0130	1.2117	1.0130
9	16	1.2507	1.4817	1.2507
10	18	1.5417	1.8007	1.5417
11	20	1.7993	2.0797	1.7993
12	22	2.0950	2.3993	2.0950
13	24	2.3760	2.7017	2.3760
14	26	2.6807	3.0550	2.6807
15	28	2.9637	3.3530	2.9637
16	30	3.2563	3.7037	3.2563
17	32	3.4960	4.0150	3.4960
18	34	3.8047	4.3927	3.8047
19	36	4.1340	4.9160	4.1340
20	38	4.4597	5.3217	4.4597
21	40	4.8940	5.7717	4.8940
22	40.6667	5.2747	6.3140	5.2747
23	40.6667	5.7130	6.9650	5.7130
24	40.6667	6.3413	7.9260	6.3413
25	40.6667	6.8363	8.5450	6.8363
26	40.6667	7.3073	9.1727	7.3073
27	40.6667	7.8083	9.7117	7.8083
28	40.6667	8.2317	10.497	8.2317
29	40.6667	8.6017	10.996	8.6017
30	40.6667	9.0083	11.489	9.0083
31	40.6667	9.3893	11.988	9.3893

**TABEL HUBUNGAN MOMEN DAN KELENGKUNGAN  
BALOK BETON BERTULANG PADA SUHU RUANG (RERATA)**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (1) (kN-m)	Kelengkungan (2) (1/m)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.0000000
2	2	0.0817	0.1107	0.0817	0.6	0.0006444
3	4	0.1873	0.2193	0.1873	1.2	0.0007111
4	6	0.2930	0.3353	0.2930	1.8	0.0009407
5	8	0.4127	0.4827	0.4127	2.4	0.0015555
6	10	0.5873	0.6840	0.5873	3.0	0.0021481
7	12	0.7993	0.9273	0.7993	3.6	0.0028444
8	14	1.0130	1.2117	1.0130	4.2	0.0044148
9	16	1.2507	1.4817	1.2507	4.8	0.0051333
10	18	1.5417	1.8007	1.5417	5.4	0.0057555
11	20	1.7993	2.0797	1.7993	6.0	0.0062296
12	22	2.0950	2.3993	2.0950	6.6	0.0067629
13	24	2.3760	2.7017	2.3760	7.2	0.0072370
14	26	2.6807	3.0550	2.6807	7.8	0.0083185
15	28	2.9637	3.3530	2.9637	8.4	0.0086518
16	30	3.2563	3.7037	3.2563	9.0	0.0099407
17	32	3.4960	4.0150	3.4960	9.6	0.0115333
18	34	3.8047	4.3927	3.8047	10.2	0.0130666
19	36	4.1340	4.9160	4.1340	10.8	0.0173777
20	38	4.4597	5.3217	4.4597	11.4	0.0191555
21	40	4.8940	5.7717	4.8940	12.0	0.0195037
22	40.6667	5.2747	6.3140	5.2747	12.2	0.0230962
23	40.6667	5.7130	6.9650	5.7130	12.2	0.0278222
24	40.6667	6.3413	7.9260	6.3413	12.2	0.0352148
25	40.6667	6.8363	8.5450	6.8363	12.2	0.0379703
26	40.6667	7.3073	9.1727	7.3073	12.2	0.0414518
27	40.6667	7.8083	9.7117	7.8083	12.2	0.0422962
28	40.6667	8.2317	10.4937	8.2317	12.2	0.0502666
29	40.6667	8.6017	10.9963	8.6017	12.2	0.0532148
30	40.6667	9.0083	11.4893	9.0083	12.2	0.0551333
31	40.6667	9.3893	11.9883	9.3893	12.2	0.0577555

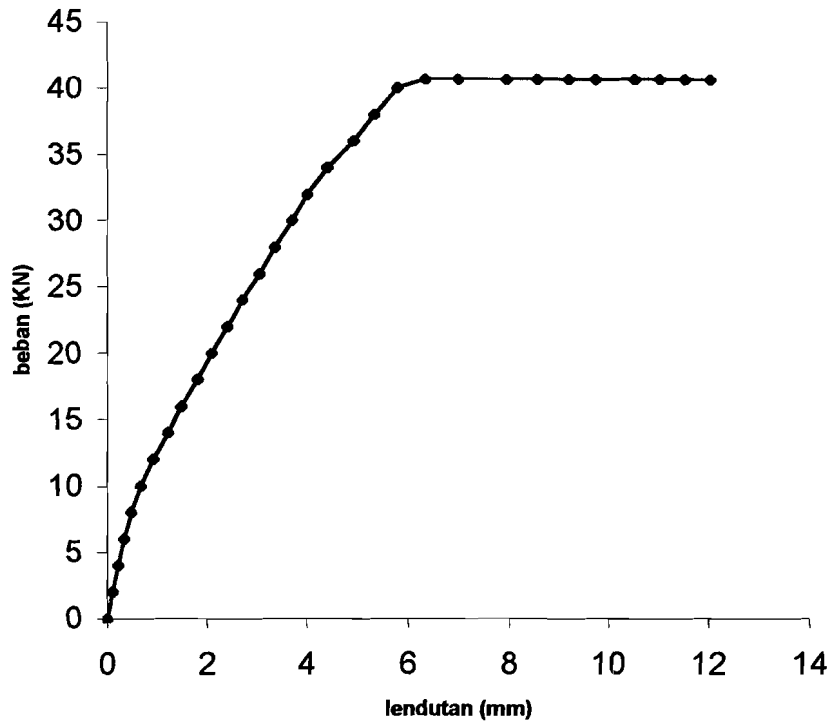
Dengan : 1. Momen =  $1/6 \cdot P \cdot L$

L = panjang bentang balok bersih = 1,8 m

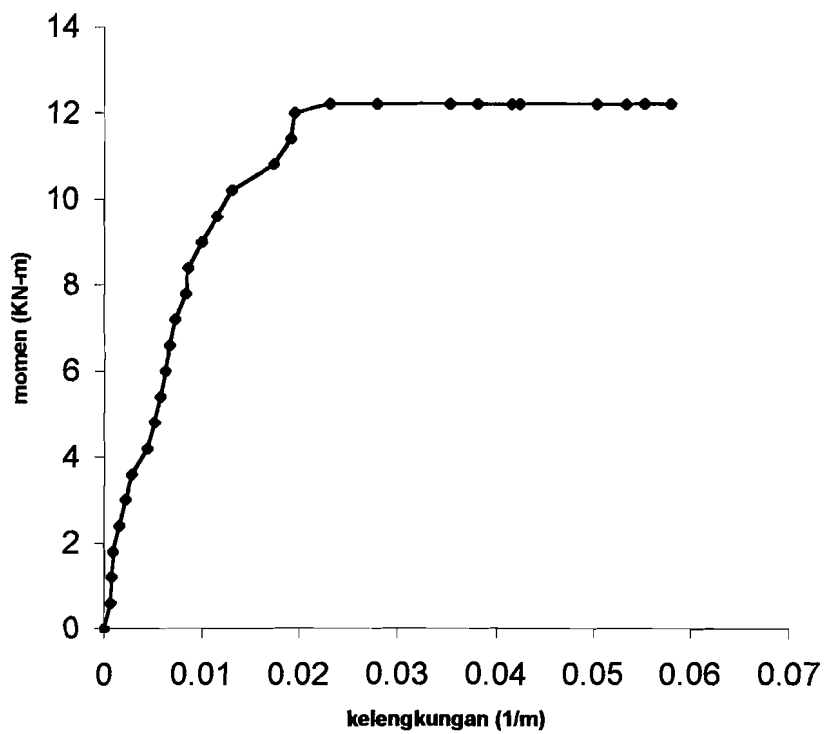
$$2. \text{ Kelengkungan} = \frac{\text{dial 1} - (2 \times \text{dial 2}) + \text{dial 3}}{\Delta x^2}$$

$$\Delta x = \frac{\text{jarak antara 2 titik beban}}{2} = 0,3 \text{ m}$$

**GRAFIK BEBAN - LENDUTAN BALOK BETON  
BERTULANG PADA SUHU RUANG**



**GRAFIK MOMEN - KELENGKUNGAN BALOK BETON  
BERTULANG PADA SUHU RUANG**



**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT SEMEN  
PASCA BAKAR**

Kode balok : **BLK IV**  
Lama Pembakaran : **3 JAM**  
Suhu Pembakaran : **600°C**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.000	0.000	0.000
2	2	0.295	0.363	0.295
3	4	0.637	0.764	0.637
4	6	0.964	1.158	0.964
5	8	1.266	1.541	1.266
6	10	1.553	1.924	1.553
7	12	1.852	2.298	1.852
8	14	2.135	2.671	2.135
9	16	2.428	3.035	2.428
10	18	2.749	3.397	2.749
11	20	3.061	3.755	3.061
12	22	3.485	4.213	3.485
13	24	3.732	4.858	3.732
14	26	4.068	5.382	4.068
15	28	4.412	5.735	4.412
16	30	4.745	6.317	4.745
17	32	5.594	6.993	5.594
18	34	5.861	7.415	5.861
19	34	6.129	7.838	6.129
20	34	6.483	8.125	6.483
21	34	6.892	8.894	6.892
22	34	7.315	9.396	7.315
23	34	7.727	9.788	7.727
24	34	8.164	10.262	8.164
25	34	8.575	10.514	8.575
26	34	9.816	11.258	9.816
27	34	10.346	11.956	10.346
28	34	10.728	12.475	10.728
29	34	11.135	12.868	11.135
30	34	11.472	13.345	11.472
31	34	11.826	13.879	11.826

**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT SEMEN  
PASCA BAKAR**

Kode balok : **BLK V**  
Lama Pembakaran : **3 JAM**  
Suhu Pembakaran : **600°C**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.000	0.000	0.000
2	2	0.292	0.348	0.292
3	4	0.588	0.675	0.588
4	6	0.842	1.046	0.842
5	8	1.215	1.391	1.215
6	10	1.587	1.796	1.587
7	12	1.936	2.263	1.936
8	14	2.265	2.692	2.265
9	16	2.618	3.114	2.618
10	18	2.955	3.518	2.955
11	20	3.264	3.885	3.264
12	22	3.586	4.269	3.586
13	24	3.897	4.693	3.897
14	26	4.218	5.164	4.218
15	28	4.535	5.617	4.535
16	30	4.813	6.242	4.813
17	32	5.396	6.845	5.396
18	34	5.681	7.368	5.681
19	34	6.024	7.742	6.024
20	34	6.325	8.297	6.325
21	34	6.617	8.683	6.617
22	34	6.749	9.015	6.749
23	34	6.895	9.548	6.895
24	34	7.076	9.812	7.076
25	34	7.293	10.155	7.293
26	34	7.412	10.694	7.412
27	34	7.721	10.986	7.721
28	34	8.065	11.185	8.065
29	34	8.343	11.568	8.343
30	34	8.898	12.175	8.898
31	34	9.317	12.635	9.317



**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT SEMEN  
PASCA BAKAR**

Kode balok : **BLK VI**  
Lama Pembakaran : **3 JAM**  
Suhu Pembakaran : **600°C**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.000	0.000	0.000
2	2	0.515	0.594	0.515
3	4	1.098	1.127	1.098
4	6	1.584	1.668	1.584
5	8	2.078	2.215	2.078
6	10	2.512	2.714	2.512
7	12	2.964	3.231	2.964
8	14	3.427	3.733	3.427
9	16	3.839	4.216	3.839
10	18	4.286	4.687	4.286
11	20	4.728	5.164	4.728
12	22	5.163	5.624	5.163
13	24	5.615	6.115	5.615
14	26	6.126	6.649	6.126
15	28	6.724	7.356	6.724
16	30	7.582	8.127	7.582
17	32	8.472	9.352	8.472
18	32	9.085	9.822	9.085
19	32	9.335	10.396	9.335
20	32	9.529	10.719	9.529
21	32	9.871	11.088	9.871
22	32	10.193	11.415	10.193
23	32	10.627	11.882	10.627
24	32	11.079	12.365	11.079
25	32	11.425	12.858	11.425
26	32	11.814	13.442	11.814
27	32	12.262	13.919	12.262
28	32	12.438	14.384	12.438
29	32	12.715	14.795	12.715
30	32	13.152	15.137	13.152
31	32	13.578	15.541	13.578

**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT SEMEN  
PASCA BAKAR (RERATA)**

Lama Pembakaran : **3 JAM**  
Suhu Pembakaran : **600°C**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000
2	2	0.3673	0.4350	0.3673
3	4	0.7743	0.8553	0.7743
4	6	1.1300	1.2907	1.1300
5	8	1.5197	1.7157	1.5197
6	10	1.8840	2.1447	1.8840
7	12	2.2507	2.5973	2.2507
8	14	2.6090	3.0320	2.6090
9	16	2.9617	3.4550	2.9617
10	18	3.3300	3.8673	3.3300
11	20	3.6843	4.2680	3.6843
12	22	4.0780	4.7020	4.0780
13	24	4.4147	5.2220	4.4147
14	26	4.8040	5.7317	4.8040
15	28	5.2237	6.2360	5.2237
16	30	5.7133	6.8953	5.7133
17	32	6.4873	7.7300	6.4873
18	33.3333	6.8757	8.2017	6.8757
19	33.3333	7.1627	8.6587	7.1627
20	33.3333	7.4457	9.0470	7.4457
21	33.3333	7.7933	9.5550	7.7933
22	33.3333	8.0857	9.9420	8.0857
23	33.3333	8.4163	10.4060	8.4163
24	33.3333	8.7730	10.8130	8.7730
25	33.3333	9.0977	11.1757	9.0977
26	33.3333	9.6807	11.7980	9.6807
27	33.3333	10.1097	12.2870	10.1097
28	33.3333	10.4103	12.6813	10.4103
29	33.3333	10.7310	13.0770	10.7310
30	33.3333	11.1740	13.5523	11.1740
31	33.3333	11.5737	14.0183	11.5737

**TABEL HUBUNGAN MOMEN DAN KELENGKUNGAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT SEMEN  
PASCA BAKAR (RERATA)**

Lama Pembakaran : 3 JAM

Suhu Pembakaran : 600°C

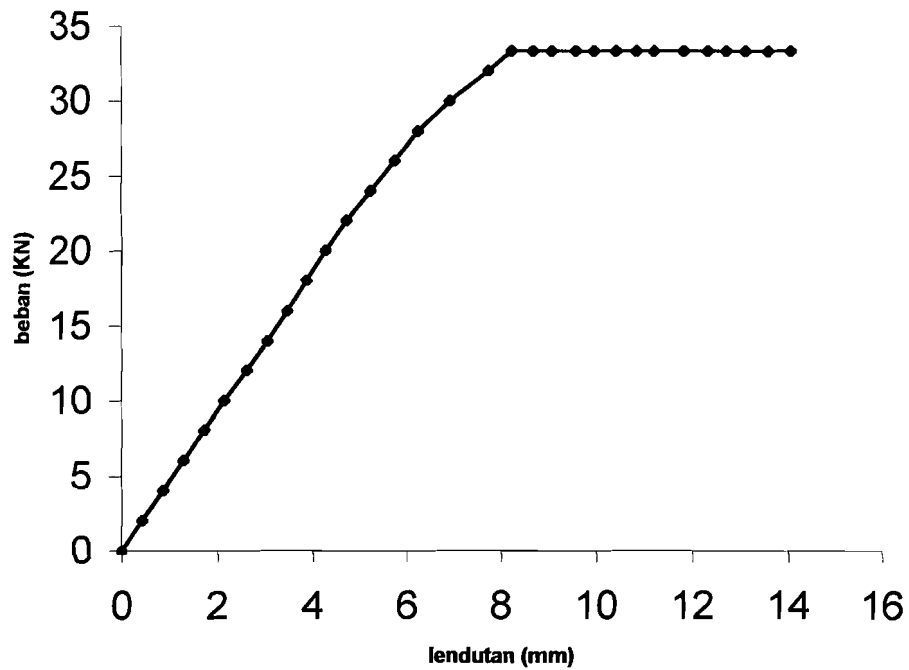
No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (1) (kN-m)	Kelengkungan (2) (1/m)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.0000000
2	2	0.3673	0.4350	0.3673	0.6	0.0015037
3	4	0.7743	0.8553	0.7743	1.2	0.0018000
4	6	1.1300	1.2907	1.1300	1.8	0.0035703
5	8	1.5197	1.7157	1.5197	2.4	0.0043555
6	10	1.8840	2.1447	1.8840	3.0	0.0057925
7	12	2.2507	2.5973	2.2507	3.6	0.0077037
8	14	2.6090	3.0320	2.6090	4.2	0.0094000
9	16	2.9617	3.4550	2.9617	4.8	0.0109629
10	18	3.3300	3.8673	3.3300	5.4	0.0119407
11	20	3.6843	4.2680	3.6843	6.0	0.0129703
12	22	4.0780	4.7020	4.0780	6.6	0.0138666
13	24	4.4147	5.2220	4.4147	7.2	0.0179407
14	26	4.8040	5.7317	4.8040	7.8	0.0206148
15	28	5.2237	6.2360	5.2237	8.4	0.0224962
16	30	5.7133	6.8953	5.7133	9.0	0.0262666
17	32	6.4873	7.7300	6.4873	9.6	0.0276148
18	33.3333	6.8757	8.2017	6.8757	10.0	0.0294666
19	33.3333	7.1627	8.6587	7.1627	10.0	0.0332444
20	33.3333	7.4457	9.0470	7.4457	10.0	0.0355851
21	33.3333	7.7933	9.5550	7.7933	10.0	0.0391481
22	33.3333	8.0857	9.9420	8.0857	10.0	0.0412518
23	33.3333	8.4163	10.4060	8.4163	10.0	0.0442148
24	33.3333	8.7730	10.8130	8.7730	10.0	0.0453333
25	33.3333	9.0977	11.1757	9.0977	10.0	0.0461777
26	33.3333	9.6807	11.7980	9.6807	10.0	0.0470518
27	33.3333	10.1097	12.2870	10.1097	10.0	0.0483851
28	33.3333	10.4103	12.6813	10.4103	10.0	0.0504666
29	33.3333	10.7310	13.0770	10.7310	10.0	0.0521333
30	33.3333	11.1740	13.5523	11.1740	10.0	0.0528518
31	33.3333	11.5737	14.0183	11.5737	10.0	0.0543259

Dengan : 1. Momen =  $1/6 \cdot P \cdot L$ ,      L = panjang bentang balok bersih = 1,8 m

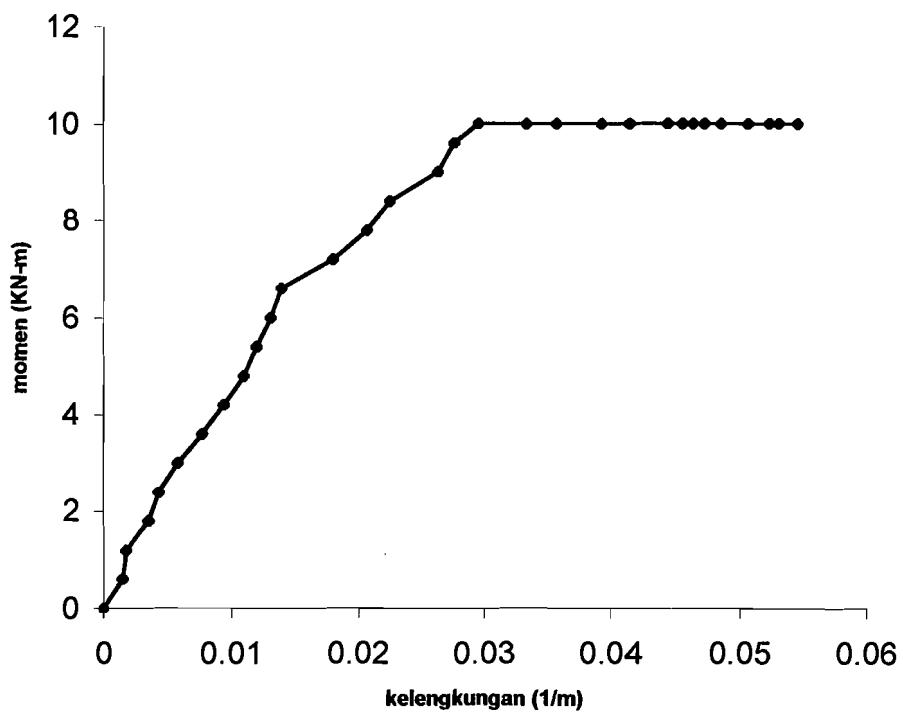
$$2. \text{ Kelengkungan} = \frac{\text{dial 1} - (2 \times \text{dial 2}) + \text{dial 3}}{\Delta x^2}$$

$$\Delta x = \frac{\text{jarak antara 2 titik beban}}{2} = 0,3 \text{ m}$$

**GRAFIK BEBAN - LENDUTAN BALOK BETON  
BERTULANG DENGAN SELIMUT SEMEN PASCA BAKAR  
(RERATA)**



**GRAFIK MOMEN - KELENGKUNGAN BALOK BETON  
BERTULANG DENGAN SELIMUT SEMEN PASCA BAKAR  
(RERATA)**



**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT *GYP SUM*  
PASCA BAKAR**

Kode balok : **BLK VII**  
Lama Pembakaran : **3 JAM**  
Suhu Pembakaran : **600°C**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.000	0.000	0.000
2	2	0.348	0.386	0.348
3	4	0.753	0.815	0.753
4	6	1.195	1.252	1.195
5	8	1.595	1.681	1.595
6	10	1.998	2.134	1.998
7	12	2.372	2.565	2.372
8	14	2.692	2.957	2.692
9	16	3.025	3.382	3.025
10	18	3.419	3.784	3.419
11	20	3.816	4.139	3.816
12	22	4.199	4.487	4.199
13	24	4.512	4.865	4.512
14	26	4.825	5.215	4.825
15	28	5.119	5.563	5.119
16	30	5.412	5.924	5.412
17	32	5.647	6.381	5.647
18	34	6.014	7.058	6.014
19	36	6.391	7.686	6.391
20	36	6.837	8.189	6.837
21	36	7.517	8.725	7.517
22	36	8.092	9.482	8.092
23	36	8.715	9.918	8.715
24	36	9.268	10.474	9.268
25	36	9.694	11.048	9.694
26	36	10.079	11.518	10.079
27	36	10.463	12.051	10.463
28	36	10.785	12.633	10.785
29	36	10.975	13.124	10.975
30	36	11.253	13.548	11.253
31	36	11.522	13.896	11.522

**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT *GYP SUM*  
PASCA BAKAR**

Kode balok : **BLK VIII**  
Lama Pembakaran : **3 JAM**  
Suhu Pembakaran : **600°C**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.000	0.000	0.000
2	2	0.276	0.329	0.276
3	4	0.625	0.726	0.625
4	6	0.968	1.115	0.968
5	8	1.329	1.539	1.329
6	10	1.673	1.944	1.673
7	12	2.018	2.318	2.018
8	14	2.325	2.712	2.325
9	16	2.661	3.086	2.661
10	18	2.998	3.463	2.998
11	20	3.315	3.838	3.315
12	22	3.618	4.194	3.618
13	24	3.921	4.565	3.921
14	26	4.239	4.921	4.239
15	28	4.556	5.289	4.556
16	30	4.868	5.649	4.868
17	32	5.193	6.014	5.193
18	34	5.521	6.395	5.521
19	36	5.746	6.848	5.746
20	38	6.312	7.434	6.312
21	38	6.723	8.099	6.723
22	38	7.289	8.627	7.289
23	38	7.545	9.115	7.545
24	38	7.892	9.768	7.892
25	38	8.085	10.242	8.085
26	38	8.597	10.654	8.597
27	38	9.022	11.329	9.022
28	38	9.448	11.951	9.448
29	38	9.879	12.565	9.879
30	38	10.215	13.128	10.215
31	38	10.652	13.782	10.652

**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT *GYPSUM*  
PASCA BAKAR**

Kode balok : **BLK IX**  
Lama Pembakaran : **3 JAM**  
Suhu Pembakaran : **600°C**

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.000	0.000	0.000
2	2	0.395	0.442	0.395
3	4	0.874	0.925	0.874
4	6	1.349	1.386	1.349
5	8	1.772	1.845	1.772
6	10	2.215	2.359	2.215
7	12	2.614	2.739	2.614
8	14	3.024	3.184	3.024
9	16	3.415	3.568	3.415
10	18	3.781	3.995	3.781
11	20	4.152	4.381	4.152
12	22	4.519	4.755	4.519
13	24	4.886	5.118	4.886
14	26	5.248	5.449	5.248
15	28	5.615	5.834	5.615
16	30	5.971	6.226	5.971
17	32	6.412	6.678	6.412
18	34	6.865	7.152	6.865
19	36	7.218	7.589	7.218
20	36	7.746	8.252	7.746
21	36	8.312	9.042	8.312
22	36	8.965	9.825	8.965
23	36	9.589	10.845	9.589
24	36	10.145	11.128	10.145
25	36	10.515	11.531	10.515
26	36	10.918	12.074	10.918
27	36	11.314	12.643	11.314
28	36	11.635	13.157	11.635
29	36	12.089	13.875	12.089
30	36	12.413	14.338	12.413
31	36	12.978	14.695	12.978

**TABEL HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT *GYPSUM*  
PASCA BAKAR (RERATA)**

Lama Pembakaran : 3 JAM

Suhu Pembakaran : 600°C

No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000
2	2	0.3397	0.3857	0.3397
3	4	0.7507	0.8220	0.7507
4	6	1.1707	1.2510	1.1707
5	8	1.5653	1.6883	1.5653
6	10	1.9620	2.1457	1.9620
7	12	2.3347	2.5407	2.3347
8	14	2.6803	2.9510	2.6803
9	16	3.0337	3.3453	3.0337
10	18	3.3993	3.7473	3.3993
11	20	3.7610	4.1193	3.7610
12	22	4.1120	4.4787	4.1120
13	24	4.4397	4.8493	4.4397
14	26	4.7707	5.1950	4.7707
15	28	5.0967	5.5620	5.0967
16	30	5.4170	5.9330	5.4170
17	32	5.7507	6.3577	5.7507
18	34	6.1333	6.8683	6.1333
19	36	6.4517	7.3743	6.4517
20	36.6667	6.9650	7.9583	6.9650
21	36.6667	7.5173	8.6220	7.5173
22	36.6667	8.1153	9.3113	8.1153
23	36.6667	8.6163	9.9593	8.6163
24	36.6667	9.1017	10.4567	9.1017
25	36.6667	9.4313	10.9403	9.4313
26	36.6667	9.8647	11.4153	9.8647
27	36.6667	10.2663	12.0077	10.2663
28	36.6667	10.6227	12.5803	10.6227
29	36.6667	10.9810	13.1880	10.9810
30	36.6667	11.2937	13.6713	11.2937
31	36.6667	11.7173	14.1243	11.7173



**TABEL HUBUNGAN MOMEN DAN KELENGKUNGAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN SELIMUT GYPSUM  
PASCA BAKAR (RERATA)**

Lama Pembakaran : 3 JAM

Suhu Pembakaran : 600°C

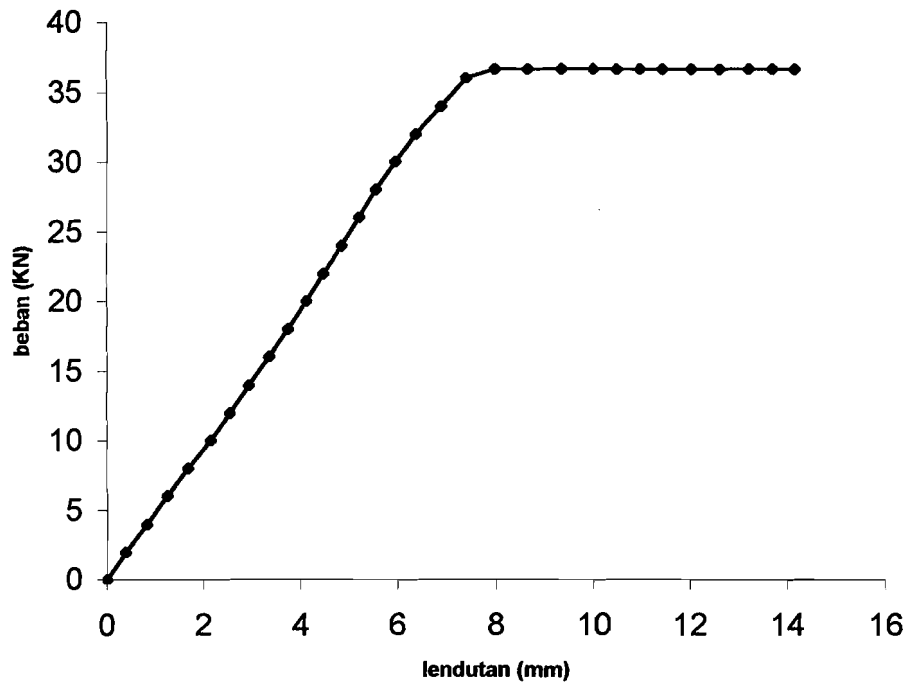
No	Beban (KN)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (1) (kN-m)	Kelengkungan (2) (1/m)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.0000000
2	2	0.3397	0.3857	0.3397	0.6	0.0010222
3	4	0.7507	0.8220	0.7507	1.2	0.0015851
4	6	1.1707	1.2510	1.1707	1.8	0.0017851
5	8	1.5653	1.6883	1.5653	2.4	0.0027333
6	10	1.9620	2.1457	1.9620	3.0	0.0040814
7	12	2.3347	2.5407	2.3347	3.6	0.0045777
8	14	2.6803	2.9510	2.6803	4.2	0.0060148
9	16	3.0337	3.3453	3.0337	4.8	0.0069259
10	18	3.3993	3.7473	3.3993	5.4	0.0077333
11	20	3.7610	4.1193	3.7610	6.0	0.0079629
12	22	4.1120	4.4787	4.1120	6.6	0.0081481
13	24	4.4397	4.8493	4.4397	7.2	0.0091037
14	26	4.7707	5.1950	4.7707	7.8	0.0094296
15	28	5.0967	5.5620	5.0967	8.4	0.0103407
16	30	5.4170	5.9330	5.4170	9.0	0.0114666
17	32	5.7507	6.3577	5.7507	9.6	0.0134888
18	34	6.1333	6.8683	6.1333	10.2	0.0163333
19	36	6.4517	7.3743	6.4517	10.8	0.0205037
20	36.6667	6.9650	7.9583	6.9650	11.0	0.0220740
21	36.6667	7.5173	8.6220	7.5173	11.0	0.0245481
22	36.6667	8.1153	9.3113	8.1153	11.0	0.0265777
23	36.6667	8.6163	9.9593	8.6163	11.0	0.0298444
24	36.6667	9.1017	10.4567	9.1017	11.0	0.0301111
25	36.6667	9.4313	10.9403	9.4313	11.0	0.0335333
26	36.6667	9.8647	11.4153	9.8647	11.0	0.0344592
27	36.6667	10.2663	12.0077	10.2663	11.0	0.0386962
28	36.6667	10.6227	12.5803	10.6227	11.0	0.0435037
29	36.6667	10.9810	13.1880	10.9810	11.0	0.0490444
30	36.6667	11.2937	13.6713	11.2937	11.0	0.0528370
31	36.6667	11.7173	14.1243	11.7173	11.0	0.0534888

Dengan : 1. Momen =  $1/6 \cdot P \cdot L$ ,      L = panjang bentang balok bersih = 1,8 m

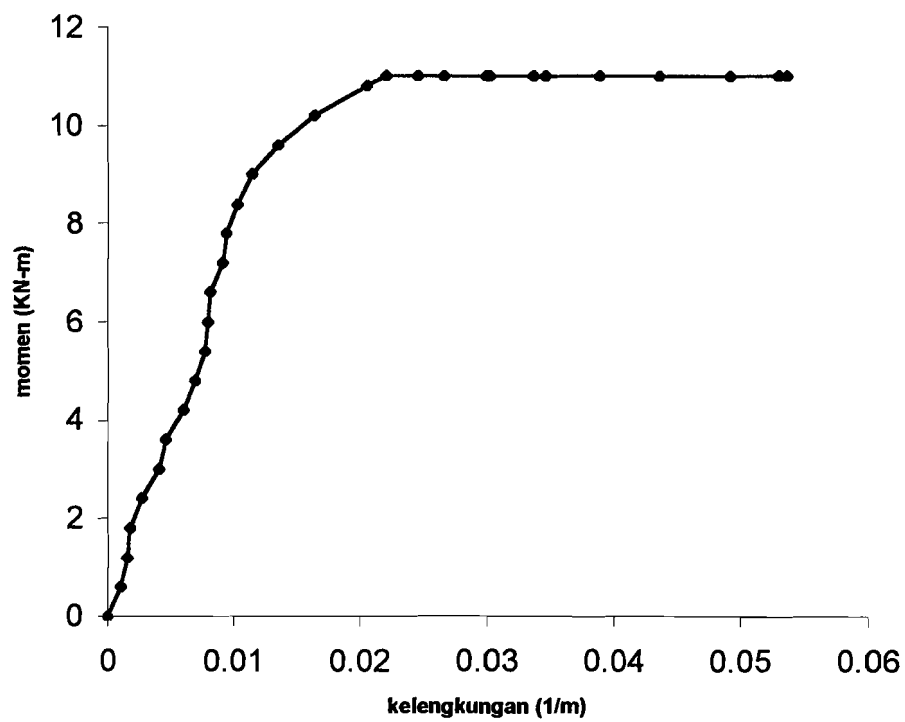
$$2. \text{ Kelengkungan} = \frac{\text{dial 1} - (2 \times \text{dial 2}) + \text{dial 3}}{\Delta x^2}$$

$$\Delta x = \frac{\text{jarak antara 2 titik beban}}{2} = 0,3 \text{ m}$$

**GRAFIK BEBAN - LENDUTAN BALOK BETON  
BERTULANG DENGAN SELIMUT GYPSUM PASCA BAKAR  
(RERATA)**



**GRAFIK MOMEN - KELENGKUNGAN BALOK BETON  
BERTULANG DENGAN SELIMUT GYPSUM PASCA BAKAR  
(RERATA)**



LAMPPIRAN 7

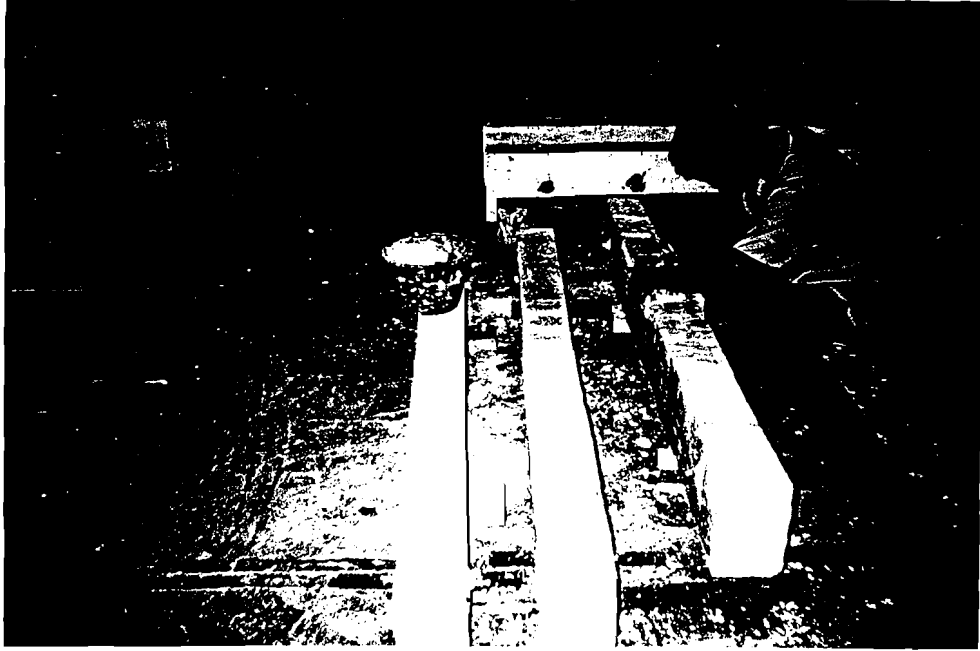
**FOTO-FOTO PENELITIAN**

Foto Pelapisan Balok Uji dengan Selimut *Gypsum*



Foto Balok Uji di dalam Tungku Pembakaran

**FOTO-FOTO PENELITIAN**

Foto Balok Uji dengan Selimut Semen Pasca Bakar



Foto Balok Uji dengan Selimut *Gypsum* Pasca Bakar

Foto Dukungan Rol

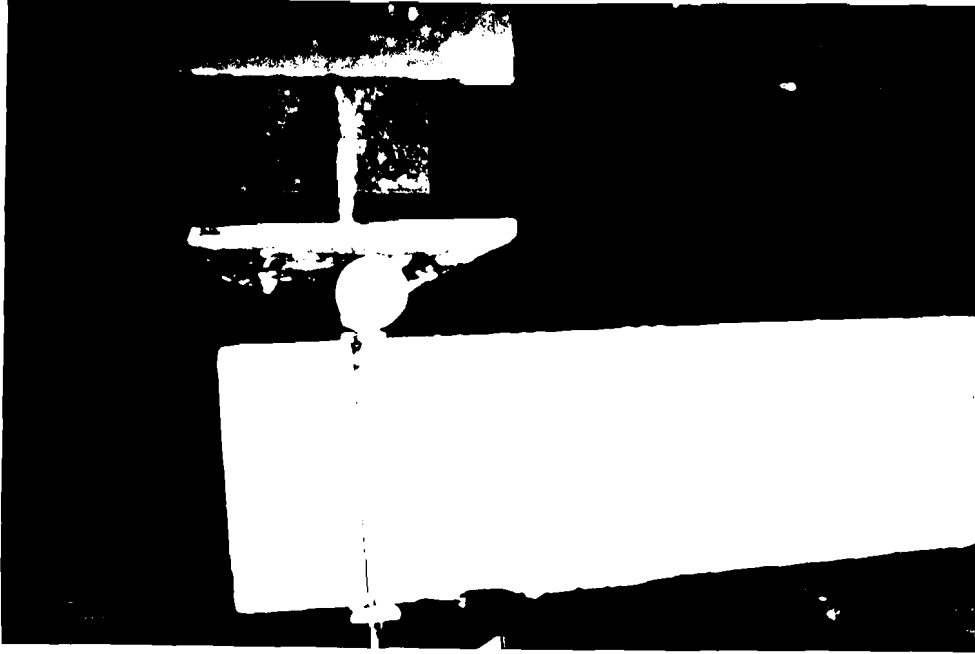
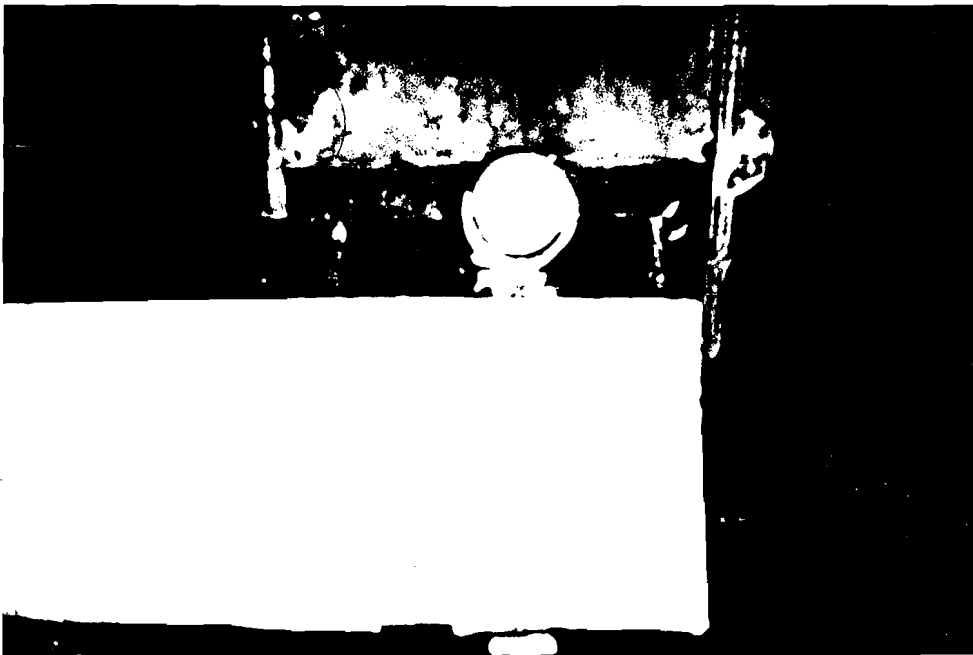
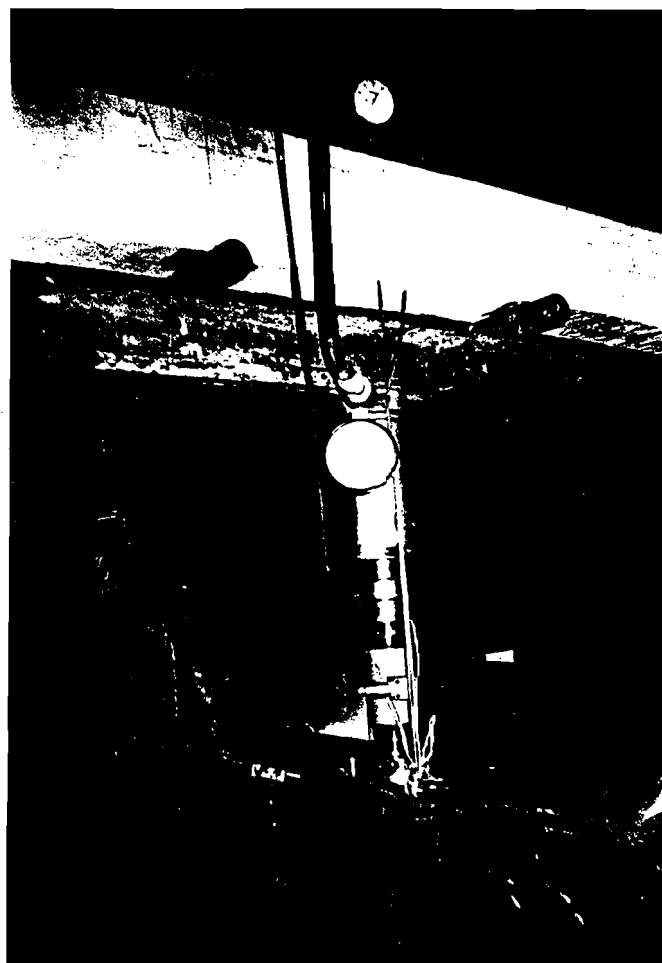


Foto Dukungan Sendi



**FOTO-FOTO PENELITIAN**

Foto Loadcell



**FOTO-FOTO PENELITIAN**

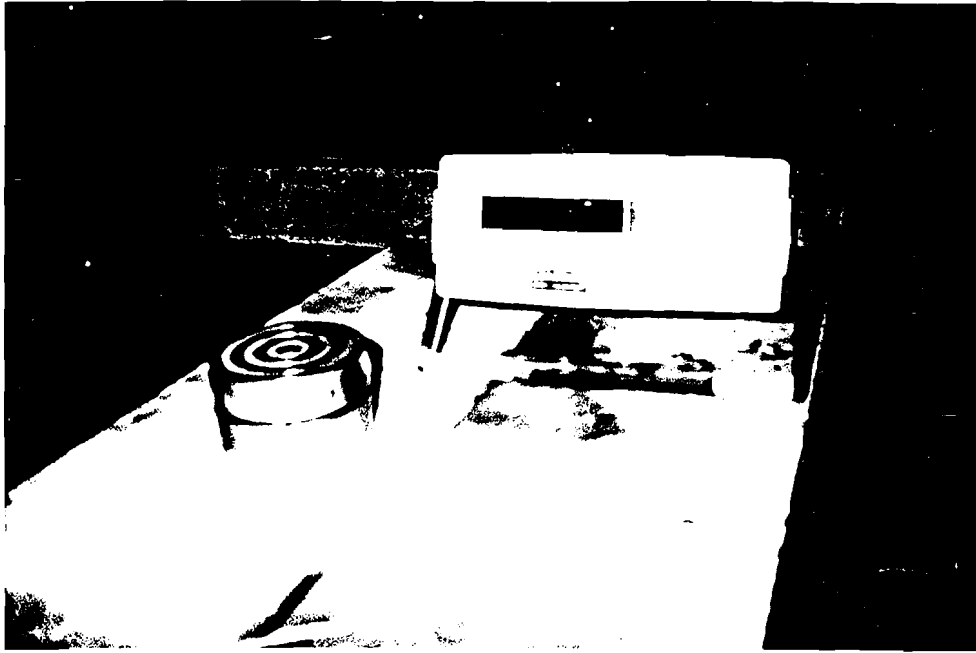
**FOTO-FOTO PENELITIAN**

Foto Alat Pembacaan Beban (*Tranduser*)

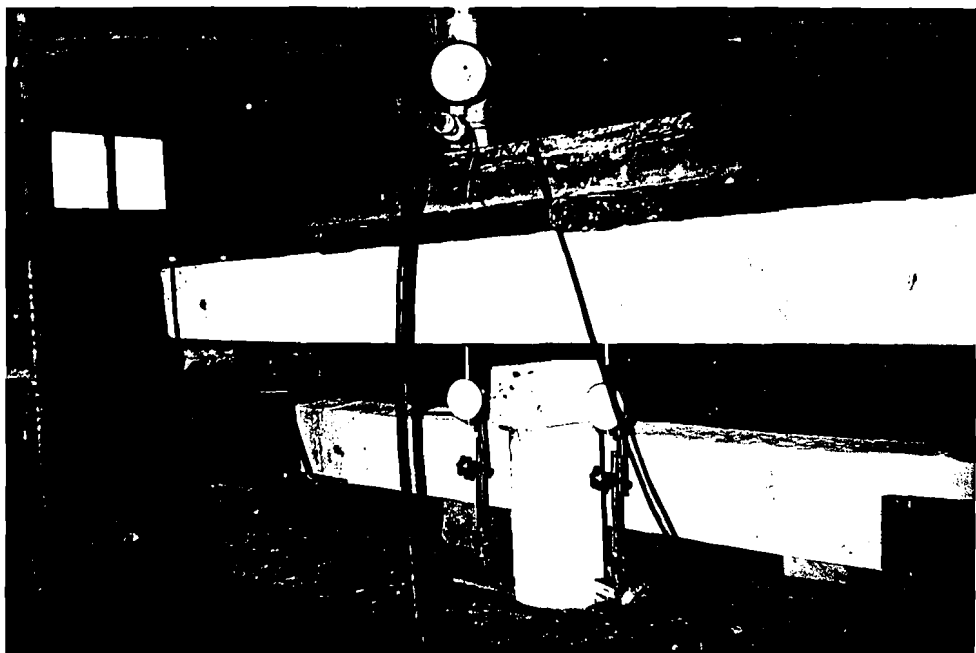


Foto Pengujian Kuat Lentur Balok Uji