

PERPUSTAKAAN FTSP UII

HADIAH/BELI

TGL. TERIMA : 09-10-00

NO. JUDUL :

NO. INV. :

NO. INDIK. : 132

TUGAS AKHIR

5120001266001

**PENGARUH VARIASI GEOMETRI  
SERAT BAJA LOKAL TERHADAP KUAT LENTUR  
BALOK BETON BERTULANG**



TA  
693.54  
CAH  
P  
2000

MILIK PERPUSTAKAAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

Disusun Oleh :

XV, 109 bbl ; 22.900

**Taufan Cahyanto**

No Mhs : 94 310 063

NIRM : 940051013114120062

**Lina Wardani Pramudia N.**

No Mhs : 95 310 026

NIRM : 950051013114120026

• Beton - Serat Baja

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

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH VARIASI GEOMETRI  
SERAT BAJA LOKAL TERHADAP KUAT LENTUR  
BALOK BETON BERTULANG**

Disusun Oleh :

**Taufan Cahyanto**

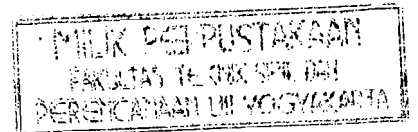
No Mhs : 94 310 063

NIRM : 940051013114120062

**Lina Wardani Pramudia N.**

No Mhs : 95 310 026

NIRM : 950051013114120026



Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Ir. H. Susastrawan, MS.**

**Dosen Pembimbing I**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Susastrawan" with a horizontal line underneath.

Tanggal : 7 - 9 - 2000

**Ir. Fathurrohman NS, MT.**

**Dosen Pembimbing II**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Fathurrohman" with a horizontal line underneath.

Tanggal : 7 - 9 - 2000

---

## KATA PENGANTAR

---

*Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan ridho-Nya kepada kita semua, khususnya kepada penyusun sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang merupakan syarat guna memperoleh derajat strata satu (S-1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

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

1. Bapak Ir. H. Susastrawan, MS ,selaku Dosen Pembimbing I,
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman NS, MT , selaku Dosen Pembimbing II,
3. Bapak Ir. H. A. Kadir Aboe, MS , selaku dosen tamu
4. Bapak dan Ibu tercinta yang telah memberi dorongan moril maupun materil dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
5. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, PhD , selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
6. Bapak Ir. H. Tadjuddin BMA, MS , selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,

- 
7. Bapak Ir. Ilman Noor, MSCE , selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
  8. Bapak Ir. Albani Musyafa , selaku pengelola Laboratorium Struktur FTSP Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
  9. Mas Daru dan mas Warno selaku pengelola Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
  10. Teman-teman yang telah membantu dalam pelaksanaan pengujian benda uji dan penyusunan Tugas Akhir ini.

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

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

Semoga Allah SWT memberkati kita semua, Amien.

---

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, Agustus 2000

Penyusun

---

## DAFTAR ISI

---

HALAMANJUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
DAFTAR SIMBOL .....	xiii
INTISARI .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
BAB III LANDASAN TEORI .....	7
3.1 Kuat Tekan Beton / Beton Fiber.....	7
3.2 Kuat Tarik Beton / Beton Fiber.....	8

<b>3.3 Kekuatan Momen Lentur Penampang Persegi Balok Beton</b>	
Bertulang .....	9
3.3.1 Kekuatan momen lentur beton normal.....	9
3.3.2 Kekuatan momen lentur beton bertulang yang diberi fiber.....	13
3.4 Hubungan Beban dan Lendutan.....	17
3.5 Kelengkungan balok.....	18
3.6 Analisis Momen Kelengkungan.....	19
3.6.1 Kelengkungan balok.....	19
3.6.2 Leleh ultimit momen kelengkungan.....	22
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
4.1 Beton Serat.....	25
4.1.1 Bahan penyusun beton serat.....	27
1. Semen.....	27
2. Air.....	27
3. Agregat.....	28
4. Serat baja.....	29
5. Tulangan baja.....	29
6. Cetakan benda uji (bekisting).....	30
4.1.2 Alat yang digunakan.....	30
1. Ayakan.....	30
2. Alat ukur slump.....	30
3. Mesin uji kuat desak.....	31

4. Mesin uji kuat tarik..... ✓	31
5. Hydraulic jack.....	32
6. Dial gauge.....	32
7. Loading frame.....	33
8. Dukungan rol dan sendi.....	33
9. Timbangan.....	34
10. Mistar dan kapiler.....	34
11. Cetok dan talam baja.....	34
12. Mesin pengaduk beton (rotating drum).....	34
4.2 Pelaksanaan Penelitian.....	34
4.2.1 Persiapan.....	34
1. Uji pasir.....	35
2. Uji batu pecah.....	35
3. Perencanaan adukan beton.....	35
4. Membuat model balok beton bertulang.....	35
4.2.2 Persiapan peralatan.....	36
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>37</b>
5.1 Hasil Penelitian.....	37
5.1.1 Kuat tekan dan kuat tarik beton..... ✓	37
5.1.2 Kualitas baja tulangan.....	38
5.1.3 Hubungan beban-lendutan.....	38
1. Kurva hubungan beban dengan lendutan.....	39
2. Analisa data hubungan beban dengan lendutan.....	41

5.1.4	Hubungan momen dengan kelengkungan.....	42
1.	Momen-kelengkungan teoritis.....	42
2.	Momen-kelengkungan hasil penelitian.....	43
3.	Perbandingan momen kelengkungan teoritis dengan pengamatan.....	45
4.	Analisa data hubungan momen dengan kelengkungan .....	46
5.2	Pembahasan.....	47
5.2.1	Kuat lentur balok ditinjau dari hubungan beban dan lendutan..... ✓	47
5.2.2	Kuat lentur balok ditinjau dari hubungan momen dan kelengkungan..... ✓	50
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		52
6.1	Kesimpulan.....	52
6.2	Saran.....	53

---

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Keterangan	Halaman
3.1	Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang (SK SNI T-15-1991-03)	10
3.2	Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber (Suhendro, 1991)	13
3.3	Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber (Henager & Doherty, 1976)	16
3.4	Diagram hubungan antara beban (P) dan Lendutan ( $\Delta$ )	17
3.5	Momen kelengkungan	18
3.6	Kelengkungan balok	20
3.7	Kurva momen kelengkungan	23
4.1	Universal Testing Material Shimatzu UMH30	31
4.2	Hydraulic jack	32
4.3	Dial gauge	32
4.4	Dukungan sendi dan rol	33
4.5	Tulangan benda uji	36
5.1	Kurva beban-lendutan untuk beton fiber lurus	40
5.2	Kurva beban-lendutan dari 5 jenis variasi geometri	

	serat baja lokal	40
5.3	Kurva momen kelengkungan teoritis	43
5.4	Kurva momen-kelengkungan untuk BFL	45
5.5	Kurva perbandingan momen-kelengkungan secara teoritis dan kenyataan untuk jenis BFL	46
5.6	Kurva hubungan momen-kelengkungan dari 5 variasi geometri.	47

---

## DAFTAR TABEL

---

Tabel	Keterangan	Halaman
4.1	Variasi geometri serat baja lokal	29
5.1	Kuat tekan dan kuat tarik rata-rata silinder beton fiber umur 28 hari	37
5.2	Hasil pengujian kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan	38
5.3	Hasil pengujian balok beton fiber lurus	39
5.4	Kekuatan maksimum balok beton serat	39
5.5	Analisa data hubungan beban dengan lendutan	41
5.6	Hasil perhitungan momen kelengkungan teoritis BFL	42
5.7	Hasil perhitungan momen-kelengkungan BFL	44
5.8	Analisa data momen kelengkungan	47

---

## DAFTAR LAMPIRAN

---

Lampiran 1	Data pemeriksaan gradasi agregat halus
Lampiran 2	Data pemeriksaan gradasi agregat kasar
Lampiran 3	Data pemeriksaan berat jenis agregat kasar
Lampiran 4	Data pemeriksaan berat jenis agregat halus
Lampiran 5	Data uji tarik baja tulangan, uji belah silinder dan data tegangan-regangan beton serat umur 28 hari
Lampiran 6	Data pengujian kuat lentur balok beton serat
Lampiran 7	Data momen kelengkungan balok beton serat
Lampiran 8	Ploting grafik tegangan-regangan silinder beton serat umur 28 hari
Lampiran 9	Ploting kurva beban-lendutan dan momen-kelengkungan balok beton serat
Lampiran 10	Mix design
Lampiran 11	Perhitungan kuat desak beton serat umur 28 hari
Lampiran 12	Perhitungan momen retak secara teori
Lampiran 13	Perhitungan momen-kelengkungan secara teori
Lampiran 14	Foto-foto

---

## DAFTAR SIMBOL

---

$A$  = Luas

$A_s$  = Luas tulangan

$A'_s$  = Luas tulangan tarik

$a$  = Panjang bentang geser

$b$  = Lebar balok

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

$C_s$  = Resultan gaya desak

$C_c$  = Resultan gaya desak dari beton fiber

$d$  = Tinggi efektif balok

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

$E$  = Modulus elastisitas beton

$EI$  = Faktor Kekakuan

---

$F$  = Gaya

$f'_c$  = Kuat tekan beton

$f'_{cr}$  = Kuat tekan beton rata-rata

$f_{ct}$  = Kuat tarik beton/beton fiber

$f_s$  = Tegangan baja

$f_y$  = Tegangan leleh baja

$h$  = tinggi balok

---

$I$  = Momen Inersia

---

$k$  = kekakuan

$L$  = panjang

$L_n$  = Bentang efektif balok

$M$  = Momen

$M_u$  = Momen terfaktor

$M_n$  = Momen nominal

$P$  = Beban

$s$  = spasi sengkang

$s_d$  = standard deviasi

$T_s$  = Resultan gaya tarik

$T_f$  = Resultan gaya tarik dari beton fiber

$V_f$  = Fiber volume fraction

$y$  = Perpindahan

---

$y'$  = Slope/ Turunan Pertama displacement terhadap sumbu x

$y''$  = kelengkungan/ turunan displacement kedua terhadap sumbu x

$\Phi$  = Kelengkungan

$\pi$  = konstanta (3,14159)

$\Delta$  = Lendutan

$\varepsilon$  = Regangan

$\rho$  = Rasio penulangan

$\nu$  = Ratio Poisson

---

## INTISARI

---

Pemakaian beton sebagai salah satu bahan bangunan dalam berbagai pengerjaan struktur teknik sipil mempunyai berbagai kelebihan dan kekurangan. Salah satu kelebihannya adalah kuat desak yang tinggi, dan kekurangannya yaitu kuat tarik dan kuat geser yang rendah. Sifat beton yang kurang baik ini dicoba diperbaiki dengan pemberian serat atau fiber pada beton. Dengan penambahan serat atau fiber kedalam adukan beton ini diharapkan sifat beton ini (kuat desak, kuat tarik, kuat geser) dapat diperbaiki atau meningkat menjadi lebih baik. Geometri dan diameter serat baja juga berpengaruh pada kuat lentur beton, ini disebabkan karena terjadinya lekatan antara serat baja dengan pasta dalam beton (*bond strenght*) dan kemampuan serat untuk mempertahankan lekatannya pada beton (*pull-out resistance*), karena apabila *bond strenght* dan *pull-out resistance* yang terjadi kuat maka kekuatan beton serat akan bertambah besar.

Penelitian eksperimental ini menguji 15 balok dengan lima variasi geometri fiber atau serat baja lokal yang masing-masing variasinya terdiri dari 3 balok. Variasi geometri yang digunakan terdiri dari serat baja lurus (*straight-fiber*), serat baja berkait (*hooked-fiber*), serat baja *twin-cone*, serat baja spiral (*crimped-fiber*) tipe 1 dan serat baja spiral (*crimped-fiber*) tipe 2. Kuat tekan diketahui melalui uji tekan pada silinder beton sedangkan kuat tarik diketahui melalui uji belah pada silinder beton. Untuk kuat lentur diketahui melalui pengujian balok beton bertulang. Dari uji balok ini diperoleh kurva hubungan antara beban-lendutan ( $P-\Delta$ ) dan momen-kelengkungan ( $M-\Phi$ ) yang menunjukkan sifat khas dari perilaku struktur.

Dari eksperimen dapat diketahui bahwa penambahan serat baja lokal (bendrat) dengan  $V_f = 1\%$  dari volume adukan akan meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton. Dari pengujian dengan lima variasi geometri serat baja lokal menunjukkan peningkatan kuat tekan rata-rata 33% sampai 44% dan peningkatan kuat tarik rata-rata 9% sampai 34% dibandingkan dengan beton fiber bergeometri lurus, dengan peningkatan tertinggi untuk kuat tekan dan kuat tarik adalah jenis beton serat spiral tipe 1 sebesar 44,227% untuk kuat tekan dan 34,555% untuk kuat tarik. Sedangkan kekuatan dalam menahan beban ( $P$ ) untuk balok beton serat spiral tipe 1 mengalami peningkatan sebesar 5% serta nilai kekakuan ( $k$ ) meningkat sebesar 96,73% sebelum mengalami retak pertama dan 28,86% setelah mengalami retak pertama dibandingkan balok beton serat lurus. Besarnya momen yang mampu ditahan oleh balok beton serat secara keseluruhan pada waktu menerima beban maksimum pertama tidak mengalami perubahan. Beton serat spiral tipe 1 memiliki kuat lentur tertinggi diantara variasi geometri yang lainnya dengan peningkatan faktor kekakuan ( $EI$ ) sebesar 177,97%.

---

---

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pemakaian beton sebagai bahan bangunan dalam berbagai struktur teknik sipil mempunyai banyak kelebihan dalam menahan tegangan desak, mudah dibentuk sesuai kebutuhan, perawatan murah, dan dapat memanfaatkan bahan-bahan lokal, maka beton tersebut sangat populer dipakai, baik untuk struktur-struktur besar ataupun kecil. Meskipun demikian karena sifatnya yang getas (*brittle*) dan praktis tidak mampu menahan tegangan tarik, bahan tersebut mempunyai keterbatasan dalam penggunaannya. Dalam praktek, kedua sifat kurang baik dari beton tersebut memang dapat dihindari pengaruhnya dengan pemakaian tulangan baja yang ditempatkan secara benar.

Beton mempunyai kuat tarik yang kecil dibandingkan dengan kuat desaknya. Salah satu usaha untuk meningkatkan kuat tarik dan daktilitasnya adalah dengan memberi bahan tambah berupa serat pada adukan beton. Ide dasarnya adalah menulangi beton dengan serat (*fiber*) yang disebarkan secara merata ke dalam adukan beton dengan orientasi yang random, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini, baik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan. Dengan tercegahnya retakan-retakan yang



---

~~terlalu dini, kemampuan bahan untuk mendukung tegangan-tegangan dalam~~

(aksial, lentur, dan geser) yang terjadi akan jauh lebih besar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dengan penambahan serat baja pada adukan beton, maka kuat desak dan kuat lentur beton akan bertambah besar. Geometri serat baja juga berpengaruh pada kuat lentur beton, ini disebabkan karena terjadinya lekatan antara serat baja dengan pasta dalam beton (*bond strength*) dan kemampuan serat untuk mempertahankan lekatannya pada beton (*pull-out resistance*), karena apabila *bond strength* dan *pull-out resistance* yang terjadi kuat maka kekuatan beton serat akan bertambah besar.

Dengan demikian dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu :

- Se jauh mana pengaruh geometri serat baja lokal yang digunakan terhadap kuat lentur benda uji balok beton bertulang ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

---

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui kuat desak beton dan kuat lentur balok beton bertulang yang paling besar dengan bahan tambah serat baja lokal dalam geometri yang bervariasi dibandingkan dengan serat baja lokal lurus.

## 1.4 Batasan Masalah

Mengacu pada tujuan di atas, maka variasi geometri dari serat baja lokal adalah :

1. serat baja lurus (*straight-fiber*)

---

2. serat baja berkait (*hooked-fiber*)

---

3. serat baja spiral (*crimped-fiber*)

4. serat baja *twin-cone*

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dengan penambahan serat baja lokal ke dalam adukan beton dengan geometri yang bervariasi, maka diharapkan dapat meningkatkan kuat lentur balok beton bertulang dan dapat diketahui geometri serat baja lokal yang mampu memberi kuat lentur terbesar.

---

---

---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Beton serat (*fiber reinforced concrete*) menurut *ACI committe* adalah konstruksi beton dengan bahan susun semen, agregat halus dan agregat kasar serta sejumlah kecil serat (*fiber*). Para peneliti di negara-negara maju telah berusaha memperbaiki sifat-sifat kurang baik dari beton dengan cara menambahkan serat (*fiber*) pada adukan beton. Ide dasarnya adalah menulangi beton dengan serat (*fiber*) yang disebarakan secara merata ke dalam adukan beton dengan orientasi random, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan-retakan yang terlalu dini, baik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan. Dengan tercegahnya retakan-retakan yang terlalu dini pada beton, maka kemampuan beton untuk menahan tegangan-tegangan dalam (aksial, lentur, dan geser) akan jauh lebih besar dibandingkan dengan beton non serat (Suhendro, 1990).

Swamy dan Al-Noori (1974) dari Tugas Akhir Tunjung Rahayu N dan M. Nur Trihandoko, mengamati bahwa bentuk serat akan berpengaruh pada kuat lekat dan kehadiran serat pada beton akan menaikkan kekakuan dan mengurangi lendutan (defleksi) yang terjadi.

Soroushian & Bayasi (1987) dari penelitian Suhendro mengemukakan beberapa macam bahan serat (*fiber*) yang dapat dipakai untuk memperbaiki sifat-

---

sifat beton. Bahan serat (*fiber*) tersebut adalah baja (*steel*), plastik (*polypropylene*), kaca (*glass*), dan karbon (*carbon*).

**Suhendro (1990)** dalam penelitiannya telah membuktikan bahwa sifat kurang baik beton yaitu getas, praktis tidak mampu menahan tegangan tarik dan momen lentur, dan ketahanan rendah terhadap beban kejut dapat secara dramatis diperbaiki dengan menambahkan serat baja lokal yang terbuat dari potongan-potongan kawat pada adukan beton. Dibuktikan pula bahwa tingkat perbaikan yang diperoleh dengan menggunakan serat baja lokal tidak kalah dengan hasil-hasil yang dilaporkan di luar negeri dengan menggunakan *steel fiber* yang asli.

**Suhendro (1991)** dalam penelitiannya mengemukakan bahwa pemberian potongan-potongan serat baja lokal dengan bentuk lurus berdiameter 1 mm dan mempunyai panjang 60 mm dengan fraksi 0,5% berhasil meningkatkan kuat lentur sekitar 50% bila dibandingkan dengan beton tanpa fiber, daktilitas, dan kuat desak beton. Dalam penelitian ini dikemukakan pula bahwa *pull-out resistance* serat baja lurus hanya mengandalkan pada lekatan (*bond*) antara serat baja dengan bahan betonnya.

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

Banyak sekali jenis serat yang dapat dipakai untuk memperbaiki sifat-sifat struktural beton, mulai dari serat karbon (*carbon fibers*) yang sangat mahal sampai serat alam yang murah. Tiap jenis serat akan mempunyai keuntungan dan kerugian sendiri-sendiri (**Sudarmoko, 1991**).

---

**Pratomo (1991)** dalam penelitiannya mengemukakan bahwa beton serat

---

akan dapat meningkatkan kuat lentur balok beton. Meskipun sudah terjadi retak pertama (*first crack*), keruntuhannya tidak dapat terjadi secara total dan serat mampu membatasi ukuran dan berkembangnya retak yang berlebihan. Pada penelitian tersebut ditunjukkan pula adanya peningkatan indeks tahan lentur sebesar 19 kali dari beton normal yang dicapai pada kandungan serat 1%. Hal ini menunjukkan bahwa beton serat mempunyai kemampuan untuk menyerap energi lenturan yang terjadi akibat pembebanan.

Adapun sifat-sifat beton yang dapat diperbaiki oleh perilaku beton serat menurut penelitian **Suhendro (1993)** adalah: daktilitas (*ductility*), ketahanan terhadap menahan beban kejut (*impact resistance*), kemampuan untuk menahan tarik dan momen lentur, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue life*), ketahanan terhadap pengaruh susutan (*shrinkage*) dan ketahanan terhadap ausan (*abrasion*).

Serat baja (*steel fibers*) dengan konsentrasi 1 % dapat meningkatkan kuat tarik, meningkatkan nilai kekakuan, dan daktilitas pada beton normal dan beton mutu tinggi, selain itu dengan kandungan serat baja yang sama pada benda uji balok, maka untuk beton mutu tinggi akan memiliki lebar keretakan yang lebih kecil daripada beton normal (**Mitchell, Abrishami & Mindess, 1996**).

Penambahan serat baja berkait (*hooked-fibers*) dengan konsentrasi lebih dari 2 % yang di tempatkan pada sambungan tulangan akan meningkatkan lekatan antara baja tulangan dengan pasta semen dalam balok beton (*bond strength*) sebesar 55 % dibandingkan dengan beton normal (**Harajli & Salloukh, 1997**).

---

---

### BAB III

#### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Kuat Tekan Beton / Beton Fiber

Berdasarkan standar ASTM C39 dari penelitian Eddi Purwanto (1998), uji tekan beton dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Kuat tekan silinder beton dihitung dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

dengan :

$\sigma$  = Kuat tekan silinder beton / beton fiber (Mpa)

P = Beban tekan maximum (N)

A = Luas penampang silinder =  $\frac{1}{4} \pi D^2$  (mm<sup>2</sup>)

Dalam uji kuat tekan silinder ini akan timbul gaya geser yang arahnya tegak lurus dengan beban (P). Pengujian memperlihatkan bahwa apabila silinder beton / beton serat tersebut di beri beban sebesar P pada arah tekan maka silinder tersebut akan mengalami perpendekan arah vertikal dan penambahan dimensi arah horisontal. Rasio satuan deformasi tersebut *ratio poisson*.

$$\nu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \quad (3.2)$$

---

Dan hubungan penting antara konstanta  $E, \nu$  dan  $G$  untuk bahan tertentu

dinyatakan dengan :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3.3)$$

Dimana  $\nu = \text{ratio poisson}$

$\varepsilon_y = \text{regangan arah utama}$

$\varepsilon_x = \text{regangan arah tegak lurus gaya utama}$

$G = \text{Modulus Geser}$

$E = \text{modulus elastisitas (untuk beton } E = 4700\sqrt{f'_c} \text{)}$

Pesamaan (3.3) berguna untuk menghitung harga  $\nu$  bila  $E$  dan  $G$  telah ditetapkan.

Harga umum ratio poisson untuk baja 0,25 sampai dengan 0,30, untuk bahan lain 0,33 dan untuk beton adalah 0,20.

### 3.2 Kuat Tarik Beton / Beton Fiber

Kuat tarik bahan beton menurut SNI-03-2847-1992 adalah :

$$f_t = 0,50\sqrt{f'_c} - 0,60\sqrt{f'_c} \quad (\text{Mpa}), \text{ untuk beton normal} \quad (3.4)$$

Untuk beton serat, kuat tarik beton serat menurut Suhendro adalah :

$$f_t = 0,75\sqrt{f'_c} - 0,90\sqrt{f'_c} \quad (\text{Mpa}) \quad (3.5)$$

dengan,  $f_t = \text{kuat tarik beton, MPa}$

$f'_c = \text{kuat tekan beton, MPa}$

Kuat tarik beton / beton fiber yang dihasilkan dengan uji belah beton silinder (*Split Cylinder Test*), menurut SK SNI M-60-1990-03 pasal 3.8, disebutkan bahwa

---

kuat tarik belah benda uji dihitung dengan ketelitian 0,05 Mpa dengan

menggunakan rumus :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3.6)$$

dengan :

$f_{ct}$  = Kuat tarik beton/ beton fiber (Mpa),

P = Beban maksimum (beban belah / hancur) (N),

L = Panjang silinder beton / beton fiber (mm), dan

D = Diameter silinder beton/ beton fiber (mm).

### 3.3 Kekuatan Momen Lentur Penampang Persegi Balok Beton Bertulang

#### 3.3.1 Kekuatan momen lentur beton normal

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

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

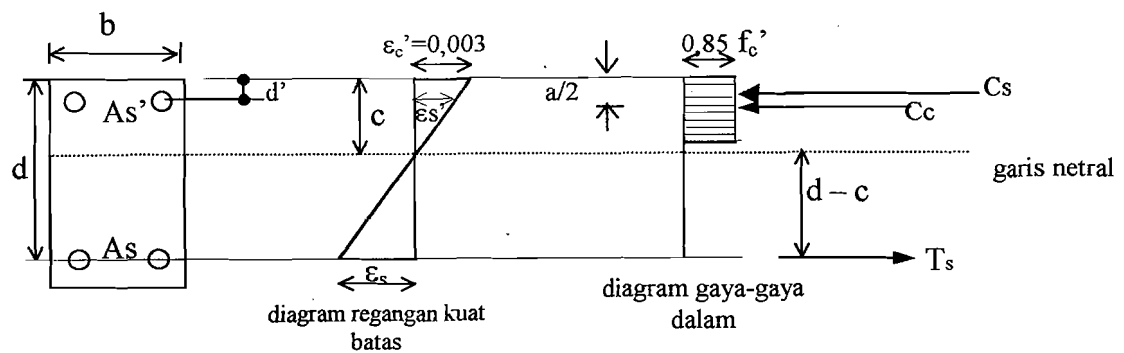


merata sebesar  $0,85 f_c'$  setinggi  $a \equiv \beta_1 c$  dari syarat tekan maximum. Harga

$\beta_1$  diberikan oleh rumus sebagai berikut :

$$\text{Untuk } f_c' < 30 \text{ maka } \beta_1 = 0,85 \quad (3.7)$$

$$\text{Untuk } f_c' > 30 \text{ maka } \beta_1 = 0,85 - 0,008(f_c' - 30) \geq 0,65 \quad (3.8)$$



**Gambar 3.1** Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton normal bertulang (SK SNI T-15-1991-03)

Untuk memudahkan di dalam memahami analisis penampang balok bertulangan rangkap, diberikan ringkasan langkah-langkahnya :

1. Segenap penulangan dianggap meluluh, maka  $f_s = f_s' = f_y$  dan  $A_{s2} = A_s'$
2. Dengan menggunakan persamaan pasangan kopel beton tekan dan tulangan baja tarik dan  $A_{s1} = A_s - A_s'$  hitunglah tinggi blok tegangan tekan  $a$ .

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 f_c') b} = \frac{A_{s1} f_y}{(0,85 f_c') b} \quad (3.9)$$

3. Tentukan letak garis netral,

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (3.10)$$

---

4. Dengan menggunakan diagram regangan memeriksa regangan tulangan baja

---

tekan maupun tarik. Untuk membuktikan apakah anggapan pada langkah awal benar.

$$\varepsilon_s' = \frac{c-d'}{c}(0,003) \quad (3.11a)$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c}(0,003) \quad (3.11b)$$

Dengan menganggap  $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$  yang berarti tulangan baja tarik telah meluluh, akan timbul salah satu dari 2 kondisi berikut ini :

- a. kondisi I :  $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y$  menunjukkan bahwa anggapan pada langkah awal betul dan tulangan baja tekan meluluh.
- b. Kondisi II :  $\varepsilon_s' \leq \varepsilon_y$  menunjukkan bahwa anggapan pada langkah awal tidak betul dan tulangan baja tekan belum luluh.

Kondisi I :

5. Apabila  $\varepsilon_s'$  dan  $\varepsilon_s$  keduanya melampaui  $\varepsilon_y$  maka dihitung kapasitas momen

---

teoritis  $M_{n1}$  dan  $M_{n2}$ . Untuk pasangan kopel gaya tulangan tekan dan tarik :

$M_{n1} = A_s' f_y (d - d')$ , sedangkan untuk pasangan kopel gaya beton tekan dan

tulangan tarik:  $M_{n2} = A_{s1} f_y (d - \frac{1}{2} a)$  dengan demikian

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (3.12a)$$

6.  $M_R = \phi M_n \quad (3.12b)$

7. Pemeriksaan syarat daktilitas dengan membuktikan bahwa rasio penulangan ( $\rho$ ) pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik tidak

---

melampaui  $0,75\rho_b$  dan membuktikan bahwa luas penampang tulangan

---

tulangan baja tarik tidak lebih dari  $A_{s(maks)}$ ,  $\rho_{aktual} = \frac{A_{s1}}{bd}$

Kondisi II :

5. Jika  $\varepsilon_s' < \varepsilon_y$  dan  $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$ , untuk mendapatkan nilai  $c$  digunakan persamaan sebagai berikut :

$$(0,85f_c'b\beta_1)c^2 + (600A_s' - A_s f_y)c - 600d'A_s' = 0 \quad (3.13)$$

dapatkan nilai  $c$  dari persamaan kuadrat baik dengan cara biasa maupun pendekatan.

6. Menghitung tegangan pada tulangan baja tekan :

$$f_s' = \frac{c - d'}{c}(600) \quad (3.14)$$

7. Dapatkan  $a$  dengan menggunakan persamaan  $\alpha = \beta_1 c$

8. Menghitung gaya-gaya tekan :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \quad (3.15a)$$

$$C_s = A_s' f_s' \quad (3.15b)$$

kemudian diperiksa dengan menghitung gaya tarik :

$$T_s = A_s f_y \quad (3.16a)$$

dimana  $T_s = C_c + C_s \quad (3.16b)$

9. Menghitung kuat momen tahanan ideal untuk masing-masing kopel untuk

$$M_{n1} = C_c \left(d - \frac{1}{2}a\right) \text{ dan } M_{n2} = C_s(d - d') \text{ maka diperoleh :}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (3.17a)$$

$$10. M_R = \phi M_n \quad (3.17b)$$

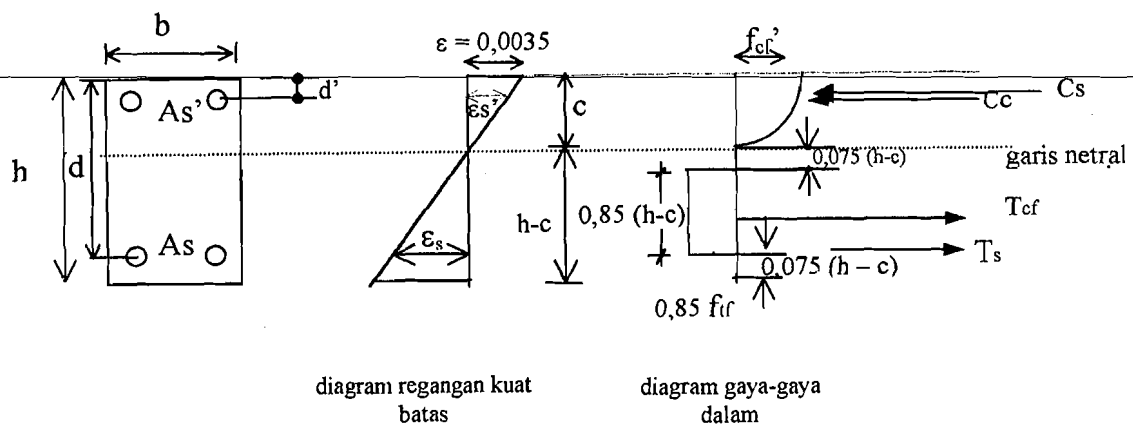
11. Pemeriksaan syarat daktilitas dengan membuktikan bahwa rasio penulangan pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik tidak melampaui nilai  $0,75\rho_b$  dan  $A_{s1}$  dihitung berdasarkan keadaan bahwa tegangan pada tulangan baja tekan belum mencapai  $f_y$

$$A_{s1} = A_s - \frac{A_s' f_s'}{f_y} \quad \text{dan} \quad \rho_{aktual} = \frac{A_{s1}}{bd}$$

atau persyaratan daktilitas diperiksa dengan membandingkan  $A_s$  dengan  $A_{s(maks)}$  dimana dilakukan penyelidikan apakah kondisi seimbang tercapai.

### 3.3.2 Kekuatan momen lentur beton bertulang yang diberi fiber

Distribusi tegangan dan regangan yang diusulkan Suhendro untuk beton serat terlihat pada Gambar 3.2



**Gambar 3.2** Distribusi tegangan dan regangan lentur pada balok beton bertulang yang diberi fiber (Suhendro, 1991).

Dari Gambar 3.2 tersebut terlihat bahwa regangan maximum yang dipakai

pada beton serat adalah 0,0035 sedangkan pada beton normal adalah 0,003. Selain itu kekuatan tarik beton pada beton serat tidak diabaikan.

Gaya-gaya dalam adalah :

$$C_c = 0,67 \cdot f'_c \cdot c \cdot b \quad (3.18)$$

$$C_s = A'_s \cdot f_y \quad (3.19)$$

$$T_{cf} = 0,85 \cdot f_{cf} \cdot 0,85(h - c)b \quad (3.20)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.21)$$

Keseimbangan gaya :

$$\text{Kondisi 1 : } C_c = T_{cf} \quad (3.22)$$

$$\text{Kondisi 2 : } C_s = T_s \quad (3.23)$$

Dari persamaan (3.22), diperoleh letak garis netral (c)

Kontrol regangan baja :

Regangan baja desak

$$\varepsilon'_s = (c - d')/c \times 0,0035 \quad (3.24)$$

Regangan baja tarik

$$\varepsilon_s = (d - c)/c \times 0,0035 \quad (3.25)$$

Kekuatan momen lentur nominal

$$M_{no} = T_s(d - c) + T_{cf}(h - c)/2 + C_c \cdot 5/8 \cdot c + C_s(c - d') \quad (3.26)$$

Notasi yang dipakai :

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

---

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

---

$d$  = tinggi efektif balok (mm),

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

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

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

$h$  = tinggi total balok (mm),

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

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

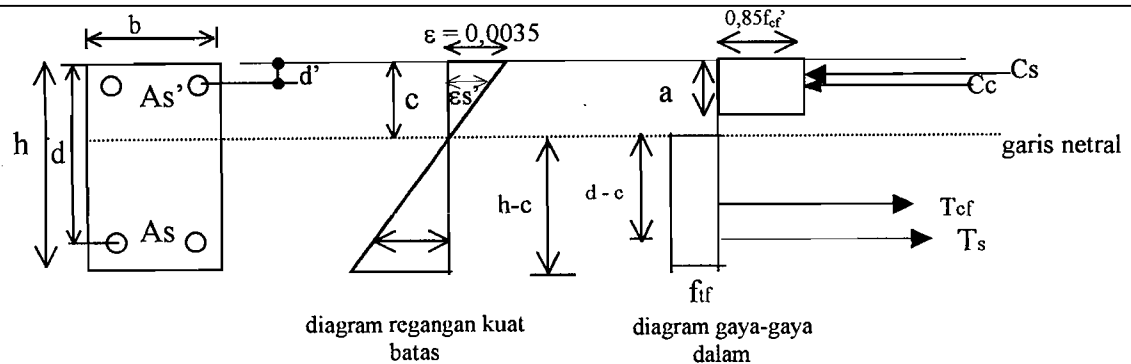
$A_s$  = luas baja tulangan ( $\text{mm}^2$ ),

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

$f'_{tf}$  = kuat tarik beton fiber (Mpa).

Dari persamaan (3.26) pada usulan Suhendro dan persamaan (3.17) pada beton normal terlihat perbedaan, dimana kekuatan momen lentur murni ( $M_{no}$ ) untuk beton serat lebih besar daripada kekuatan momen lentur murni pada beton normal ( $M_n$ ). Ini disebabkan karena kekuatan tarik pada beton serat tidak diabaikan.

Henager dan Doherty (1976) mengusulkan bahwa distribusi regangan dianggap linear, dengan regangan maximum di serat beton terdesak diambil 0,0035. Pada bagian desak dipakai penyederhanaan diagram berbentuk empat persegi panjang ekuivalen. Diagram tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.3



**Gambar 3.3** Distribusi regangan dan tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber. (Henager & Doherty, 1976)

Gaya-gaya dalam adalah :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_{cf} \cdot \beta \cdot c \cdot b \quad (3.27)$$

$$C_s = A'_s \cdot f_y \quad (3.28)$$

$$T_{cf} = f_{cf} \cdot (h - c) \cdot b \quad (3.29)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.30)$$

Keseimbangan gaya

$$\text{Kondisi 1 : } C_c = T_{cf} \quad (3.31)$$

$$\text{Kondisi 2 : } C_s = T_s \quad (3.32)$$

Dari persamaan (3.32), diperoleh letak garis netral ( $c$ )

Kontrol regangan baja :

Regangan baja desak

$$\varepsilon'_s = (c - d')/c \times 0,0035 \quad (3.33)$$

Regangan baja tarik

$$\varepsilon_s = (d - c)/c \times 0,0035 \quad (3.34)$$

---

 Kekuatan momen lentur nominal
 

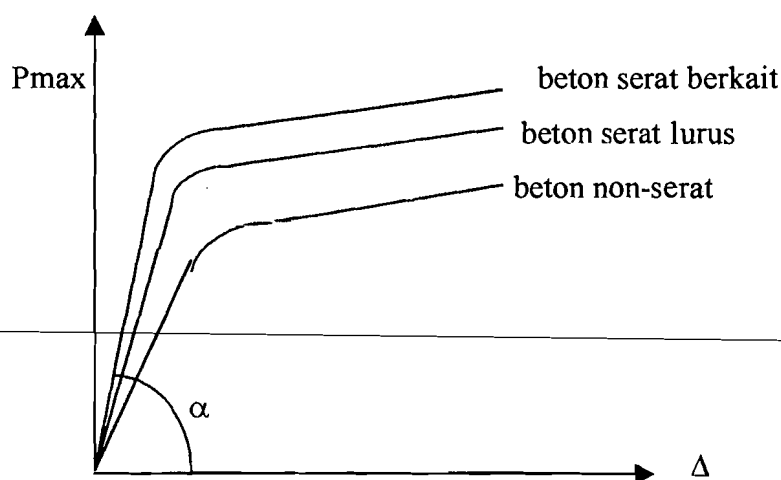
---

$$M_{no} = T_s(d - c) + T_{cf}(h - c)/2 + C_c(c - a/2) + C_s(c - d') \quad (3.35)$$

Notasi yang dipakai sama persis dengan yang telah diuraikan sebelumnya. Dari persamaan (3.35) terlihat bahwa bahwa besarnya kekuatan momen lentur murni dipengaruhi oleh besarnya  $C_c$  dan  $T_{cf}$  dimana nilai kedua parameter tersebut dipengaruhi oleh jenis serat dan geometri serat yang dipakai.

### 3.4 Hubungan Beban dan Lendutan

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



**Gambar 3.4** Diagram hubungan antara beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ )

Dari hubungan antara kekuatan ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ) pada Gambar 3.4, maka diperoleh kekakuan balok ( $k$ ), sebagai berikut :

$$tg\alpha = \frac{P}{\Delta} \quad (3.36)$$

$$k = tg\alpha \quad (3.37)$$



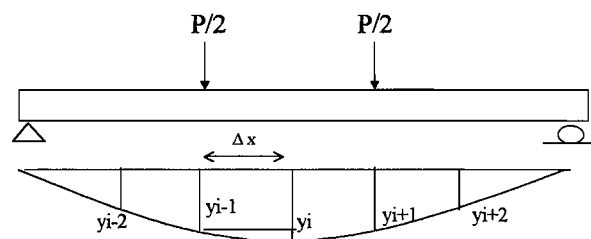
$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (3.38)$$

### 3.5 Kelengkungan

Kelengkungan balok dapat diperoleh dari analisa data perpindahan titik diskert (segmen) dalam sebuah balok. Perpindahan titik diskert (segmen) pada balok dapat diketahui dari pengujian kuat lentur. Hubungan momen, kelengkungan dan faktor kekakuan lentur dinyatakan dengan persamaan :

$$\Phi = \frac{M}{EI} \quad (3.39)$$

Dengan  $\Phi$  ,  $M$  dan  $EI$  berturut-turut menyatakan kelengkungan, momen dan faktor kekakuan. Jika nilai  $EI$  pada elemen balok berkurang maka, kelengkungannya meningkat. Peningkatan kelengkungan ini digunakan untuk menentukan kuat lentur balok beton bertulang. Kelengkungan balok diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan metode *central difference*. Mengacu kepada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Lendutan

Standard kemiringan (sloop) didekati dengan persamaan :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.40)$$

Turunan persamaan (3.40) adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (3.41)$$

Menurut Popov (1984), kelengkungan balok didekati dengan :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \Phi \quad (3.42)$$

Sehingga kelengkungan balok didekati dengan persamaan :

$$\Phi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (3.43)$$

Momen maksimum balok sederhana yang menerima beban seperti pada Gambar 3.5 adalah :

$$M = \frac{1}{6} PL \quad (3.44)$$

Hubungan faktor kekakuan, momen (M) dan kelengkungan ( $\Phi$ ) adalah :

$$EI = \frac{M}{\Phi} \quad (3.45)$$

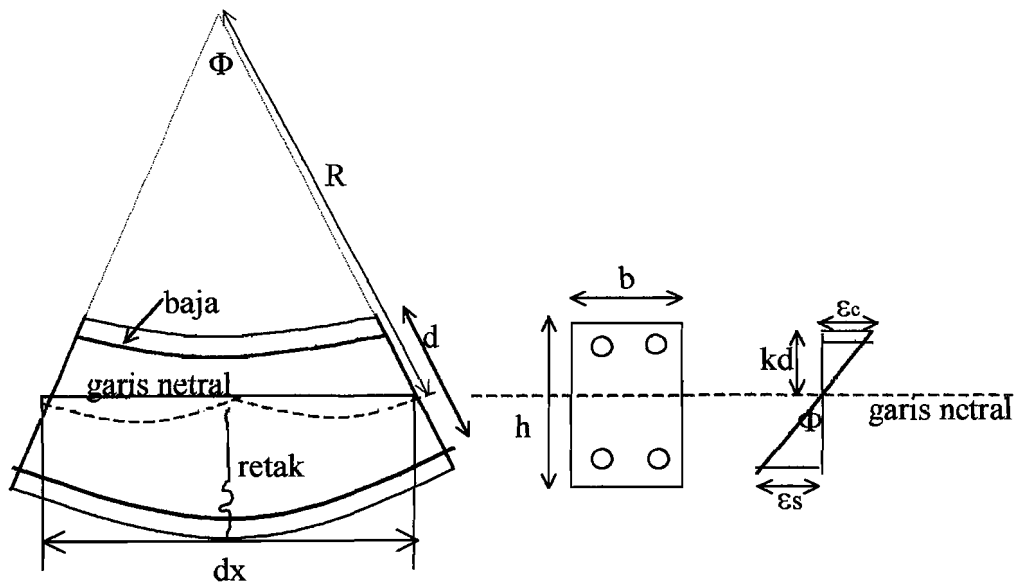
### 3.6 Analisis Momen - Kelengkungan

Hubungan Momen – Kelengkungan menurut Park and Pauley,(1975) pada beton normal.

#### 3.6.1 Kelengkungan balok

Dengan mengambil sebuah elemen lurus dari sebuah balok beton bertulang dengan momen-momen ujung dan gaya axial yang sama seperti Gambar 3.6 . Jari-

jari kelengkungan  $R$  diukur dari garis netral. Adanya retak-retak pada beton akibat terjadi penambahan tegangan akan merubah jari-jari kelengkungan ( $R$ ), tinggi netral ( $kd$ ), regangan beton ( $\epsilon_c$ ) dan regangan baja tarik ( $\epsilon_s$ ).



**Gambar 3.6** Kelengkungan Balok

Menganggap sebuah elemen kecil dengan panjang  $dx$  dari balok dan menggunakan notasi seperti pada Gambar 3.6. maka rotasi diantara ujung-ujung dari elemen diberikan oleh :

$$\frac{dx}{R} = \frac{\epsilon_c dx}{kd} = \frac{\epsilon_s dx}{d(1-k)} \quad (3.46)$$

$$1/R = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} \quad (3.47)$$

dengan  $1/R = \Phi$  (3.48)

maka :  $\Phi = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d}$  (3.49)

dengan :  $\Phi$  = kelengkungan

$\epsilon_c$  = regangan beton

---

$\varepsilon_s$  = regangan baja

---

d = tinggi efektif penampang

Ini menunjukkan bahwa kelengkungan  $\Phi$  adalah gradien dari regangan dari elemen seperti dalam Gambar 3.6 Kelengkungan akan benar-benar berubah sepanjang bentang balok karena naik-turunnya garis netral dan regangan-regangan diantara retak-retak. Jika panjang elemen adalah kecil dan sebuah retak berakhir, kelengkungan dihitung dengan persamaan (3.49) untuk penampang ijin yang diperoleh dari hubungan momen-kelengkungan. Dua grafik yang diperoleh dari penghitungan balok bertulangan sebelah adalah lurus/linear diawal dan hubungan antara momen dan kelengkungan diberikan oleh persamaan :

$$EI = MR = \frac{M}{\Phi} \quad (3.50)$$

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

Hubungan M- $\Phi$  yang ideal adalah ditunjukkan pada grafik tri-linear. Garis awal pertama adalah retak awal, garis kedua adalah tegangan leleh baja dan ketiga adalah regangan ultimit dari beton. Untuk balok beton bertulang dibawah beban layan Hubungan M- $\Phi$  dari beban 0 sampai leleh baja kedua garis hampir linear sehingga sering juga ditampilkan grafik hubngan M- $\Phi$  dalam bentuk bi-linear.

### 3.6.2 Leleh dan ultimit momen – kelengkungan

Gambar 3.6 menunjukkan kasus umum dari sebuah penampang persegi bertulangan ganda pada leleh pertama dari tegangan baja dan regangan ultimit beton. Momen-kelengkungan pada leleh pertama dari baja ( $M_y - \Phi_y$ ) dicari dengan persamaan :

$$M_y = (T_c + T_s)jd \quad (3.51a)$$

$$\Phi_y = \frac{f_y / E_s}{d(1-k)} \quad (3.51b)$$

$$k = \left[ (\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left( \rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right]^{\frac{1}{2}} - (\rho - \rho')n \quad (3.52)$$

Dengan :  $k$  = faktor tinggi garis netral ;  $n = E_s / E_c$ ,  $\rho = \frac{A_s}{bd}$ ,  $\rho' = \frac{A'_s}{bd}$

$M_y$  = Momen leleh pertama

$\Phi_y$  = Kelengkungan leleh pertama

$A_s$  = Luas tulangan tarik

$A'_s$  = Luas tulangan tekan

$d$  = tinggi efektif penampang

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

$E_c$  = Modulus elastis beton

$E_s$  = Modulus elastis baja

$f_y$  = Tegangan leleh baja

$jd$  = lengan dari titik berat baja & beton tekan ke titik berat tulangan & beton tarik

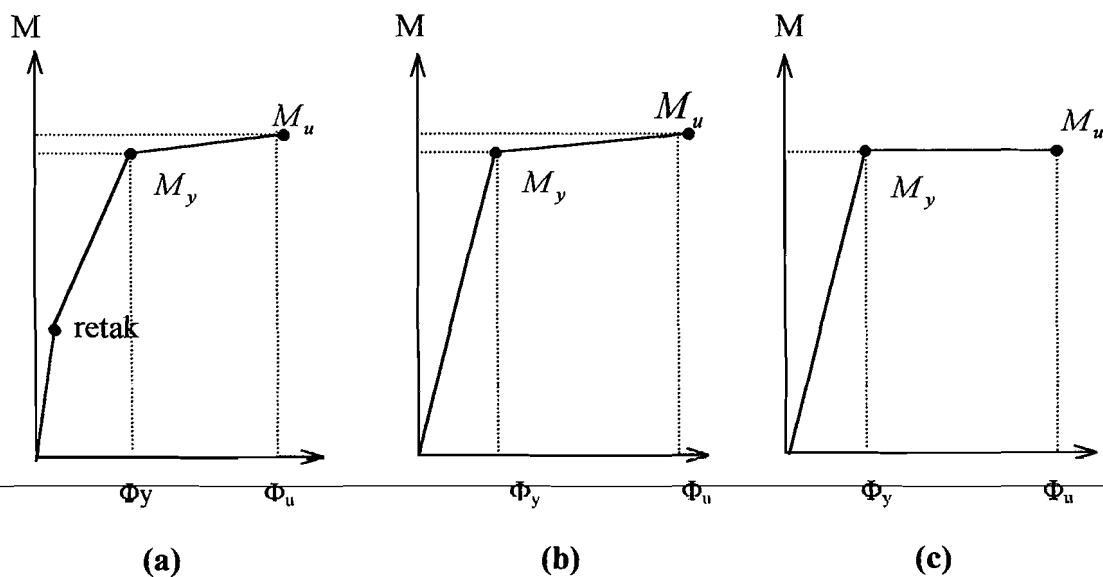
Kelengkungan ultimit dan momen dari penampang bertulangan rangkap (lihat

Gambar 3.6) dicari dengan persamaan :

$$M_u = T_s(d - c) + T_{sf}(h - c)/2 + C_c(c - a/2) + C_s(c - d') \quad (3.53)$$

$$\Phi_u = \frac{\epsilon_c}{c} \quad (3.54)$$

Dari perhitungan secara teoritis dan dari perhitungan data pengujian balok beton serat maka akan diperoleh kurva momen-kelengkungan. Gambar kurva momen-kelengkungan untuk uji lentur ditunjukkan oleh Gambar (3.7)



**Gambar 3.7** Kurva momen-kelengkungan

Untuk Gambar 3.7 (a) menunjukkan kurva momen-kelengkungan tri-linier untuk beton serat. Sedangkan Gambar 3.7 (b) dan (c) adalah kurva momen-kelengkungan bi-linier untuk beton serat.

Dalam penelitian ini metode yang dipergunakan di dalam pembahasan adalah mencari nilai kekakuan (k) dari data uji lentur balok yang dalam hal ini

---

---

akan diperoleh data dari pembacaan beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ). Nilai  $k$  ditinjau pada waktu sebelum retak pertama dan setelah mengalami retak pertama, kemudian dilakukan perhitungan besarnya momen ( $M$ ) dan besarnya kelengkungan ( $\Phi$ ) sehingga diperoleh kurva hubungan momen-kelengkungan seperti pada Gambar 3.7. Dari data kurva  $M-\Phi$  dapat diperoleh nilai faktor kekakuan ( $EI$ ). Dari kurva  $M-\Phi$  dapat juga diperoleh besarnya nilai kelengkungan daktilitas.

$$\frac{\Phi_{\max}}{\Phi_y} - \text{daktilitas kelengkungan} \quad (3.55)$$

---

---

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Beton serat

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan sejumlah kecil serat (*fiber*). Inti dari beton serat adalah menulangi beton dengan serat (*fiber*) yang disebarkan secara merata ke dalam adukan beton dengan orientasi yang random, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini, baik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan. Dengan tercegahnya retakan-retakan yang terlalu dini, kemampuan bahan untuk mendukung tegangan-tegangan dalam (aksial, lentur dan geser) yang terjadi akan jauh lebih besar ( Suhendro, 1990 ).

---

Kelebihan beton serat dalam beberapa sifat strukturalnya daripada beton tanpa serat menurut Soroushian & Bayasi (1987) dari penelitian Suhendro adalah :

1. Keliatan (*ductility*)
2. Ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistace*)
3. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue life* )
4. Kuat tarik (*tensile strength*) dan kuat lenturnya (*flexure strength*) bertambah besar
5. Ketahanan terhadap pengaruh susutan (*shrinkage*)



---

## 6. Ketahanan terhadap ausan (*abrasion*)

---

Namun demikian, karena penanganan beton serat ini agak lain dari beton biasa, maka ada beberapa hal khusus yang harus diperhatikan pada beton serat, yaitu :

1. Masalah *fiber dispersion* atau teknik pencampuran adukan beton agar serat dapat secara merata menyebar dengan orientasi yang random dalam beton. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan memodifikasi teknik pencampuran adukan
2. Masalah *workability* atau tingkat kelecakan adukan beton yang secara umum dikatakan bahwa makin banyak jumlah serat yang dicampurkan ke dalam adukan beton, akan makin menurunkan *workability* beton tersebut. Dan juga semakin besar *aspect ratio* (nilai banding antara panjang serat dan diameter serat) juga akan menurunkan *workability*. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan memodifikasi proporsi adukan

Dalam penelitian ini, penambahan serat baja lokal dengan berbagai variasi geometri diharapkan meningkatkan nilai EI (faktor kekakuan). Meningkatnya nilai EI akan memperbesar momen kelengkungan, peningkatan kelengkungan ini digunakan untuk menentukan kuat lentur balok beton bertulang. Dari berbagai macam geometri tersebut bisa diketahui bentuk mana yang dapat memberikan dampak terbaik terhadap balok beton bertulang sehingga balok tersebut memiliki kuat lentur yang paling besar.

---

#### 4.1.1 Bahan penyusun beton serat

---

##### 1. Semen

Semen sudah diketahui dan digunakan paling tidak sejak dua ribu tahun yang lalu. Bangsa Romawi sudah banyak menggunakan bahan ini pada proyek konstruksi mereka bahkan banyak diantaranya masih berdiri. Semen yang mereka gunakan adalah semen alami dan semen pozzolan, dibuat dari campuran batu gamping dan lempung serta dari campuran kapur mati dengan abu vulkanik yang mengandung silika. Dalam penelitian ini digunakan semen Portland jenis I merk Nusantara dengan berat satuan @ 50 kg. Dipilih semen jenis ini karena paling umum digunakan sebagai perekat adukan beton. Penilaian kualitas semen hanya dilakukan dengan pengamatan secara visual terhadap keutuhan kemasan dan kehalusan butirannya.

##### 2. Air

Air yang dipergunakan diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII Yogyakarta. Air mempunyai pengaruh yang penting dalam pembentukan pasta semen yang berpengaruh pada sifat mudah dikerjakan (*workability*), kekuatan, susut dan keawetan mortarnya. Dalam pemakaian air untuk beton, sebaiknya air memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya dengan konsentrasi lebih dari 2 gram/liter
2. Tidak mengandung garam-garaman yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter
3. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter

---

#### 4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter

---

### 3. Agregat

Agregat adalah butiran yang berfungsi sebagai pengisi dalam campuran beton. Komposisi agregat kurang lebih 70 % dari volume beton, sehingga sifat-sifat dari beton sangat dipengaruhi oleh sifat agregatnya. Agregat dapat diperoleh dari sumber daya alam yang mengalami pengecilan secara alamiah atau pemecahan batuan alam. Agregat yang dipergunakan dalam adukan beton ada 2 macam yaitu :

#### 1. Agregat kasar (kerikil)

Agregat kasar yang digunakan diambil dari daerah Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta yang mempunyai diameter 5 mm sampai 40 mm. Sifat agregat kasar mempunyai pengaruh terhadap kekuatan beton sehingga harus mempunyai bentuk yang baik, bersih, kuat, dan gradasinya baik. Agregat kasar ini dapat diperoleh dari batu pecah, kerikil alami, serta agregat buatan. Dalam penelitian ini, agregat kasar dibagi menjadi 3 gradasi dengan diameter maximum agregat yaitu 20 mm.


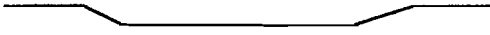

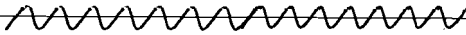

#### 2. Agregat halus (pasir)

Agregat halus mempunyai diameter 0,15 mm sampai 5 mm. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, serta bahan-bahan lain yang dapat merusak beton. Pasir dapat diambil dari pasir galian tanah dan sungai, sedangkan pasir dari laut tidak boleh digunakan untuk adukan beton. Dalam penelitian ini pasir yang dipergunakan didatangkan dari kali Progo, Yogyakarta.

#### 4. Serat baja

Serat baja yang dipergunakan adalah kawat bendrat yang mempunyai diameter 1 mm dan panjang 60 mm dengan konsentrasi 1 % dari volume adukan. Serat baja ini nantinya dicampurkan secara random ke dalam adukan beton. Serat baja ini mempunyai geometri yang bermacam-macam. Variasi geometri dari serat baja lokal tersebut dapat digambarkan pada Tabel 4.1 .

**Tabel 4.1.** Variasi bentuk geometri serat baja lokal

No	Variasi bentuk serat baja lokal	Gambar
1	Serat baja lurus ( <i>straight-fiber</i> )	
2	Serat baja berkait ( <i>hooked-fiber</i> )	
3	Serat baja spiral – 1 ( <i>crimped-fiber-1</i> )	
4	Serat baja spiral – 2 ( <i>crimped-fiber-2</i> )	
5	Serat baja <i>twin-cone</i>	

#### 5. Tulangan baja

Tulangan baja yang dipakai adalah tulangan polos dengan diameter 6mm untuk sengkang, diameter 8mm untuk tulangan memanjang bagian atas dan

---

diameter 12mm untuk tulangan memanjang bagian bawah. Tulangan terlebih dahulu diuji untuk diketahui mutunya.

#### **6. Cetakan benda uji (bekisting)**

Cetakan benda uji dibuat dengan menggunakan multiplek 9mm, dengan tujuan mendapatkan benda uji dengan ukuran presisi dan permukaan benda uji yang rata.

#### **4.1.2 Alat yang digunakan**

##### **1. Ayakan**

Untuk mengetahui gradasi pasir dan kerikil digunakan ayakan. Fraksi yang dipakai untuk pasir yaitu lolos saringan 5mm, sedangkan untuk kerikil dibagi menjadi 3 fraksi yaitu besar, sedang, kecil dengan ukuran kerikil maximum yaitu 20 mm. Untuk fraksi besar yaitu tertahan saringan 16,5 mm untuk fraksi sedang yaitu tertahan saringan 9,5 mm dan untuk fraksi kecil yaitu lolos saringan 9,5 mm.

##### **2. Alat ukur slump**

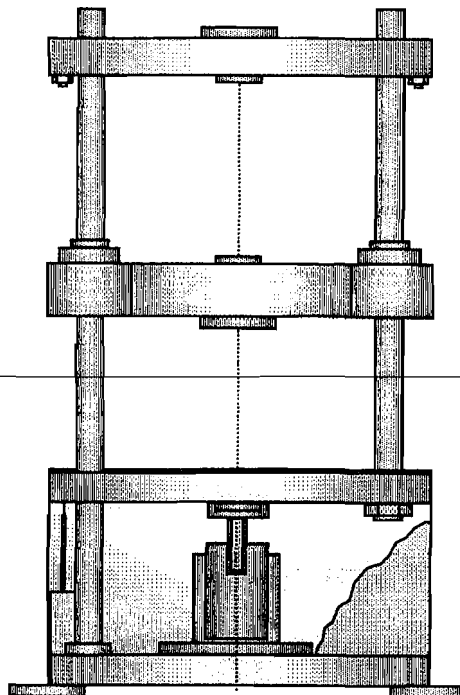
Alat ini digunakan untuk mengukur nilai slump campuran adukan beton yang menunjukkan konsistensi campuran tersebut. Satu set alat uji slump terdiri dari kerucut Abram, batang penumbuk dan alas. Kerucut Abram mempunyai tinggi, diameter bagian bawah dan bagian atas masing-masing 30 mm, 20 mm dan 10 mm. Penumbuk berupa besi bulat dengan ukuran panjang 600 mm dan diameter 16 mm.

### 3. Mesin uji kuat desak

Mesin uji kuat desak digunakan untuk mengetahui kuat desak silinder. Dalam penelitian ini digunakan mesin uji kuat desak merk CONTROL yang mempunyai kapasitas 2000 kN.

### 4. Mesin uji kuat tarik

Mesin uji kuat tarik digunakan untuk mengetahui kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan. Dalam penelitian ini digunakan *Universal Testing Material* (UTM) merk SIMATZU type UMH 30 dengan kapasitas 30 ton seperti terlihat pada Gambar 4.1 .

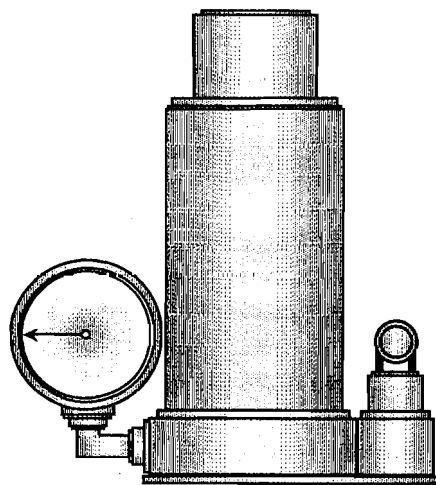


Gambar .4.1. Universal Testing Material Shimatzu UMH30

---

## 5. Hydraulic jack

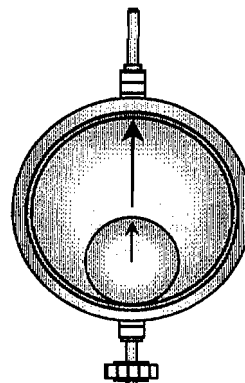
Hydraulic jack digunakan sebagai pembangkit beban statik pada model balok. Dalam penelitian ini digunakan hydraulic jack dengan kapasitas 30 ton seperti pada Gambar 4.2 .



Gambar 4.2. Hidraulic Jack

## 6. Dial gauge

Dial gauge digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi pada sampel balok beton bertulang. Dalam penelitian ini digunakan 3 buah dial gauge dengan kapasitas lendutan maximum sebesar 3 cm seperti pada Gambar 4.3



Gambar 4.3. Dial

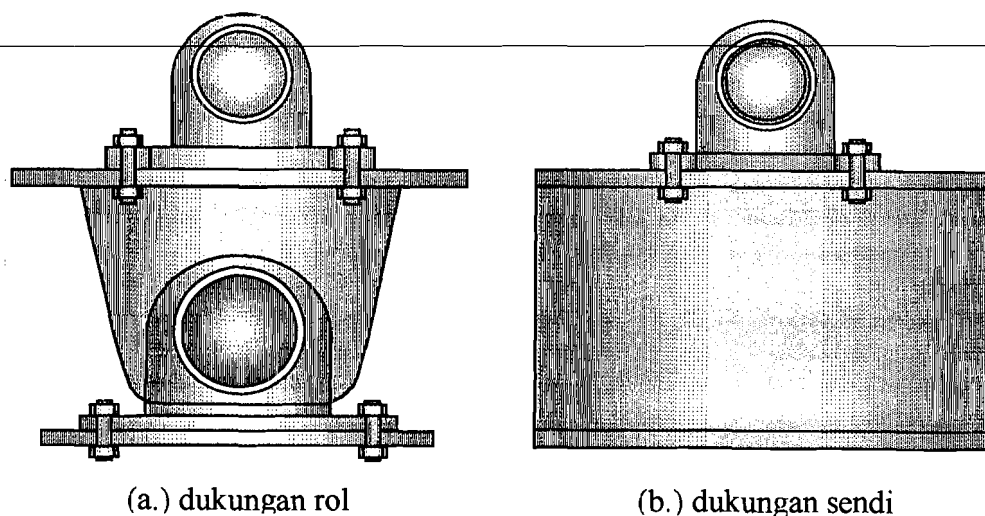
## 7. Loading frame

Untuk keperluan penelitian ini digunakan loading frame dari bahan baja profil WF 450x200x9x14. Bentuk dasar loading frame berupa portal segi empat, berdiri diatas lantai beton dengan tebal 600 mm. Untuk menjamin agar loading frame tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9x14.

Diantara dua kolom portal, pada arah melintang terdapat dua balok profil WF 450x200x9x14 dengan panjang 6,00 meter dan langsung dibaut ke lantai beton sehingga memperkuat kedudukan loading frame. Fungsi utama kedua balok ini yaitu untuk menempatkan model yang akan diuji.

## 8. Dukungan rol dan sendi

Dukungan rol dipasang pada salah satu model balok, sedangkan pada ujung yang lain dipasang dukungan sendi (engsel), sehingga model balok beton bertulang mendekati balok-balok sederhana (simple beam) seperti Gambar 4.4 .



Gambar 4.4. Dukungan Sendi dan Rol



---

## **9. Timbangan**

---

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

### **10. Mistar dan kapiler**

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

### **11. Cetok dan talam baja**

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

### **12. Mesin pengaduk beton (rotating drum )**

Mesin pengaduk beton (mixer) digunakan untuk mengaduk bahan susun beton (semen, air, pasir dan kerikil) sehingga diperoleh campuran yang homogen.

---

## **4.2 Pelaksanaan penelitian**

### **4.2.1 Persiapan**

Pekerjaan meliputi : uji sifat-sifat teknis bahan penyusun beton serat (pasir, kerikil, semen dan serat baja), perancangan adukan beton, uji kuat desak beton, uji tarik baja tulangan, kalibrasi peralatan, dan uji pendahuluan.

---

### **1. Uji pasir**

Uji pasir bertujuan memperoleh berat jenis keadaan SSD dan modulus kehalusan butir. Didapat berat jenis SSD  $2,2727 \text{ t/m}^3$  dan modulus halus butirnya yaitu  $2,77025$

### **2. Uji batu pecah**

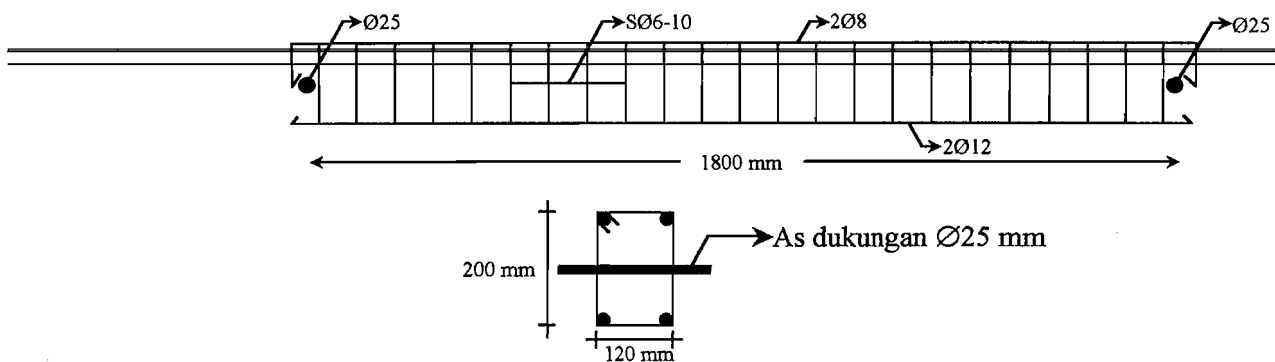
Uji batu pecah bertujuan mendapatkan berat jenis dan berat volume batu pecah keadaan SSD. Dalam penelitian ini diperoleh berat jenis SSD kerikil yaitu  $2,63 \text{ t/m}^3$  dan berat volume SSD =  $1,489 \text{ t/m}^3$

### **3. Perencanaan adukan beton**

Perencanaan adukan beton menggunakan cara yang direkomendasikan oleh *American Concrete Institute (ACI)*, hitungannya disajikan dalam lampiran. Untuk setiap satu meter kubik dengan kuat tekan rencana sebesar 20 Mpa diperoleh perbandingan berat: 396,091 kg semen, 710,81 kg pasir, 912,72 kg kerikil, dan 203 liter air. Untuk berat serat baja local (kawat bendrat ) yang diperlukan adalah 1% dari volume adukan. Dalam penelitian ini diperlukan 22,2262 kg kawat bendrat dalam 1 meter kubik adukan.

### **4. Membuat model balok beton bertulang**

Dalam penelitian ini dibuat 15 buah balok beton bertulang dengan bahan tambah serat baja lokal berupa kawat bendrat dengan geometri sebanyak 5 variasi dengan masing masing variasi sebanyak 3 buah balok. Dimensi balok dalam penelitian ini yaitu  $120 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 2000 \text{ mm}$  dengan jarak antar dukungan 1800 mm, seperti terlihat pada Gambar 4.5



**Gambar 4.5.** Tulangan Benda Uji

Rawatan keras (curing) terhadap model uji dilaksanakan dengan menyelimuti model uji dengan karung yang dibasahi setiap hari selama 28 hari. Dengan cara ini, proses hidrasi semen berlangsung dengan baik.

#### **4.2.2 Persiapan peralatan**

Pengujian model dilaksanakan setelah benda uji berumur 28 hari atau lebih. Waktu tunggu beton mengeras dimanfaatkan untuk memeriksa dan mempelajari semua peralatan yang digunakan, termasuk kalibrasi alat. Kalibrasi alat dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

##### 5.1.1 Kuat tekan dan kuat tarik beton

Uji kuat tekan silinder dan uji belah silinder beton serat bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dan kuat tarik beton serat pada model. Hasil uji dari model uji silinder disajikan pada Tabel 5.1

**Tabel 5.1.** Kuat tekan dan kuat tarik rata-rata silinder beton fiber umur 28 hari

<b>NO</b>	<b>Kode Beton Serat</b>	<b>Kuat Tekan (Mpa)</b>	<b>Kuat Tekan (%)</b>	<b>Kuat Tarik (MPa)</b>	<b>Kuat Tarik (%)</b>
1	BFI.	23,1577	100	3,0004	100
2	BFB	31,30666	135,189	3,5062	116,858
3	BFS1	33,3996	144,227	4,0372	134,555
4	BFS2	30,82197	133,096	3,2955	109,835
5	BFTC	31,0424	134,048	3,3862	112,858

Berdasarkan hasil uji maka terlihat bahwa untuk beton fiber spiral tipe 1 (BFS1) mempunyai kuat tekan dan kuat tarik paling tinggi diantara beton fiber tipe lainnya.

### 5.1.2 Kualitas baja tulangan

Untuk mengetahui kualitas baja tulangan yang terpasang pada model, dilakukan uji tarik baja tulangan, hasilnya disajikan dalam lampiran ,rangkuman hasil uji tarik baja tulangan ditunjukkan pada Tabel 5.2

**Tabel 5.2** Hasil uji tarik baja tulangan

<b>Diameter (mm)</b>	<b>Kuat Leleh (MPa)</b>	<b>Kuat Tarik (MPa)</b>
8	253,6778	366,1347
12	311,8686	448,447

### 5.1.3 Hubungan beban – lendutan

Pelaksanaan uji lentur dilakukan di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Pada balok beton fiber tersebut dikerjakan dengan pembebanan 2 titik secara bertahap dengan interval pembebanan 5 kN pada setiap tahap pembebanan, untuk mencatat lendutan yang terjadi dipasang dial gauge sebanyak 3 buah yang diletakkan di bawah model uji. Lendutan yang terjadi dicatat, hasilnya disajikan pada tabel 5.3. Untuk hasil selengkapnya disajikan dalam lampiran.

Selain itu tabel 5.4 menunjukkan beban tertinggi yang dicapai untuk model uji balok dengan variasi geometri serat yang diuji dalam penelitian ini.

**Tabel 5.3 Hasil pengujian balok beton fiber lurus (BFL)**

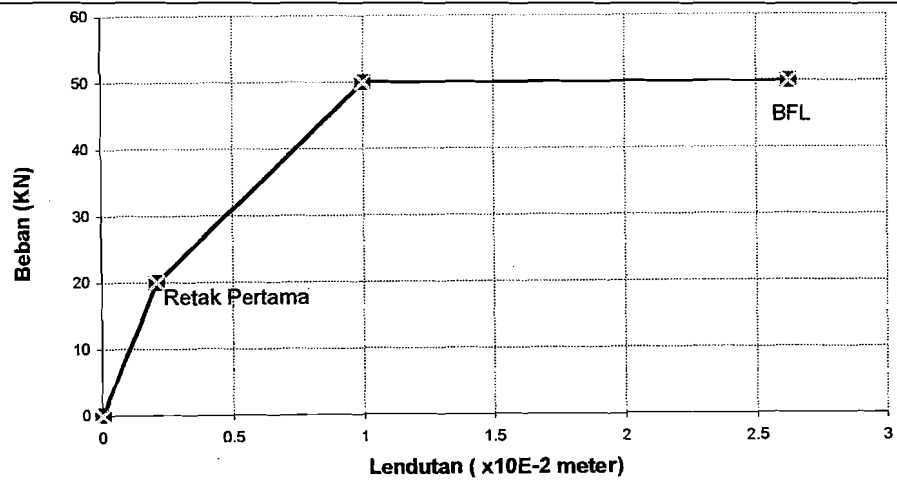
No.	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0	0,0000	0,0000	0,0000
2	5	0,0300	0,0650	0,0290
3	10	0,0750	0,1200	0,0720
4	15	0,1050	0,1570	0,1100
5	20	0,1420	0,2100	0,1400
6	25	0,2400	0,3150	0,2210
7	30	0,3000	0,4010	0,2800
8	35	0,3850	0,5180	0,3650
9	40	0,4600	0,6000	0,4200
10	45	0,5110	0,6880	0,4900
11	50	0,7910	0,9990	0,7640
12	50	0,9990	1,2450	0,9300
13	50	1,2010	1,5580	1,1490
14	50	1,3400	1,6670	1,2800
15	50	1,4840	1,8640	1,4240
16	50	1,6120	2,0320	1,5540
17	50	1,7010	2,1530	1,6440
18	50	1,7820	2,2720	1,7280
19	50	1,8910	2,3840	1,8140
20	50	1,9880	2,4990	1,9000
21	50	2,0940	2,6240	1,9840

**Tabel 5.4 Kekuatan maximum balok beton serat**

No	Jenis / Variasi Beton Serat	P max (kN)	P max (%)
1	BFL	50,0	100
2	BFB	52,5	105
3	BFS1	52,5	105
4	BFS2	50,0	100
5	BFTC	52,5	105

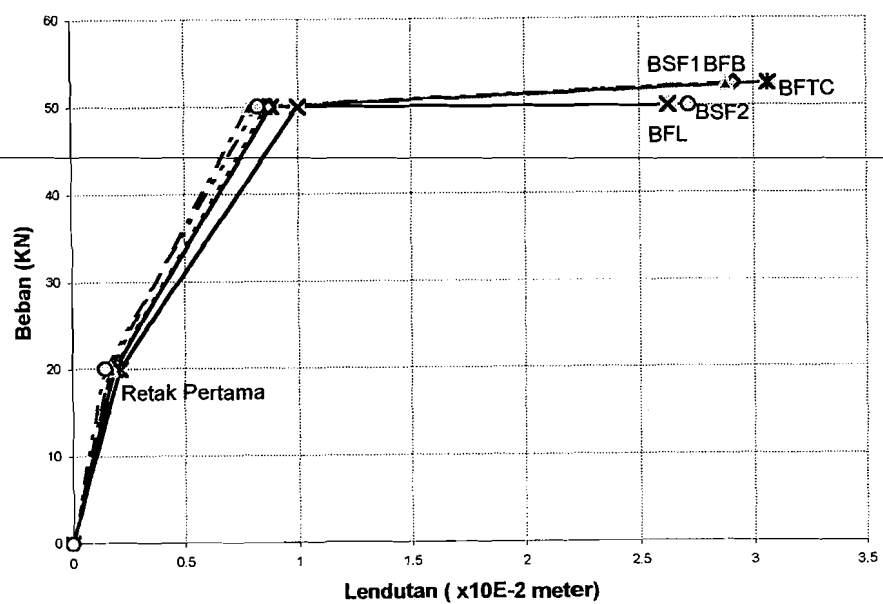
### 1. Kurva hubungan beban dengan lendutan

Dari hasil pengujian balok beton fiber lurus dapat di buat kurva beban – lendutan seperti terlihat pada Gambar 5.1.



**Gambar 5.1** Kurva beban – lendutan untuk beton fiber lurus

Dari lima jenis variasi geometri serat baja lokal yang sedang diteliti diperoleh kurva beban – lendutan seperti yang tergambar pada gambar 5.2



**Gambar 5.2** Kurva beban – lendutan dari 5 jenis variasi geometri serat baja lokal

Dari kurva hubungan beban – lendutan hasil pengujian yang

ditunjukkan pada Gambar 5.2 , mulai awal pembebanan sampai terjadi retak pertama, balok uji berperilaku elastik dan berbentuk linier. Setelah retak pertama, balok uji memasuki fase inelastik dimana terjadi peningkatan lendutan yang cukup besar. Ini ditunjukkan dari besarnya kemiringan grafik, kemiringan tersebut menggambarkan kekakuan balok uji. Kekakuan adalah gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit lendutan, semakin kaku suatu elemen struktur maka semakin besar kemiringannya.

## 2. Analisa data hubungan beban dengan lendutan

Dari pengamatan grafik hubungan beban dengan lendutan dapat disimpulkan pada Tabel 5.5

**Tabel 5.5.** Analisa data hubungan beban dengan lendutan

Nama Balok	P1 (kN)	P2 (kN)	Lendutan 1 ( $\times 10^{-2}$ m)	Lendutan 2 ( $\times 10^{-2}$ m)	Kekakuan 1 ( $\times 10^2$ kN/m)	Kekakuan 2 ( $\times 10^2$ kN/m)	Kekakuan (%)	
							1	2
BFL	10	35	0,12	0,518	83,33	67,57	100	100
BFB	10	35	0,090	0,422	111,11	82,94	133,33	122,75
BFS1	10	35	0,074	0,402	135,14	87,07	162,01	128,86
BFS2	10	35	0,061	0,406	163,93	86,21	196,73	127,59
BFTC	10	35	0,095	0,468	105,26	74,79	126,32	110,69

Dari data (Tabel 5.5) dapat diamati dan diteliti pengaruh variasi geometri serat baja lokal terhadap kuat lentur balok dalam menahan beban, serta perilaku lendutan yang terjadi pada benda uji.



### 5.1.4 Hubungan momen dengan kelengkungan

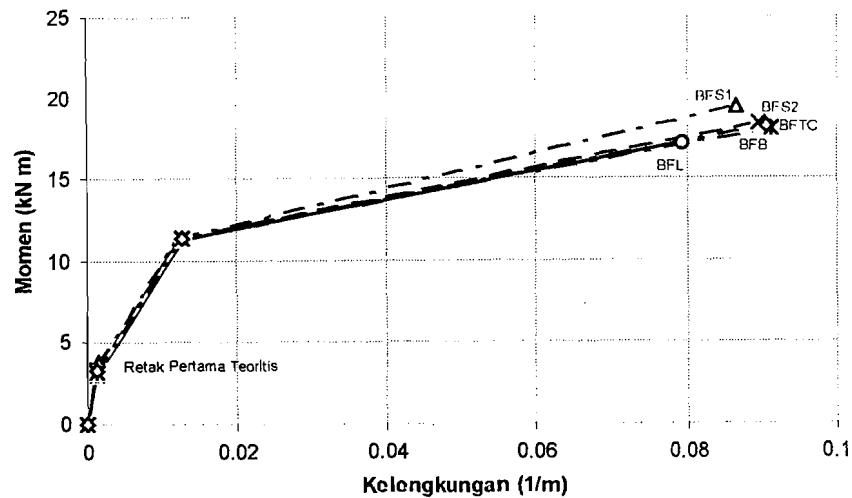
#### 1. Momen - kelengkungan teoritis

Mengacu pada tulisan Park and Pauley, nilai momen dan kelengkungan dapat dicari. Perhitungan momen kelengkungan disajikan pada lampiran, sedang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan kurva tri-linearnya pada Gambar 5.3

**Tabel 5.6** Hasil perhitungan momen kelengkungan teoritis

<b>Nama Balok</b>	<b><math>M_{cr}</math> (kN m)</b>	<b><math>\Phi_{cr}</math> (1/m)</b>	<b><math>M_y</math> (kN m)</b>	<b><math>\Phi_y</math> (1/m)</b>	<b><math>M_u</math> (kN m)</b>	<b><math>\Phi_u</math> (1/m)</b>
BFL	2,966	0,001366	11,287	0,01282	17,090	0,07933
BFB	3,360	0,001367	11,349	0,01250	18,323	0,08952
BFS1	3,847	0,001522	11,362	0,01244	19,379	0,08654
BFS2	3,164	0,001295	11,345	0,01252	17,980	0,09129
BFTC	3,26	0,001326	11,349	0,01250	18,146	0,09059

Dari data perhitungan momen kelengkungan teoritis dapat digambarkan kurva trilinear. Kurva tersebut akan dibandingkan dengan kurva hasil pengamatan yang diperoleh dari hasil pengujian model uji balok beton serat dengan variasi geometri serat baja lokal.



Gambar 5.3 Kurva momen kelengkungan teoritis

## 2. Momen - kelengkungan hasil penelitian

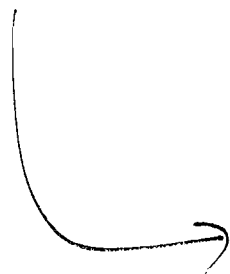
Dari uji lentur didapat data primer berupa beban dan lendutan, dari data tersebut dapat diketahui besar momen, kelengkungan dan faktor kekakuan. Hubungan momen, kelengkungan dan faktor kekakuan menurut Themoshenko seperti tertulis di persamaan 3.40.

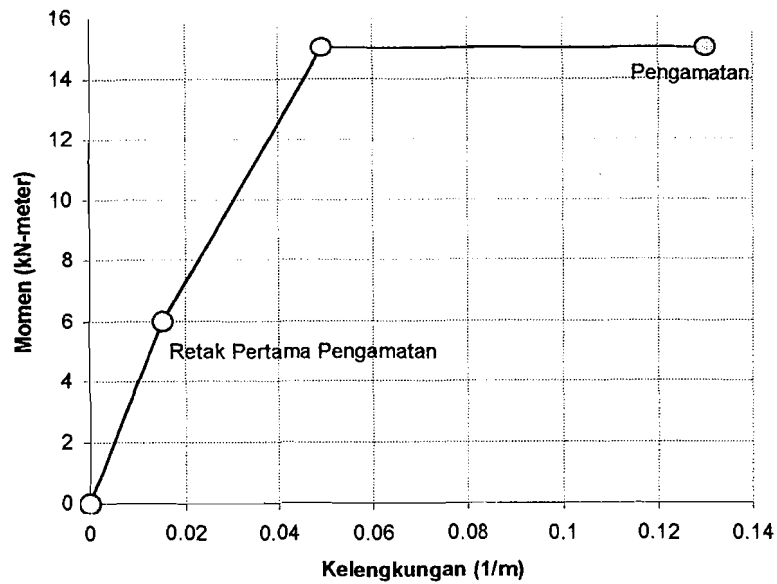
Peningkatan kelengkungan terjadi bila momen bertambah besar atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat lentur balok. Kelengkungan balok diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan *central difference*, dari data pembacaan dial dapat dicari momen dan kelengkungan seperti yang terlihat pada tabel 5.7 untuk hasil selengkapnya ada di lampiran.

Tabel 5.7 Hasil perhitungan momen – kelengkungan BFL

No.	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Momen (kN-m)	Kelengkungan (1/m)
1	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	5	0,0300	0,0650	0,0290	1,5000	0,0079
3	10	0,0750	0,1200	0,0720	3,0000	0,0103
4	15	0,1050	0,1570	0,1100	4,5000	0,0110
5	20	0,1420	0,2100	0,1400	6,0000	0,0153
6	25	0,2400	0,3150	0,2210	7,5000	0,0188
7	30	0,3000	0,4010	0,2800	9,0000	0,0247
8	35	0,3850	0,5180	0,3650	10,5000	0,0318
9	40	0,4600	0,6000	0,4200	12,0000	0,0356
10	45	0,5110	0,6880	0,4900	13,5000	0,0417
11	50	0,7910	0,9990	0,7640	15,0000	0,0492
12	50	0,9990	1,2450	0,9300	15,0000	0,0623
13	50	1,2010	1,5580	1,1490	15,0000	0,0851
14	50	1,3400	1,6670	1,2800	15,0000	0,0793
15	50	1,4840	1,8640	1,4240	15,0000	0,0911
16	50	1,6120	2,0320	1,5540	15,0000	0,0998
17	50	1,7010	2,1530	1,6440	15,0000	0,1068
18	50	1,7820	2,2720	1,7280	15,0000	0,1149
19	50	1,8910	2,3840	1,8140	15,0000	0,1181
20	50	1,9880	2,4990	1,9000	15,0000	0,1233
21	50	2,0940	2,6240	1,9840	15,0000	0,1300

Dari Tabel 5.7 dapat digambar kurva momen – kelengkungan seperti yang terlihat dalam Gambar 5.4 dan untuk kurva selengkapnya disajikan dalam lampiran.



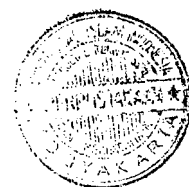


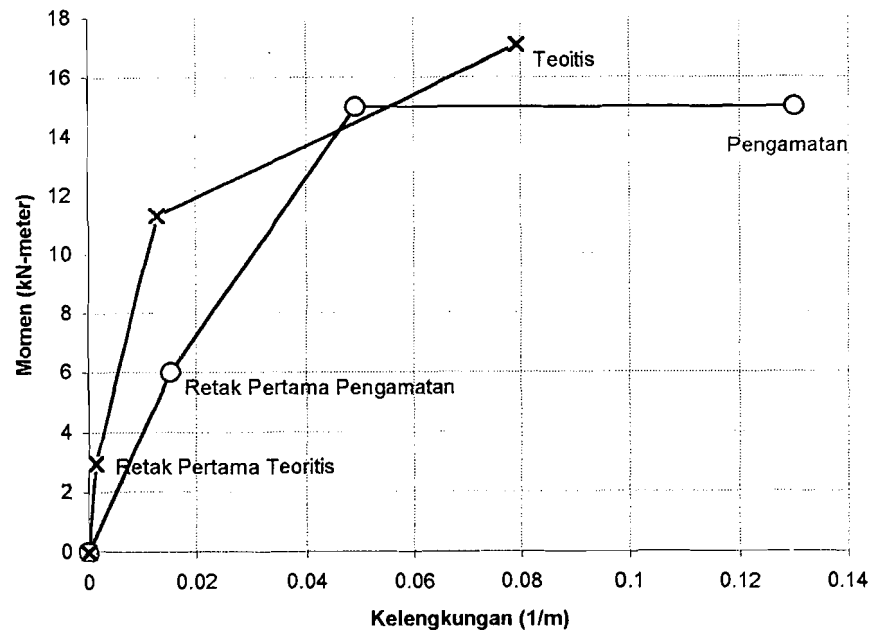
**Gambar 5.4** Kurva momen – kelengkungan untuk BFL

Untuk kurva selengkapnya dari kelima variasi geometri serat baja lokal yang diteliti dalam penelitian ini disajikan dalam lampiran.

### **3. Perbandingan antara momen kelengkungan teoritis dengan pengamatan**

Dari hasil perhitungan momen dan kelengkungan secara teoritis seperti yang tersaji dalam lampiran dan perhitungan momen kelengkungan dari data beban dan lendutan dari pengamatan di laboratorium dapat digambar kurva seperti terlihat dalam Gambar 5.5 .

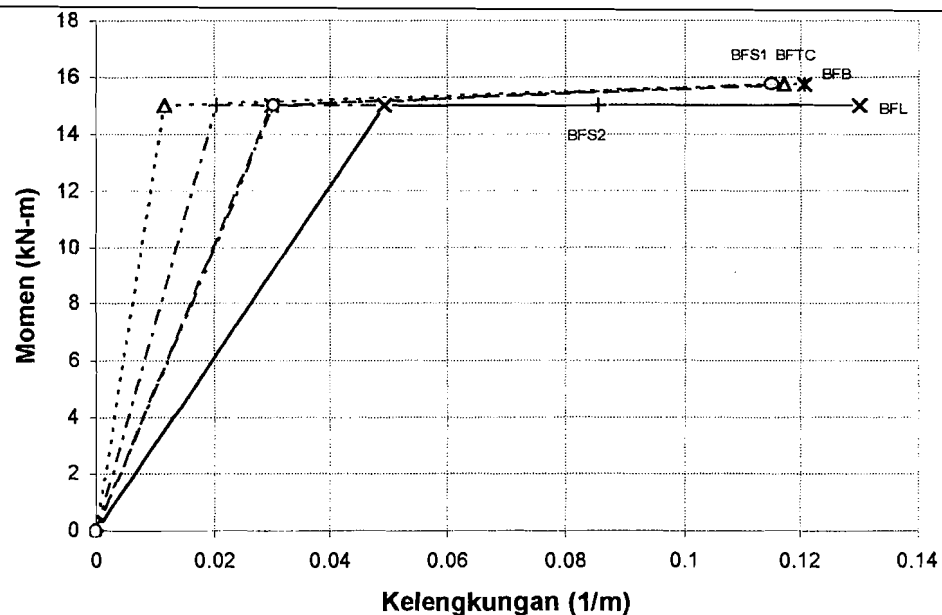




**Gambar 5.5** Kurva perbandingan momen-kelengkungan secara teoritis dan kenyataan untuk jenis BFL

#### 4. Analisa data hubungan momen dengan kelengkungan

Hubungan momen dan kelengkungan menunjukkan kekakuan. Dalam hal ini didapat dari  $M/\Phi$ , faktor kekakuan pada balok beton serat secara umum mempunyai perilaku yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola Grafik  $M/\Phi$  yang diperoleh data percobaan di laboratorium. Dari kurva seperti yang terlihat dalam Gambar 5.6 maka dapat dibuat analisa data. Tabel 5.8 merupakan analisa momen kelengkungan dari tiap variasi geometri serat baja lokal.



Gambar 5.6 Kurva hubungan Momen Kelengkungan dari 5 variasi geometri serat

Tabel 5.8 Analisa data momen kelengkungan

Nama Balok	Momen (kN m)	Kelengkungan (1/meter)	E I (kN m <sup>2</sup> )	Momen (%)	E I (%)
BFL	15	0,0492	304,878	100	100,00
BFB	15	0,0300	500,000	100	164,00
BFS1	15	0,0117	847,457	100	277,97
BFS2	15	0,0204	735,294	100	241,18
BFTC	15	0,0304	493,421	100	161,84

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Kuat lentur balok ditinjau dari hubungan beban dengan lendutan

Dari penelitian didapatkan hubungan beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ), dalam hal ini nilai kekakuan. Nilai kekakuan didapat dari  $P/\Delta$ ,

---

mengalami kenaikan sebesar 33,33% dan fase kedua mengalami kenaikan sebesar 22,75% dibandingkan balok Beton Fiber Lurus (BFL).

Pada balok Beton Fiber Spiral tipe 1 (BFS 1) pada saat balok belum mengalami retak pertama mempunyai nilai kekakuan sebesar  $135,14 \times 10^2$  kN/m sedang nilai kekakuan setelah balok mengalami retak pertama yaitu  $87,07 \times 10^2$  kN/m. Nilai kekakuan untuk fase pertama mengalami kenaikan sebesar 62,01% dan fase kedua mengalami kenaikan sebesar 28,86% dibandingkan balok Beton Fiber Lurus (BFL).

Pada balok Beton Fiber Spiral tipe 2 (BFS 2) pada saat balok belum mengalami retak pertama mempunyai nilai kekakuan sebesar  $163,93 \times 10^2$  kN/m sedang nilai kekakuan setelah balok mengalami retak pertama yaitu  $86,21 \times 10^2$  kN/m. Nilai kekakuan untuk fase pertama mengalami kenaikan sebesar 96,73% dan fase kedua mengalami kenaikan sebesar 27,59% dibandingkan BFL.

Pada balok Beton Fiber Twin Cone (BFTC) pada saat balok belum mengalami retak pertama mempunyai nilai kekakuan sebesar  $105,26 \times 10^2$  kN/m sedang nilai kekakuan setelah balok mengalami retak pertama yaitu  $74,79 \times 10^2$  kN/m. Nilai kekakuan untuk fase pertama mengalami kenaikan sebesar 26,32% dan fase kedua mengalami kenaikan sebesar 10,69% dibandingkan balok Beton Fiber Lurus (BFL).

---

kekakuan pada balok beton fiber 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 dan yang diharapkan.

Dari analisa data beban dengan lendutan (Tabel 5.5) dapat diperoleh perbandingan kurva lendutan balok beton serat dengan variasi geometri serat. Sebagai pembanding atau standar kekakuan balok beton serat dipakai untuk jenis Beton Fiber Lurus (BFL) dengan menganggap besar kekakuannya yaitu 100%. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai kekakuan dari balok beton serat.

Pada balok Beton Fiber Lurus pada saat balok belum mengalami retak pertama mempunyai nilai kekakuan sebesar  $83,33 \times 10^2$  kN/m sedangkan nilai kekakuan setelah balok mengalami retak pertama yaitu  $67,57 \times 10^2$  kN/m. Nilai kekakuan pada masing-masing fase tersebut (fase sebelum retak pertama untuk selanjutnya disebut fase 1 dan fase sesudah retak pertama untuk selanjutnya disebut fase 2) dianggap sebesar 100%.

Pada balok Beton Fiber Berkait (BFB) pada saat balok belum mengalami retak pertama mempunyai nilai kekakuan sebesar  $111,11 \times 10^2$  kN/m sedang nilai kekakuan setelah balok mengalami retak pertama yaitu  $82,94 \times 10^2$  kN/m. Nilai kekakuan untuk fase pertama



---

### **5.2.2 Kuat lentur balok ditinjau dari hubungan momen dan kelengkungan**

Hubungan momen dan kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan. Seperti yang terdapat dari Tabel 5.8 maka dapat dilakukan analisa data momen dengan kelengkungan sehingga dapat diperoleh perbandingan grafik momen-kelengkungan balok beton serat dengan variasi geometri serat.

Sebagai pembanding atau standar kekakuan balok beton serat dipakai untuk jenis Beton Fiber Lurus (BFL) dengan menganggap besar faktor kekakuan kekakuannya yaitu 100% dan besarnya momen beban maximum pertama sebesar 100%. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai faktor kekakuan atau besarnya momen dari balok beton serat.

Pada balok Beton Fiber Lurus (BFL) mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 304,878 kN m<sup>2</sup> pada saat balok menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 15 kN m. Nilai momen ini bertahan sampai akhir pengujian.

Pada balok Beton Fiber Berkait (BFB) mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 500 kN m<sup>2</sup> pada saat balok menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 15 kN m. Balok BFB tersebut mengalami peningkatan nilai kekakuan sebesar 64% dari beton BFL dan nilai momen tidak mengalami peningkatan, tetapi nilai

---

momen bisa mengalami peningkatan sebesar 0,75 kN m pada nilai

kelengkungannya sebesar 0,0444 /m.

Pada balok Beton Fiber Spiral 1 (BFS1) mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 847,457 kN m<sup>2</sup> pada saat balok menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 15 kN m. Balok BFS1 tersebut mengalami peningkatan nilai kekakuan sebesar 177,97% dari beton BFL dan nilai momen tidak mengalami peningkatan, tetapi nilai momen bisa mengalami peningkatan sebesar 0,75 kN m pada nilai kelengkungannya sebesar 0,0172 /m.

Pada balok Beton Fiber Spiral 2 (BFS2) mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 735,294 kN m<sup>2</sup> pada saat balok menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 15 kN m. Balok BFS2 tersebut mengalami peningkatan nilai kekakuan sebesar 141,18% dari beton BFL dan nilai momen tidak mengalami peningkatan.

---

Pada balok Beton Fiber Twin Cone (BFTC) mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 493,421 kN m<sup>2</sup> pada saat balok menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 15 kN m. Balok BFB tersebut mengalami peningkatan nilai kekakuan sebesar 61,84% dari beton BFL dan nilai momen tidak mengalami peningkatan, tetapi nilai momen bisa mengalami peningkatan sebesar 0,75 kN m pada nilai kelengkungannya sebesar 0,0431 /m.

---

---

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari penelitian balok uji dapat diambil kesimpulan mengenai perilaku Beton Serat dengan variasi geometri serat sebagai berikut :

1. Penambahan serat baja lokal yang dalam hal ini dipilih kawat bendrat dengan  $V_f = 1\%$  dari volume adukan dengan variasi geometri akan meningkatkan kuat tekan beton. Dari lima jenis variasi geometri serat baja lokal, yang menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik tertinggi adalah jenis BFS1 (Beton Fiber Spiral tipe 1) dengan kenaikan kuat tekan sebesar 44,227% dan kenaikan kuat tarik sebesar 34,555% dibandingkan BFL (Beton Fiber Lurus). Secara keseluruhan kuat tekan beton fiber bergeometri meningkat sebesar 33% sampai 44% dan untuk kuat tarik meningkat antara 9% sampai 34% dibandingkan dengan beton fiber bergeometri lurus (BFL).
2. Kekakuan balok beton fiber bergeometri spiral tipe 2 (BFS2) mempunyai nilai terbesar sebelum terjadinya retak pertama yaitu dengan kenaikan sebesar 96,73% dibandingkan beton serat bergeometri lurus (BFL) tetapi pada saat setelah terjadi retak pertama nilai kekakuan tertinggi digantikan dengan beton serat bergeometri spiral tipe 1 (BFS1) yaitu sebesar 28,86%

---

dibandingkan BFL. Selain itu BFS1 bisa menahan beban lebih tinggi

---

daripada BFS2. Secara keseluruhan kenaikan nilai kekakuan sebelum retak pertama mengalami peningkatan sebesar 26% sampai dengan 97% dan setelah mengalami retak pertama nilai kekakuannya meningkat menjadi 10% sampai dengan 29% dibandingkan beton serat bergeometri lurus (BFL).

3. Kekuatan dalam menahan beban (P) untuk BFS1 mengalami peningkatan sebesar 5% dibandingkan BFL.
4. Besarnya momen yang mampu ditahan oleh balok beton serat secara keseluruhan pada waktu menerima beban maksimum pertama tidak mengalami perubahan.
5. Nilai faktor kekakuan (EI) tertinggi yaitu pada BFS1 dengan peningkatan sebesar 177,97%. Ini menunjukkan bahwa BFS1 memiliki kuat lentur tertinggi diantara variasi geometri yang lainnya.

## **6.2 Saran**

---

1. Penelitian tentang beton serat dengan memakai jenis serat yang lainnya perlu dikembangkan lebih lanjut.
2. Perlu dilakukan penelitian-penelitian selanjutnya tentang beton serat agar diperoleh model matematis dan prosedur hitungan/analisa yang sesuai untuk balok beton bertulang yang diberi serat.
3. Pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pengamatan dalam membaca dial, pembebanan dan munculnya retak sehingga diperoleh data-data yang valid.

---

---

## DAFTAR PUSTAKA

---

---

- Balaguru and Surendra, 1992, FIBER REINFORCED CEMENT COMPOSITES, McGraw-Hill International Edition, McGraw-Hill Inc., New York
- Banthia, Mindess and Trottier, 1996, IMPACT RESISTANCE OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE, ACI Material Journal Vol. 93 page 472 – 479, Michigan.
- Departemen Pekerjaan Umum, SK-SNI T-15-1991-03, 1991, TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG, Departemen Pekerjaan Umum.
- Dipohusodo, I, 1994, STRUKTUR BETON BERTULANG, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- E.P. Popov, 1984, MEKANIKA TEKNIK, Diterjemahkan oleh Zainul Astamar, Erlangga, Jakarta.
- Fatkhurrohman, 1999, ESTIMASI KEKUATAN SISA BALOK BETON BERTULANG PADA BERBAGAI TINGKAT KERUSAKAN, Tesis, Universitas Gajah Mada.
- George W. and Nilson, 1991, DESIGN OF CONCRETES STRUCTURES, Eleventh Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Harajli and Salloukh, 1997, EFFECT OF FIBER ON DEVELOPMENT / SPLICE STRENGTH OF REINFORCING BARS IN TENSION, ACI Material Journal Vol. 94 page 317 – 324, Michigan.
- MacGregor, J, G., 1997, REINFORCED CONCRETE MECHANICS AND DESIGN, Third Edition, Prentice-Hall International, Inc. United States of America.
- Mitchel, Abrishami and Mindess, 1996, THE EFFECT OF STEEL FIBER AND EPOXI – COATED REINFORCEMENT ON TENSION STIFFENING AND CRACKING OF REINFORCED CONCRETE, ACI Material Journal Vol. 93 page 61 – 68, Michigan.

---

~~Park and Paulay, 1975, REINFORCED CONCRETE STRUCTURES. A Wiley-~~

Interscience Publication Inc.

Sudarmoko, 1990, BETON – SERAT, SUATU BENTUK BETON BARU, Seminar Permasalahan Mekanika Bahan di Indonesia, Pusat Antar Universitas – Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Suhendro, 1991, PENGARUH FIBER KAWAT PADA SIFAT - SIFAT BETON DAN BETON BERTULANG, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian - Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Suhendro, 1991, PENGARUH PEMAKAIAN FIBER BENDRAT BERKAIT SECARA PARSIAL PADA PERILAKU DAN KAPASITAS BALOK BETON BERTULANG DENGAN MODEL SKALA PENUH, Laporan Penelitian, Pusat Antar Universitas – Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Tjokrodimulyo,K, 1995, TEKNOLOGI BETON, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

---

---

# LAMPIRAN

---

---



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

Program UBL  
 TA 3th  
 AB

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	TAUFAN CAHYANTO	94 310 063		TSS.
2.	LIANA WARDANI PRAMODIA	95 310 026		TSS.

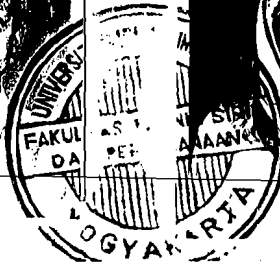
UDUL TUGAS AKHIR : PENGARUH BENBUK GEOMETRIK SERAT  
KAWAT BAJA LOKAL TERHADAP KUAT BALOK BETON BERTULANG.

LENGKAP

Dosen Pembimbing I : IR. H.SUSASTRAWAN, MS  
 Dosen Pembimbing II : IR. FATKHURROHMAN NS, MT

1

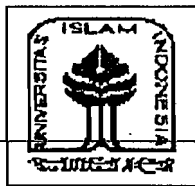
2



Yogyakarta, 08 Maret 2000  
 Dekan,  
 Ketua Jurusan Teknik Sipil

IR. H. TADJUDDIN BM ARIS, MS





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

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

**DATA PEMERIKSAAN**  
**GRADASI AGREGAT HALUS**

Jenis Benda Uji	: <u>Agregat Halus</u>	Diperiksa oleh :	
Nama Benda uji	: <u>Pasir</u>	1) <u>Taufan.C</u>	<u>94-063</u>
Asal	: <u>Kali Progo</u>	2) <u>Lina.W</u>	<u>95-026</u>
Keperluan	: <u>Pembuatan Beton</u>		
	: <u>Serat -</u>		
		Tanggal :	<u>15-04-2000</u>

**ALAT - ALAT :**

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

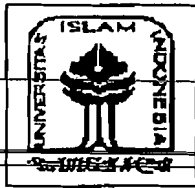
LUBANG AYAKAN ( mm )	BERAT TERTINGGAL ( gram )		BERAT TERTINGGAL ( % )		BERAT TERTINGGAL KUMULATIF	
	I	II	I	II	I	II
PERCOBAAN KE :						
40						
20						
10						
4.80	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0,05</u>	<u>0,05</u>	<u>0,05</u>	<u>0,05</u>
2.40	<u>76,5</u>	<u>72</u>	<u>3,825</u>	<u>3,6</u>	<u>3,875</u>	<u>3,65</u>
1.20	<u>38,2</u>	<u>37,4</u>	<u>1,91</u>	<u>1,87</u>	<u>22,975</u>	<u>22,35</u>
0.60	<u>816,5</u>	<u>838</u>	<u>40,825</u>	<u>41,9</u>	<u>63,8</u>	<u>69,25</u>
0.30	<u>492</u>	<u>478</u>	<u>24,6</u>	<u>23,9</u>	<u>88,4</u>	<u>88,15</u>
0.15	<u>201</u>	<u>198</u>	<u>10,05</u>	<u>9,9</u>	<u>98,45</u>	<u>98,05</u>
SISA	<u>31</u>	<u>39</u>	<u>1,55</u>	<u>1,95</u>	—	—
Jumlah	<u>2000</u>	<u>2000</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>277,55</u>	<u>276,5</u>
Jumlah rata-rata	<u>2000</u>		<u>100</u>		<u>277,025</u>	

Modulus Halus Butir (MHB) \_\_\_\_\_

277,025 = 2,77025

100

Yogyakarta, 15-04-2000



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

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

DATA PEMERIKSAAN  
BERAT VOLUME AGREGAT HALUS KASAR

Jenis Benda Uji : Agregas Kasar  
Nama Benda uji : Kerikil (max  $\phi$  20 mm)  
Asal : Clereng.  
Keperluan : Pembuatan Beton.  
Fiber.

Diperiksa oleh :  
1) Taufan.C 94-063  
2) Lina.W 95-026

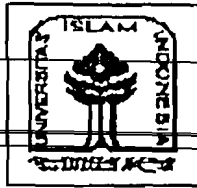
Tanggal: 18-04-2000

ALAT - ALAT

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

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat cetakan silinder (W1)	51.496 Kg	51.496 Kg
Berat cetakan silinder + Agregat (W2)	131.4.. Kg	131.8 Kg
Volume silinder (V) $\frac{1}{4}\pi d^2 t$	$53.301 \cdot 10^{-3} M^3$	$53.301 \cdot 10^{-3} M^3$
Berat Volume Agregat = $\frac{W2 - W1}{V}$	1,491	1,487.
Berat Volume Agregat Rata - rata	1,489	

Yogyakarta, 18-04-2000.



# LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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

## DATA PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Jenis Benda Uji : Agregat Kasar  
Nama Benda uji : Kerilul (max  $\phi$  20mm)  
Asal : Clereng  
Keperluan : Penguatan Beton  
Fiber

Diperiksa oleh :  
1) Taufan. C 94-063  
2) Lina. W 95-026

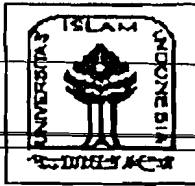
Tanggal : 18/4-2000

### ALAT - ALAT

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

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat Agregat ( W )	...500... Gram	...500... Gram
Gelas ukur + Air ( V1 )	...500... Cc	...500... Cc
Gelas ukur + Air + Agregat ( V2 )	...690... Cc	...690... Cc
BERAT JENIS ( BJ ) =		
$\frac{W}{V2 - v1}$	$\frac{500}{690 - 500}$ = 2,63157	$\frac{500}{690 - 500}$ = 2,63157
BERAT JENIS ( BJ ) RATA-RATA	2,63157	

Yogyakarta, 18-4-2000



# LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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

## DATA PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT ~~KASAR~~ HALUS

Jenis Benda Uji : Agregat Halus  
Nama Benda uji : Pasir  
Asal : Kali Progo  
Keperluan : Pembuatan Beton  
Fiber

Diperiksa oleh :  
1) Dawhan.c 94-063  
2) Lina.W 95-026  
Tanggal : 18-04-2000

### ALAT - ALAT

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

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat Agregat ( W )	..500... Gram	..500... Gram
Gelas ukur + Air ( V1 )	..500... Cc	..500... Cc
Gelas ukur + Air + Agregat ( V2 )	..720.. Cc	..720.. Cc
BERAT JENIS ( BJ ) = $\frac{W}{V2 - v1}$	$\frac{500}{720 - 500}$ = 2,2727	$\frac{500}{720 - 500}$ = 2,2727.
BERAT JENIS ( BJ ) RATA-RATA	2,2727 .	

Yogyakarta, 18-04-2000

**TABEL UJI TARIK BAJA TULANGAN**

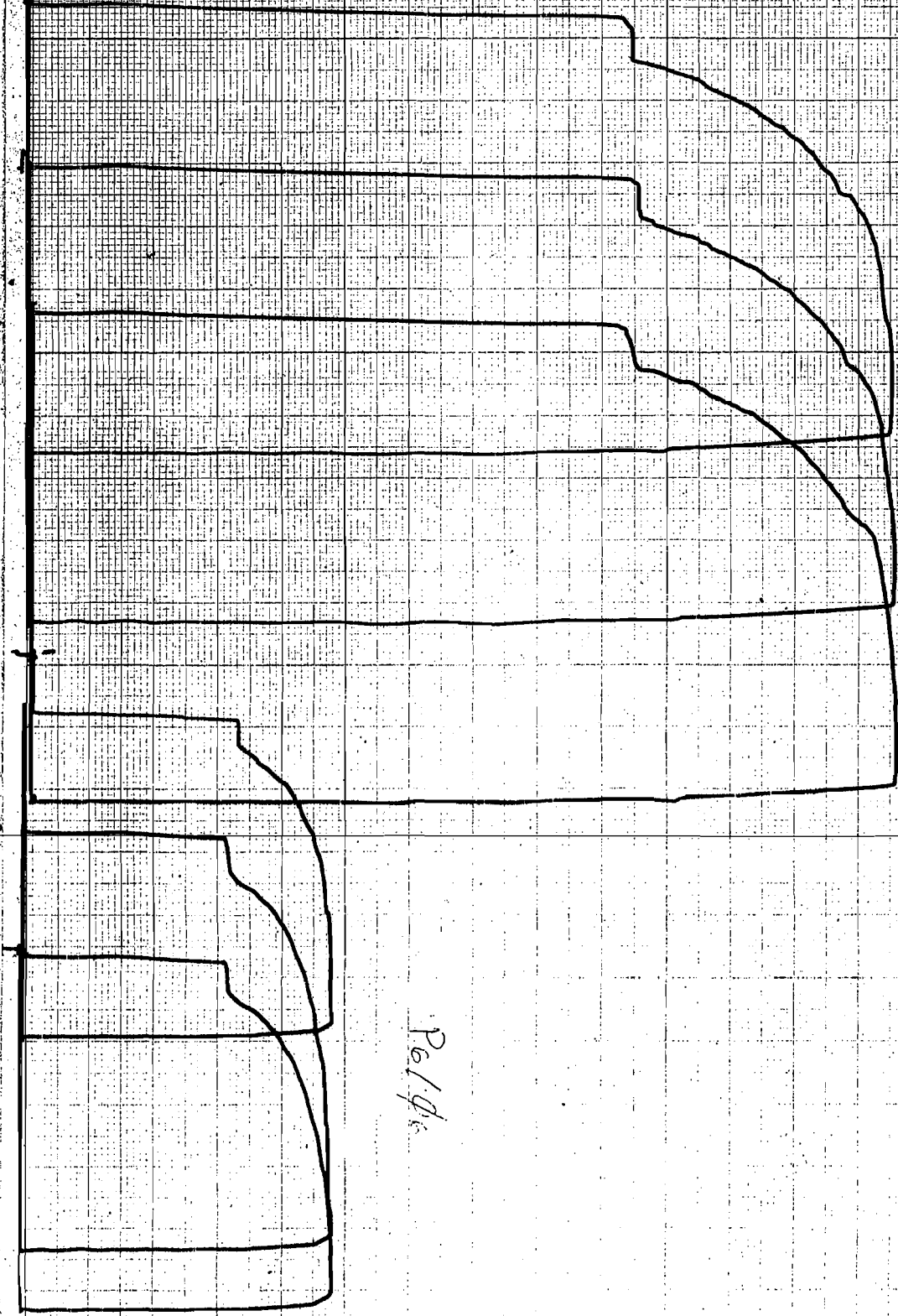
No	Diameter pengenal/ Nominal (mm)	$\phi$ uji (mm)	Panjang awal (d) (5 x d) mm	Luas mm <sup>2</sup>	Beban leleh (Kg)	Teg leleh (Kg/mm <sup>2</sup> )	P max (Kg)	Kuat tarik (Kg/mm <sup>2</sup> )	P putus (Kg)
1	P6 / 6 mm	5.350	26.7500	22.4891	725	32.2378	1005	44.6883	700
2		5.600	28.0000	24.6400	740	30.0325	1030	41.8019	720
3		5.600	28.0000	24.6400	725	29.4237	1010	40.9903	700
4	P8 / 8 mm	7.350	36.7500	42.4463	1105	26.0329	1550	36.5168	1080
5		7.250	36.2500	41.2991	1060	25.6664	1550	37.5311	1100
6		7.400	37.0000	43.0257	1050	24.4040	1540	35.7925	1070
7	P12 / 12mm	10.950	54.7500	94.2091	2940	31.2072	4190	44.4755	3080
8		11.000	55.0000	95.0714	2930	30.8189	4205	44.2299	3080
9		10.800	54.0000	91.6457	2890	31.5345	4200	45.8287	3150

**TABEL UJI BELAH SILINDER UMUR 28 HARI**

Kode	P maks (kN)	f <sub>ct</sub> (MPa)
BFL	215	3.0004
BFB	247	3.5062
BFS1	286	4.0372
BFS2	235	3.2955
BFTC	242	3.3862



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik  
Jurusan Teknik Sipil FTSP - UII  
Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang Km. 14,4 telp. 895042 Yogyakarta

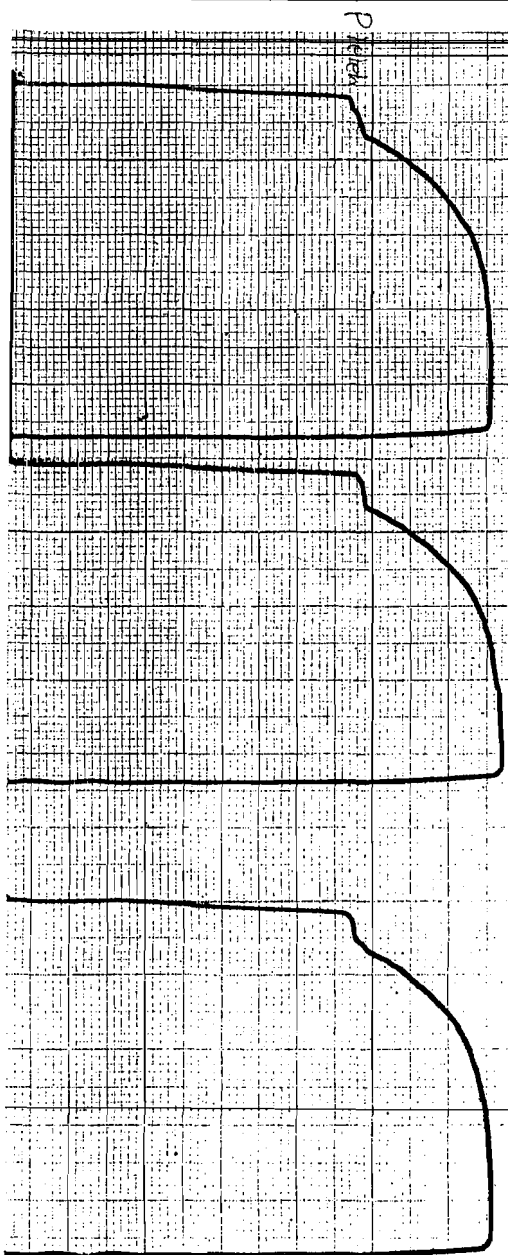


R12 / 012

Pa / d<sub>a</sub>



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik  
Jurusan Teknik Sipil FTSP - UII  
Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang Km. 14,4 telp. 895042 Yogyakarta



P  
P  
P  
P

LAMPIRAN 5

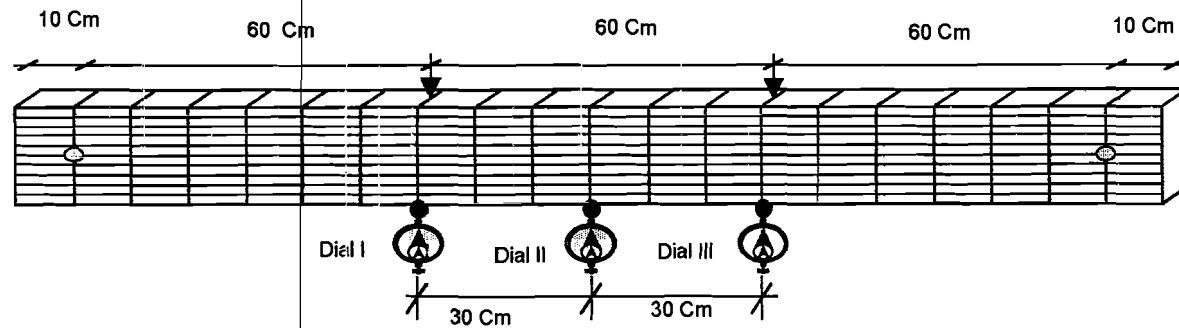
TABEL TEGANGAN DAN REGANGAN SILINDER BETON SERAT UMUR 28 HARI

P (KN)	REGANGAN					TEGANGAN (MPa)				
	BFL	BFB	BFS1	BFS2	BFTC	BFL	BFB	BFS1	BFS2	BFTC
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.0234	0.0200	0.0298	0.0197	0.0201	0.5649	0.5649	0.5721	0.5717	0.5593
20	0.0468	0.0334	0.0364	0.0493	0.0368	1.1298	1.1298	1.1442	1.1435	1.1186
30	0.0669	0.0467	0.0430	0.0657	0.0536	1.6947	1.6947	1.7164	1.7152	1.6779
40	0.0836	0.0668	0.0464	0.0822	0.0703	2.2596	2.2596	2.2885	2.2870	2.2372
50	0.0970	0.0801	0.0497	0.0986	0.0837	2.8245	2.8245	2.8606	2.8587	2.7965
60	0.1170	0.1002	0.0497	0.1151	0.1005	3.3894	3.3894	3.4327	3.4304	3.3558
70	0.1337	0.1169	0.0497	0.1315	0.1139	3.9543	3.9543	4.0049	4.0022	3.9151
80	0.1571	0.1336	0.0497	0.1479	0.1306	4.5192	4.5192	4.5770	4.5739	4.4744
90	0.1805	0.1503	0.0497	0.1644	0.1474	5.0841	5.0841	5.1491	5.1457	5.0337
100	0.1973	0.1669	0.0497	0.1808	0.1608	5.6490	5.6490	5.7212	5.7174	5.5930
110	0.2173	0.1836	0.0695	0.1972	0.1741	6.2139	6.2139	6.2933	6.2891	6.1523
120	0.2441	0.2003	0.0828	0.2137	0.1875	6.7788	6.7788	6.8655	6.8609	6.7116
130	0.2641	0.2137	0.0993	0.2301	0.2110	7.3437	7.3437	7.4376	7.4326	7.2709
140	0.2976	0.2304	0.1126	0.2465	0.2244	7.9086	7.9086	8.0097	8.0043	7.8302
150	0.3176	0.2337	0.1291	0.2630	0.2378	8.4735	8.4735	8.5818	8.5761	8.3895
160	0.3477	0.2504	0.1457	0.2794	0.2545	9.0385	9.0385	9.1540	9.1478	8.9488
170	0.3711	0.2838	0.1623	0.2959	0.2813	9.6034	9.6034	9.7261	9.7196	9.5081
180	0.4012	0.3005	0.1689	0.3123	0.3014	10.1683	10.1683	10.2982	10.2913	10.0674
190	0.4346	0.3172	0.1821	0.3287	0.3115	10.7332	10.7332	10.8703	10.8630	10.6267
200	0.4514	0.3339	0.1987	0.3452	0.3282	11.2981	11.2981	11.4424	11.4348	11.1860
210	0.4848	0.3539	0.2152	0.3616	0.3516	11.8630	11.8630	12.0146	12.0065	11.7453
220	0.5149	0.3673	0.2351	0.3748	0.3684	12.4279	12.4279	12.5867	12.5783	12.3046
230	0.5316	0.4007	0.2517	0.3813	0.3851	12.9928	12.9928	13.1588	13.1500	12.8639
240	0.5684	0.4174	0.2815	0.4076	0.4086	13.5577	13.5577	13.7309	13.7217	13.4232
250	0.5951	0.4341	0.2980	0.4241	0.4354	14.1226	14.1226	14.3031	14.2935	13.9825
260	0.6252	0.4508	0.3245	0.4274	0.4521	14.6875	14.6875	14.8752	14.8652	14.5418
270	0.6520	0.4741	0.3642	0.4274	0.4689	15.2524	15.2524	15.4473	15.4370	15.1011
280	0.6820	0.4942	0.3808	0.4274	0.4856	15.8173	15.8173	16.0194	16.0087	15.6604
290	0.7021	0.5175	0.4636	0.4274	0.5023	16.3822	16.3822	16.5915	16.5804	16.2197
300	0.7355	0.5342	0.5132	0.4306	0.5191	16.9471	16.9471	17.1637	17.1522	16.7790
310	0.7690	0.5509	0.5628	0.4405	0.5459	17.5120	17.5120	17.7358	17.7238	17.3383
320	0.7991	0.5676	0.5795	0.4405	0.5660	18.0769	18.0769	18.3079	18.2956	17.8976
330	0.8024	0.5876	0.5795	0.4405	0.5827	18.6418	18.6418	18.8800	18.8674	18.4569
340	0.8058	0.6144	0.5960	0.4438	0.6028	19.2067	19.2067	19.4522	19.4391	19.0162
350	0.8191	0.6344	0.6093	0.4767	0.6229	19.7716	19.7716	20.0243	20.0109	19.5755
360	0.8526	0.6511	0.6291	0.4931	0.6397	20.3365	20.3365	20.5964	20.5826	20.1348
370	0.9027	0.6678	0.6358	0.5095	0.6698	20.9014	20.9014	21.1685	21.1543	20.6941
380	0.9194	0.6845	0.6457	0.5588	0.7033	21.4663	21.4663	21.7406	21.7261	21.2534
390	1.0030	0.7078	0.6623	0.5917	0.7066	22.0312	22.0312	22.3128	22.2978	21.8127
400	1.0899	0.7179	0.6755	0.6509	0.7368	22.5961	22.5961	22.8849	22.8696	22.3720
410	1.1836	0.7446	0.6921	0.7232	0.7535	23.1610	23.1610	23.4570	23.4413	22.9313
420	1.2705	0.7679	0.7020	0.7890	0.7770	23.7259	23.7259	24.0291	24.0130	23.4906
430	1.4878	0.7846	0.7086	0.8547	0.7837	24.2908	24.2908	24.6013	24.5848	24.0499
440	1.5547	0.8013	0.7219	0.8711	0.7837	24.8557	24.8557	25.1734	25.1565	24.6092
450	1.6148	0.8147	0.7417	0.9040	0.7837	25.4206	25.4206	25.7455	25.7283	25.1685
460	1.6650	0.8347	0.7583	0.9369	0.7971	25.9855	25.9855	26.3176	26.3000	25.7278



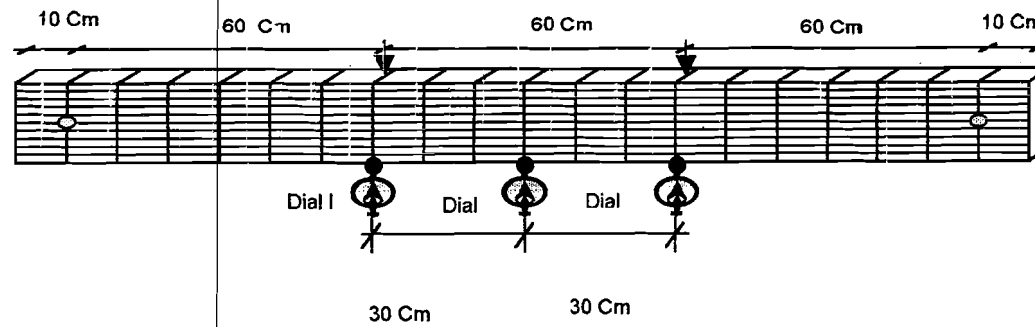
LAMPIRAN 5

P (KN)	REGANGAN					TEGANGAN (MPa)				
	BFL	BFB	BFS1	BFS2	BFTC	BFL	BFB	BFS1	BFS2	BFTC
470	1.6884	0.8681	0.7748	0.9533	0.8171	26.5504	26.5504	26.8897	26.8717	26.2871
480	1.7720	0.9015	0.8013	0.9796	0.8406	27.1154	27.1154	27.4619	27.4435	26.8464
490	1.8388	0.9182	0.8245	1.0026	0.8707	27.6803	27.6803	28.0340	28.0152	27.4057
500	1.9057	0.9349	0.8411	1.0191	0.8908	28.2452	28.2452	28.6061	28.5869	27.9650
510	2.0227	0.9683	0.8609	1.0355	0.9210	28.8101	28.8101	29.1782	29.1587	28.5243
520		1.0184	0.8775	1.0519	0.9411	29.3750	29.3750	29.7504	29.7304	29.0836
530		1.0351	0.8940	1.1177	0.9779	29.9399	29.9399	30.3225	30.3022	29.6429
540		1.0684	0.9272	1.1834	1.0047	30.5048	30.5048	30.8946	30.8739	30.2022
550		1.1018	0.9570	1.1834	1.0382	31.0697	31.0697	31.4667	31.4456	30.7615
560		1.1185	0.9801	1.2163	1.0549	31.6346	31.6346	32.0388	32.0174	31.3208
570		1.1553	1.0265	1.2327	1.1219	32.1995	32.1995	32.6110	32.5881	31.8801
580		1.1853	1.0762	1.2656	1.1554	32.7644	32.7644	33.1831	33.1609	32.4394
590		1.2354	1.1060	1.2985	1.1889	33.3293	33.3293	33.7552	33.7326	32.9987
600		1.2487	1.1258	1.3149	1.2224	33.8942	33.8942	34.3273	34.3043	33.5580
610		1.2688	1.1589	1.3478	1.2391	34.4591	34.4591	34.8995	34.8761	34.1173
620		1.2955	1.1755	1.3807	1.2726	35.0240	35.0240	35.4716	35.4478	34.6766
630		1.3189	1.2053	1.4464	1.3396	35.5889	35.5889	36.0437	36.0196	35.2359
640		1.3422	1.2219	1.4957	1.3731	36.1538	36.1538	36.6158	36.5913	35.7952
650		1.3689	1.2417	1.5450	1.3898	36.7187	36.7187	37.1880	37.1630	36.3545
660		1.3856	1.2715	1.5779	1.4066	37.2836	37.2836	37.7601	37.7348	36.9138
670		1.4023	1.2914	1.6272	1.4233	37.8485	37.8485	38.3322	38.3065	37.4731
680		1.4357	1.3079	1.6765	1.4735	38.4134	38.4134	38.9043	38.8782	38.0324
690		1.4858	1.3411	1.6930	1.5204	38.9783	38.9783	39.4764	39.4500	38.5917
700		1.5025	1.3609	1.7423	1.5707	39.5432	39.5432	40.0486	40.0217	39.1510
710		1.5359	1.3841	1.8080	1.6109	40.1081	40.1081	40.6207	40.5935	39.7103
720		1.6194	1.4205	1.8738	1.6577	40.6730	40.6730	41.1928	41.1652	40.2696
730		1.7362	1.4371	1.9395	1.7013	41.2379	41.2379	41.7649	41.7369	40.8289
740		1.8030	1.4735	2.0053	1.7415	41.8028	41.8028	42.3371	42.3087	41.3882
750		1.8698	1.5066	2.1039	1.8084	42.3677	42.3677	42.9092	42.8804	41.9475
760		1.9366	1.5397	2.1696	1.8587	42.9326	42.9326	43.4813	43.4522	42.5068
770		2.0701	1.5728	2.2354	1.9089	43.4975	43.4975	44.0534	44.0239	43.0661
780		2.1703	1.6060	2.3340	1.9692	44.0624	44.0624	44.6255	44.5956	43.6254
790			1.6358	2.5312	2.0261	44.6273	44.6273	45.1977	45.1674	44.1847
800			1.6887		2.0764	45.1923	45.1923	45.7698	45.7391	44.7440
810			1.7417		2.0931	45.7572	45.7572	46.3419	46.3109	45.3033
820			1.8146		2.1936	46.3221	46.3221	46.9140	46.8826	45.8626
830			1.9536		2.2605	46.8870	46.8870	47.4862	47.4543	46.4219
840			2.2351		2.4113	47.4519	47.4519	48.0583	48.0261	46.9812
850			2.4570		2.6457	48.0168	48.0168	48.6304	48.5978	47.5405
860			2.6457		2.6624	48.5817	48.5817	49.2025	49.1695	48.0998
870			2.6821			49.1466	49.1466	49.7746	49.7413	48.6591
880						49.7115	49.7115	50.3468	50.3130	49.2184
890						50.2764	50.2764	50.9189	50.8848	49.7777
900						50.8413	50.8413	51.4910	51.4565	50.3370



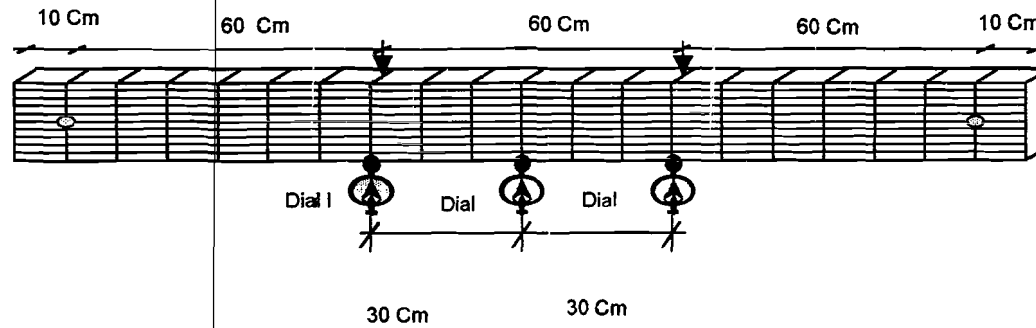
**TABEL PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK BFL**

Beban (kN)	Dial (Cm)		
	1	2	3
5	0,0300	0,0650	0,0290
10	0,0750	0,1200	0,0720
15	0,1050	0,1570	0,1100
20	0,1420	0,2100	0,1400
25	0,2400	0,3150	0,2210
30	0,3000	0,4010	0,2800
35	0,3850	0,5180	0,3650
40	0,4600	0,6000	0,4200
45	0,5110	0,6880	0,4900
50	0,7910	0,9990	0,7640
50	0,9990	1,2450	0,9300
50	1,2010	1,5580	1,1490
50	1,3400	1,6670	1,2800
50	1,4840	1,8640	1,4240
50	1,6120	2,0320	1,5540
50	1,7010	2,1530	1,6440
50	1,7820	2,2720	1,7280
50	1,8910	2,3840	1,8140
50	1,9880	2,4990	1,9000
50	2,0940	2,6240	1,9840



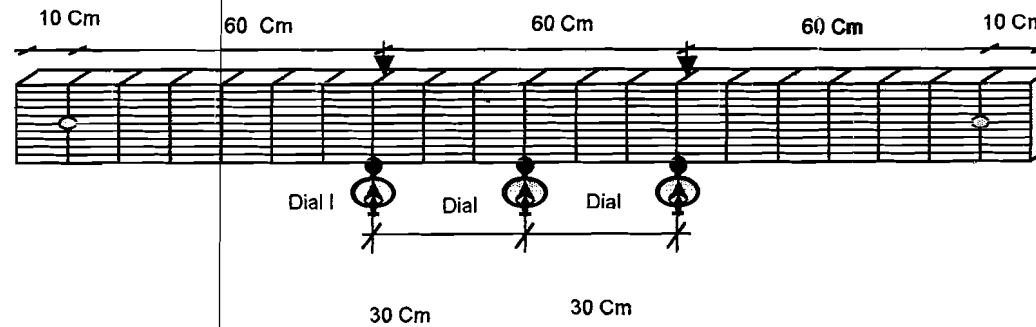
**TABEL PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK BFB**

Beban ( kN )	Dial ( Cm )		
	1	2	3
5	0,0560	0,0590	0,0240
10	0,0700	0,0900	0,0640
15	0,1320	0,1420	0,0990
20	0,1710	0,1810	0,1260
25	0,2330	0,2450	0,1810
30	0,3180	0,3330	0,2560
35	0,3950	0,4220	0,3280
40	0,4510	0,4900	0,3820
45	0,5220	0,5670	0,4450
50	0,7450	0,8680	0,7210
50	0,7900	0,9360	0,8090
50	0,9000	1,0710	0,9630
52,5	1,0150	1,2800	1,1450
52,5	1,1280	1,4380	1,2940
52,5	1,2550	1,5400	1,3150
52,5	1,3350	1,6400	1,4050
52,5	1,4770	1,8080	1,5450
52,5	1,5380	1,9890	1,6370
52,5	1,6800	2,1660	1,7870
52,5	1,8350	2,3440	1,9770
52,5	2,0830	2,5280	2,0090
52,5	2,1230	2,7210	2,2480
52,5	2,3350	2,9100	2,3990



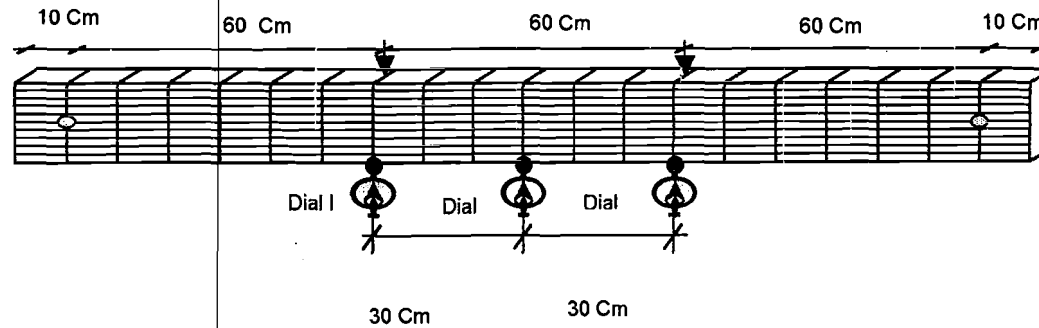
**TABEL PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK BFS1**

Beban ( kN )	Dial ( Cm )		
	1	2	3
5	0,0340	0,0360	0,0220
10	0,0650	0,0740	0,0490
15	0,1090	0,1240	0,0980
20	0,1580	0,1670	0,1260
25	0,2150	0,2260	0,1820
30	0,2880	0,2990	0,2490
35	0,3940	0,4020	0,3400
40	0,4520	0,4640	0,3950
45	0,6520	0,6620	0,5850
50	0,7740	0,7840	0,6880
50	1,0010	1,0190	0,9050
50	1,1500	1,1780	1,0700
52,5	1,2910	1,3340	1,2220
52,5	1,4250	1,4920	1,3860
52,5	1,4750	1,5490	1,4470
52,5	1,6050	1,7040	1,6050
52,5	1,7920	1,8700	1,7420
52,5	1,9720	2,0310	1,7950
52,5	2,1240	2,1870	1,9500
52,5	2,3030	2,3680	2,0950
52,5	2,4760	2,5400	2,2290
52,5	2,6490	2,7050	2,3560
52,5	2,8340	2,8770	2,5000



**TABEL PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK BFS2**

Beban (kN)	Dial ( Cm )		
	1	2	3
5	0,0230	0,0250	0,0180
10	0,0480	0,0610	0,0510
15	0,1060	0,1070	0,0790
20	0,1250	0,1450	0,1100
25	0,1700	0,2000	0,1620
30	0,3010	0,3330	0,2890
35	0,3500	0,4060	0,3460
40	0,4050	0,4630	0,3950
45	0,4750	0,5350	0,4590
50	0,7350	0,8220	0,7250
50	0,8110	0,9730	0,9200
50	0,9180	1,1370	1,0900
50	1,0260	1,3000	1,2680
50	1,2890	1,4500	1,2900
50	1,4330	1,6950	1,5350
50	1,5440	1,8400	1,6850
50	1,6900	2,0870	1,8900
50	1,8330	2,1750	1,9100
50	1,9230	2,4650	2,3170
50	2,0240	2,5480	2,3580
50	2,1670	2,7150	2,4930



**TABEL PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK BFTC**

Beban ( kN )	Dial ( Cm )		
	1	2	3
5	0,0500	0,0590	0,0220
10	0,0850	0,0950	0,0550
15	0,1290	0,1400	0,0950
20	0,1720	0,1860	0,1350
25	0,2500	0,2880	0,2510
30	0,2900	0,3480	0,2890
35	0,4000	0,4680	0,3980
40	0,4440	0,5320	0,4500
45	0,5420	0,6600	0,5520
50	0,7560	0,8780	0,7260
50	1,0100	1,0800	0,8690
52,5	1,1880	1,3100	1,0440
52,5	1,3330	1,4920	1,1810
52,5	1,4760	1,6800	1,3260
52,5	1,5700	1,8000	1,4210
52,5	1,6850	1,9630	1,5930
52,5	1,7880	2,1320	1,7790
52,5	1,9260	2,3200	1,9520
52,5	2,0620	2,4960	2,1200
52,5	2,2080	2,6620	2,2690
52,5	2,3550	2,8990	2,4390
52,5	2,4960	3,0620	2,5930

## LAMPIRAN 7

**TABEL PERHITUNGAN MOMEN - KELENGKUNGAN**  
**BFL (Beton Fiber Lurus)**

No.	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Momen (kN-m)	Kelengkungan (m)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	5	0.0300	0.0650	0.0290	1.5000	0.0079
3	10	0.0750	0.1200	0.0720	3.0000	0.0103
4	15	0.1050	0.1570	0.1100	4.5000	0.0110
5	20	0.1420	0.2100	0.1400	6.0000	0.0153
6	25	0.2400	0.3150	0.2210	7.5000	0.0188
7	30	0.3000	0.4010	0.2800	9.0000	0.0247
8	35	0.3850	0.5180	0.3650	10.5000	0.0318
9	40	0.4600	0.6000	0.4200	12.0000	0.0356
10	45	0.5110	0.6880	0.4900	13.5000	0.0417
11	50	0.7910	0.9990	0.7640	15.0000	0.0492
12	50	0.9990	1.2450	0.9300	15.0000	0.0623
13	50	1.2010	1.5580	1.1490	15.0000	0.0851
14	50	1.3400	1.6670	1.2800	15.0000	0.0793
15	50	1.4840	1.8640	1.4240	15.0000	0.0911
16	50	1.6120	2.0320	1.5540	15.0000	0.0998
17	50	1.7010	2.1530	1.6440	15.0000	0.1068
18	50	1.7820	2.2720	1.7280	15.0000	0.1149
19	50	1.8910	2.3840	1.8140	15.0000	0.1181
20	50	1.9880	2.4990	1.9000	15.0000	0.1233
21	50	2.0940	2.6240	1.9840	15.0000	0.1300

## LAMPIRAN 7

**TABEL PERHITUNGAN MOMEN - KELENGKUNGAN  
BFB (Beton Fiber Berkait)**

No.	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Momen (kN-m)	Kelengkungan (m)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	5	0.0560	0.0590	0.0240	1.5000	0.0042
3	10	0.0700	0.0900	0.0640	3.0000	0.0051
4	15	0.1320	0.1420	0.0990	4.5000	0.0059
5	20	0.1710	0.1810	0.1260	6.0000	0.0072
6	25	0.2330	0.2450	0.1810	7.5000	0.0084
7	30	0.3180	0.3330	0.2560	9.0000	0.0102
8	35	0.3950	0.4220	0.3280	10.5000	0.0134
9	40	0.4510	0.4900	0.3820	12.0000	0.0163
10	45	0.5220	0.5670	0.4450	13.5000	0.0186
11	50	0.7450	0.8680	0.7210	15.0000	0.0300
12	50	0.7900	0.9360	0.8090	15.0000	0.0303
13	50	0.9000	1.0710	0.9630	15.0000	0.0310
14	52.5	1.0150	1.2800	1.1450	15.7500	0.0444
15	52.5	1.1280	1.4380	1.2940	15.7500	0.0504
16	52.5	1.2550	1.5400	1.3150	15.7500	0.0567
17	52.5	1.3350	1.6400	1.4050	15.7500	0.0600
18	52.5	1.4770	1.8080	1.5450	15.7500	0.0660
19	52.5	1.5380	1.9890	1.6370	15.7500	0.0892
20	52.5	1.6800	2.1660	1.7870	15.7500	0.0961
21	52.5	1.8350	2.3440	1.9770	15.7500	0.0973
22	52.5	2.0830	2.5280	2.0090	15.7500	0.1071
23	52.5	2.1230	2.7210	2.2480	15.7500	0.1190
24	52.5	2.3350	2.9100	2.3990	15.7500	0.1207



## LAMPIRAN 7

**TABEL PERHITUNGAN MOMEN - KELENGKUNGAN  
BFS1 (Beton Fiber Spiral 1)**

No.	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Momen (kN-m)	Kelengkungan (m)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	5	0.0340	0.0360	0.0220	1.5000	0.0018
3	10	0.0650	0.0740	0.0490	3.0000	0.0038
4	15	0.1090	0.1240	0.0980	4.5000	0.0046
5	20	0.1580	0.1670	0.1260	6.0000	0.0056
6	25	0.2150	0.2260	0.1820	7.5000	0.0061
7	30	0.2880	0.2990	0.2490	9.0000	0.0068
8	35	0.3940	0.4020	0.3400	10.5000	0.0078
9	40	0.4520	0.4640	0.3950	12.0000	0.0090
10	45	0.6520	0.6620	0.5850	13.5000	0.0097
11	50	0.7740	0.7840	0.6880	15.0000	0.0118
12	50	1.0010	1.0190	0.9050	15.0000	0.0147
13	50	1.1500	1.1780	1.0700	15.0000	0.0151
14	52.5	1.2910	1.3340	1.2220	15.7500	0.0172
15	52.5	1.4250	1.4920	1.3860	15.7500	0.0192
16	52.5	1.4750	1.5490	1.4470	15.7500	0.0196
17	52.5	1.6050	1.7040	1.6050	15.7500	0.0220
18	52.5	1.7920	1.8700	1.7420	15.7500	0.0229
19	52.5	1.9720	2.0310	1.7950	15.7500	0.0328
20	52.5	2.1240	2.1870	1.9500	15.7500	0.0470
21	52.5	2.3030	2.3680	2.0950	15.7500	0.0614
22	52.5	2.4760	2.5400	2.2290	15.7500	0.0823
23	52.5	2.6490	2.7060	2.3560	15.7500	0.0952
24	52.5	2.8340	2.8770	2.5000	15.7500	0.1171

## LAMPIRAN 7

**TABEL PERHITUNGAN MOMEN - KELENGKUNGAN  
BFS2 (Beton Fiber Spiral 2)**

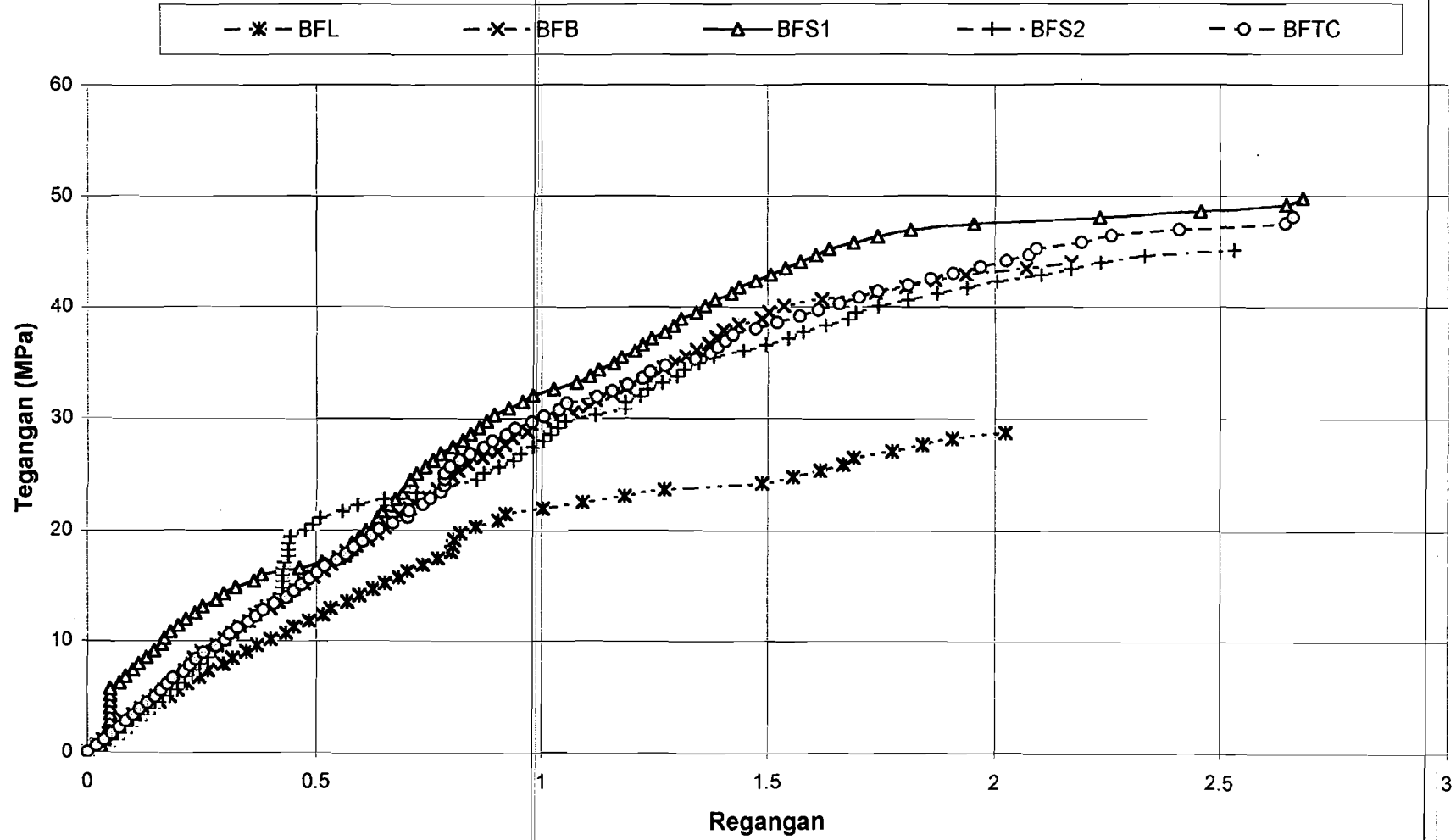
No.	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Momen (kN-m)	Kelengkungan (m)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	5	0.0230	0.0250	0.0180	1.5000	0.0010
3	10	0.0480	0.0610	0.0510	3.0000	0.0026
4	15	0.1060	0.1070	0.0790	4.5000	0.0032
5	20	0.1250	0.1450	0.1100	6.0000	0.0061
6	25	0.1700	0.2000	0.1620	7.5000	0.0076
7	30	0.3010	0.3330	0.2890	9.0000	0.0084
8	35	0.3500	0.4060	0.3460	10.5000	0.0129
9	40	0.4050	0.4630	0.3950	12.0000	0.0140
10	45	0.4750	0.5350	0.4590	13.5000	0.0151
11	50	0.7350	0.8220	0.7250	15.0000	0.0204
12	50	0.8110	0.9730	0.9200	15.0000	0.0239
13	50	0.9180	1.1370	1.0900	15.0000	0.0296
14	50	1.0260	1.3000	1.2680	15.0000	0.0340
15	50	1.2890	1.4500	1.2900	15.0000	0.0357
16	50	1.4330	1.6950	1.5350	15.0000	0.0469
17	50	1.5440	1.8400	1.6850	15.0000	0.0501
18	50	1.6900	2.0870	1.8900	15.0000	0.0660
19	50	1.8330	2.1750	1.9100	15.0000	0.0674
20	50	1.9230	2.4650	2.3170	15.0000	0.0767
21	50	2.0240	2.5480	2.3580	15.0000	0.0793
22	50	2.1670	2.7150	2.4930	15.0000	0.0856

LAMPIRAN 7

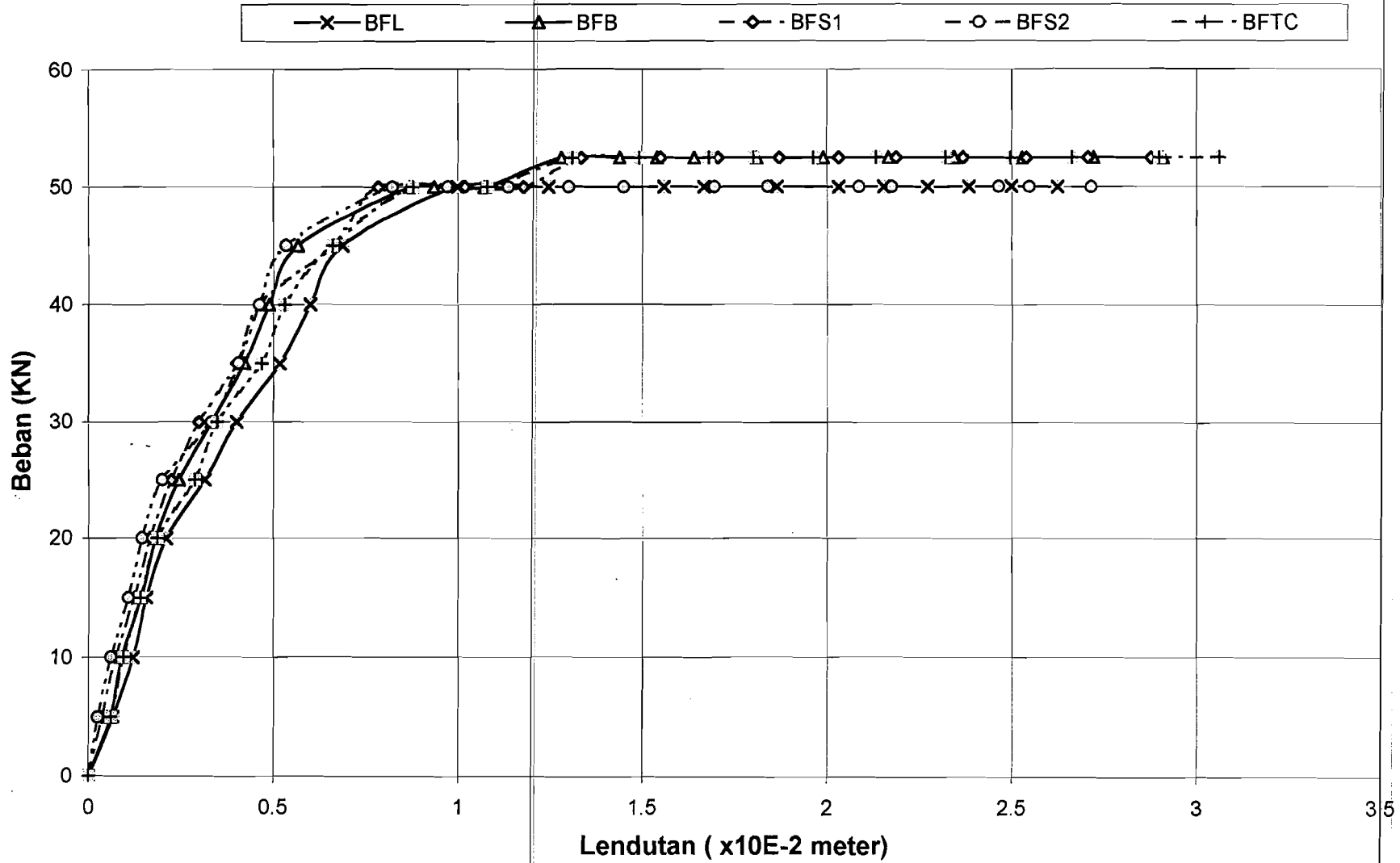
**TABEL PERHITUNGAN MOMEN - KELENGKUNGAN  
BFTC (Beton Fiber Twin cone)**

No.	P (KN)	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Momen (kN-m)	Kelengkungan (m)
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	5	0.0500	0.0590	0.0220	1.5000	0.0051
3	10	0.0850	0.0950	0.0550	3.0000	0.0056
4	15	0.1290	0.1400	0.0950	4.5000	0.0062
5	20	0.1720	0.1860	0.1350	6.0000	0.0072
6	25	0.2500	0.2880	0.2510	7.5000	0.0083
7	30	0.2900	0.3480	0.2890	9.0000	0.0130
8	35	0.4000	0.4680	0.3980	10.5000	0.0153
9	40	0.4440	0.5320	0.4500	12.0000	0.0189
10	45	0.5420	0.6600	0.5520	13.5000	0.0251
11	50	0.7560	0.8780	0.7260	15.0000	0.0304
12	50	1.0100	1.0800	0.8690	15.0000	0.0312
13	52.5	1.1880	1.3100	1.0440	15.7500	0.0431
14	52.5	1.3330	1.4920	1.1810	15.7500	0.0522
15	52.5	1.4760	1.6800	1.3260	15.7500	0.0620
16	52.5	1.5700	1.8000	1.4210	15.7500	0.0677
17	52.5	1.6850	1.9630	1.5930	15.7500	0.0720
18	52.5	1.7880	2.1320	1.7790	15.7500	0.0774
19	52.5	1.9260	2.3200	1.9520	15.7500	0.0847
20	52.5	2.0620	2.4960	2.1200	15.7500	0.0900
21	52.5	2.2080	2.6620	2.2690	15.7500	0.0941
22	52.5	2.3550	2.8990	2.4390	15.7500	0.1116
23	52.5	2.4960	3.0620	2.5930	15.7500	0.1150

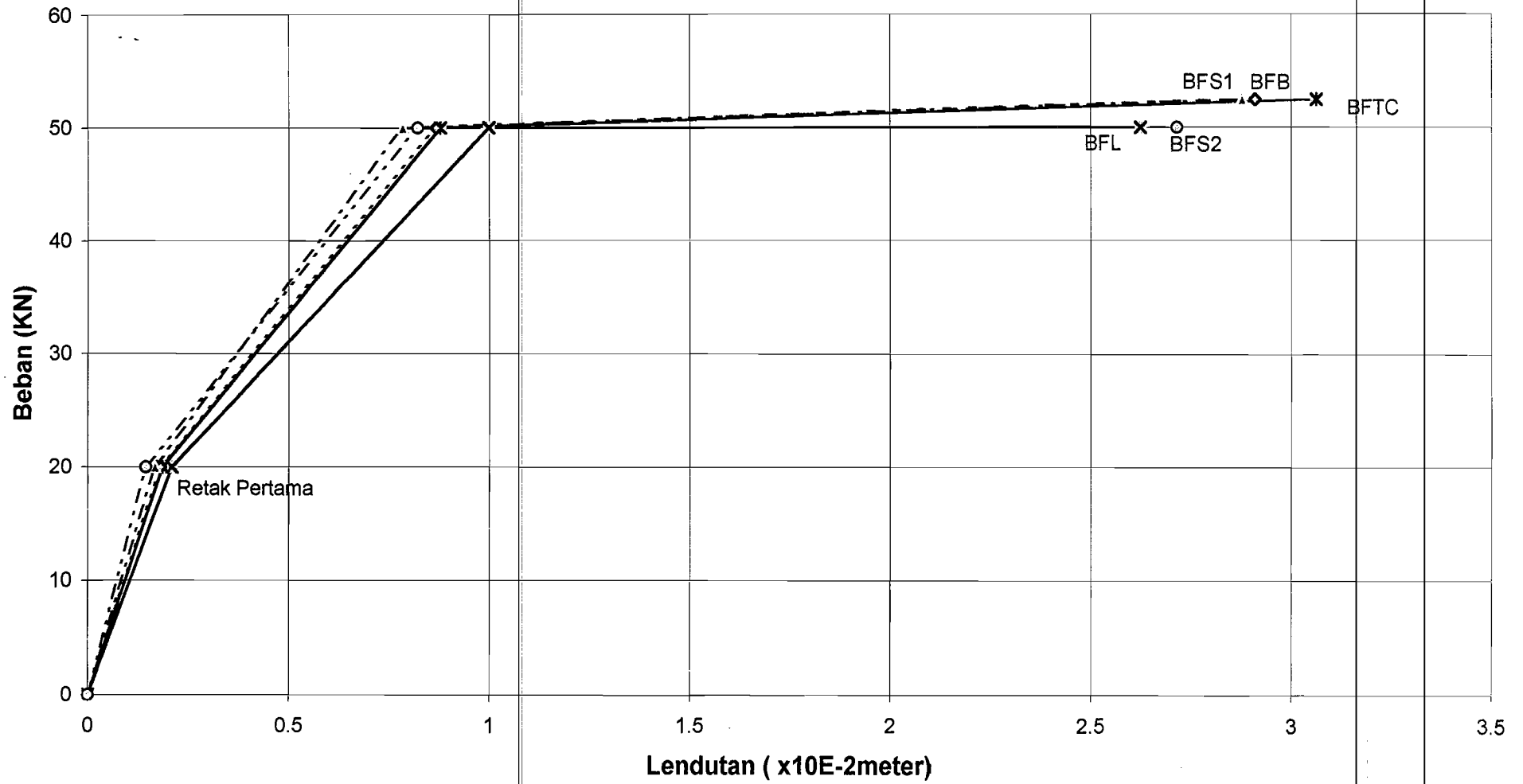
### GRAFIK TEGANGAN - REGANGAN SILINDER BETON FIBER UMUR 28 HARI



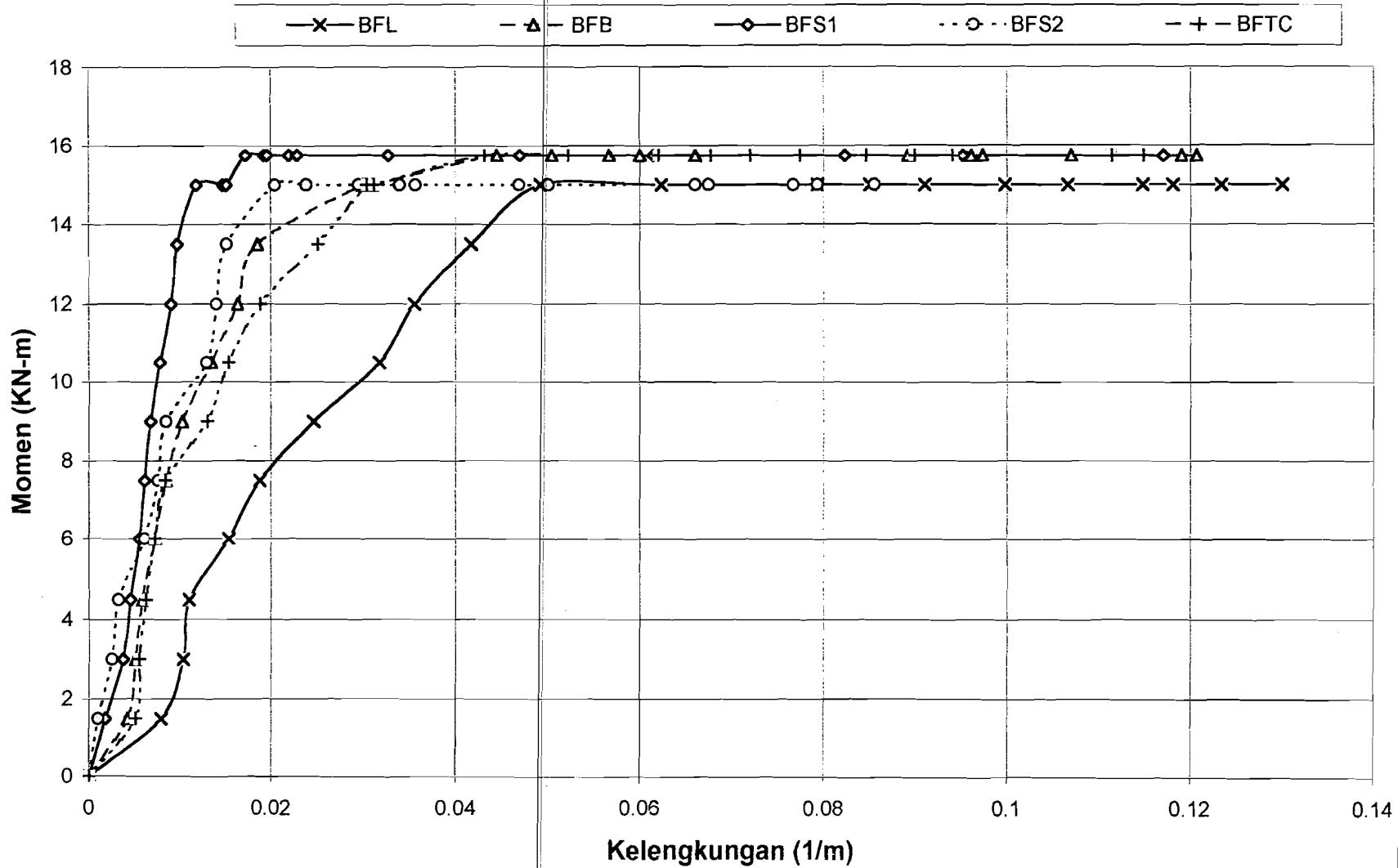
**PERBANDINGAN GRAFIK BEBAN - LENDUTAN DATA ASLI  
BALOK BETON FIBER GEOMETRI LURUS, BERKAIT, SPIRAL1, SPIRAL2 & TWIN CONE**



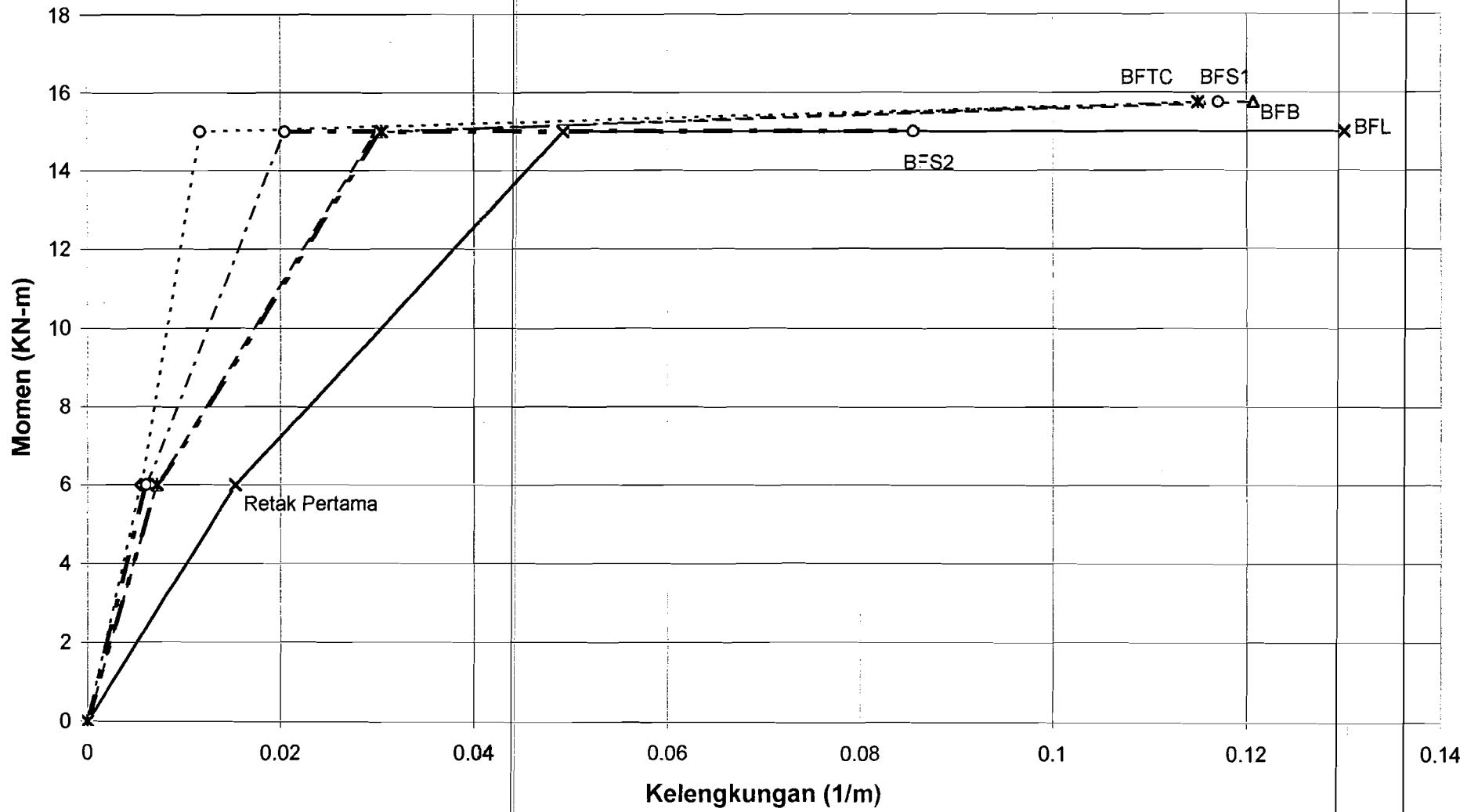
# GRAFIK BEBAN - LENDUTAN



**PERBANDINGAN GRAFIK MOMEN - KELENGKUNGAN DATA ASLI  
BALOK BETON FIBER GEOMETRI LURUS, BERKAIT, SPIRAL1, SPIRAL2 & TWIN CONE**

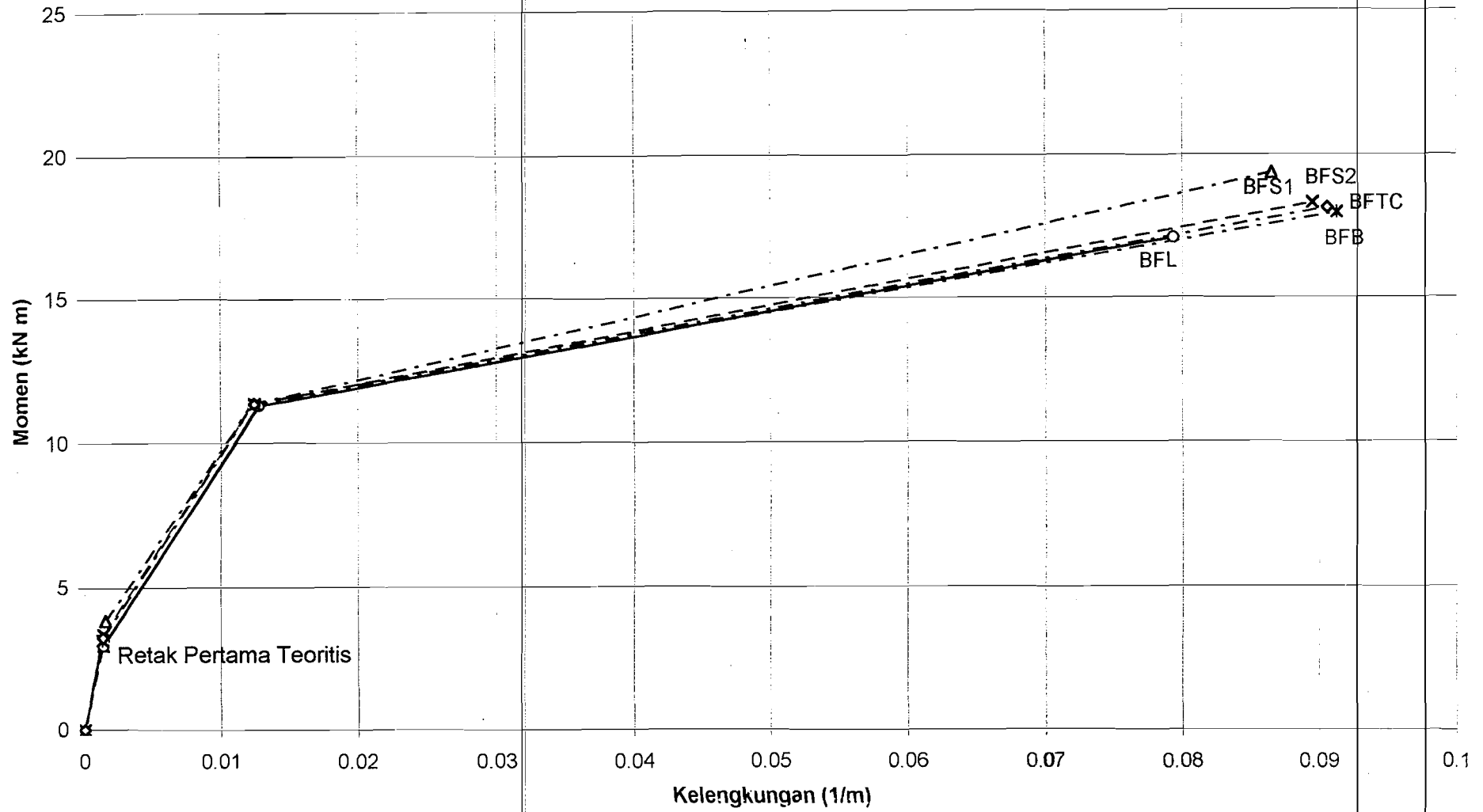


### GRAFIK MOMEN - KELENGKUNGAN PENGAMATAN

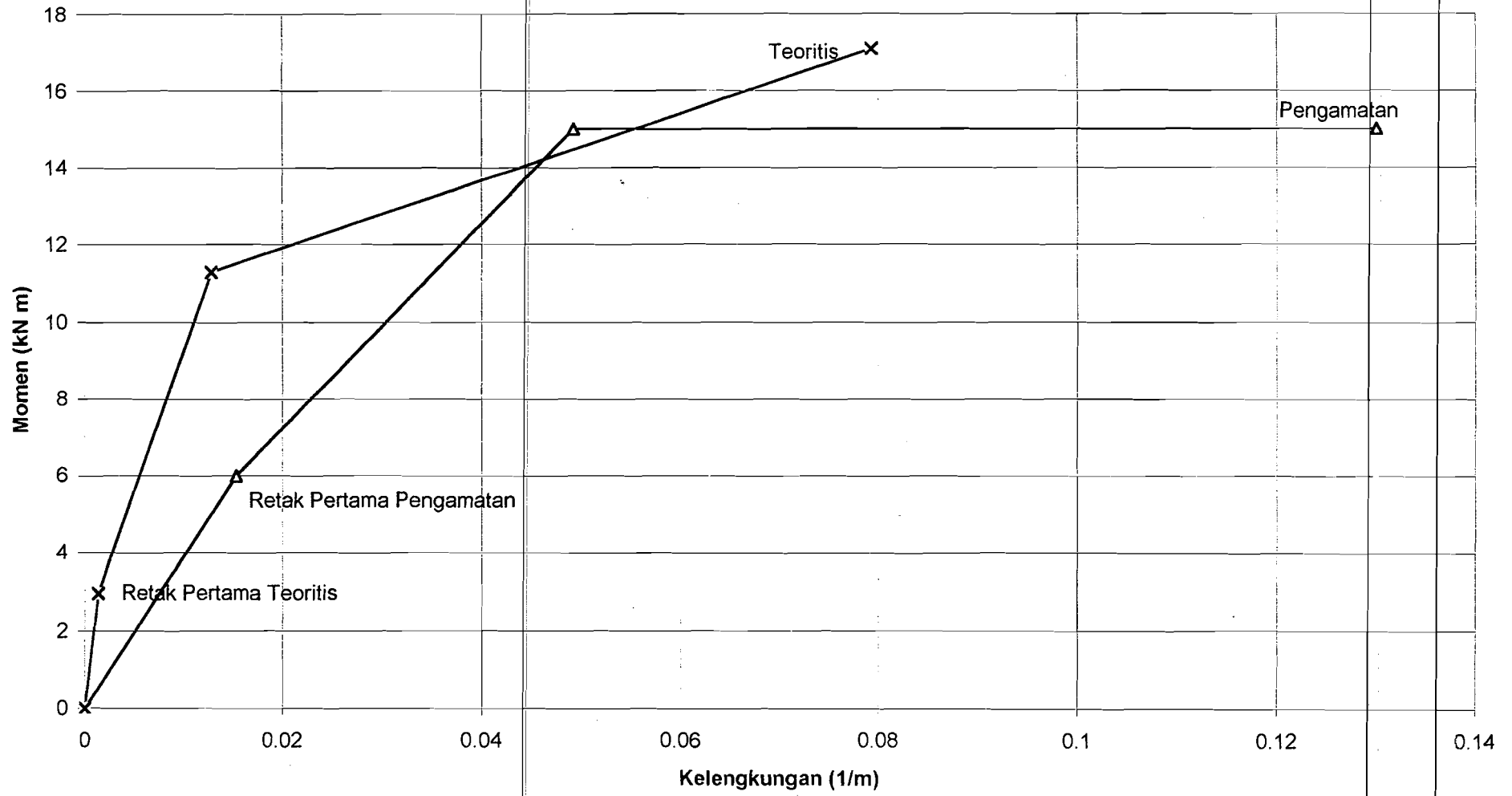




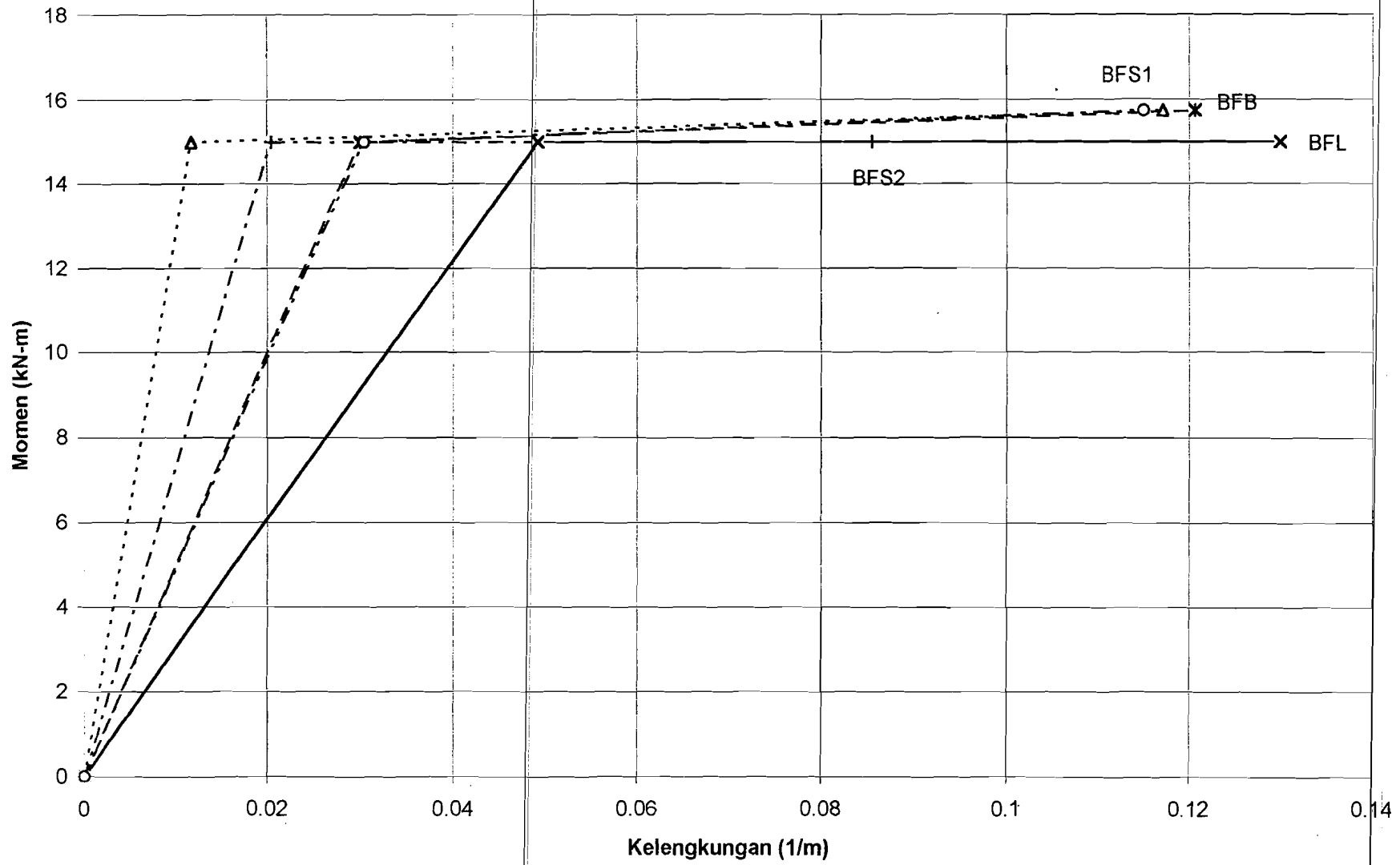
### GRAFIK MOMEN KELENGKUNGAN TEORITIS



PERBANDINGAN GRAFIK MOMEN KELENGKUNGAN  
SECARA TEORITIS DAN PENGAMATAN UNTUK JENIS BFL



### GRAFIK MOMEN - KELENGKUNGAN



## LAMPIRAN 10

---

### MIX DESIGN

---

Data – data yang telah diperoleh adalah :

1. Kuat desak rencana ( $f'c$ ) : 20 Mpa
2. Diameter maximum agregat : 20 mm
3. Modulus halus butir pasir : 2,77025 t / m<sup>3</sup>
4. Berat jenis pasir : 2,2727 t / m<sup>3</sup>
5. Berat jenis kerikil : 2,63 t / m<sup>3</sup>
6. Berat Volume agregat kering tusuk ( $\gamma_k$ ) : 1,489 t / m<sup>3</sup>
7. Berat jenis semen : 3,15 t / m<sup>3</sup>

### PERENCANAAN

1. Menghitung Kuat Desak rata – rata

$$m = k \times Sd$$

$$f'cr = fc + m$$

dimana  $k = 1,64$  dengan volume pekerjaan kecil dan mutu pekerjaan cukup,  
diperkirakan  $Sd = 4$  Mpa

$$m = k \times Sd = 1,64 \times 4 = 6,56 \text{ Mpa}$$

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

2. Menetapkan Faktor Air Semen ( fas )

Berdasarkan tabe 2.3 umur beton 28 hari dan kekuatan yang dikehendaki  
yaitu 26,56 Mpa maka nilai fas nya adalah 0,55

Berdasarkan tabe 2.4 konstruksi beton diluar bangunan sehingga nilai fasnya  
0,60. Maka nilai fas yang dipakai yaitu 0,55

3. Menetapkan Nilai Slump

Berdasarkan tabel 2.5 Jenis struktur balok dan kolom maka diperoleh nilai  
slump 75mm s/d 150mm

## LAMPIRAN 10

### 4. Menetapkan Kebutuhan Air ( $V_a$ )

Berdasarkan tabel 2.7 nilai slump 75 mm s/d 100 mm dan diameter maximum agregat 20 mm maka kebutuhan air yaitu 203 liter dan udara terperangkap 2%

### 5. Menghitung Kebutuhan Semen ( $V_s$ )

$$W_s = W_a / f_{as} = 203 / 0,55 = 369,091 \text{ Kg}$$

$$V_s = W_s / B_j \text{ semen} = 0,369091 / 3,15 = 0,1172 \text{ m}^3$$

### 6. Menetapkan Volume Agregat Kasar ( $V_k$ )

Berdasarkan tabel 2.8 Diameter agregat maximum 20 mm dan  $M_{hb} = 2,77025 \text{ t / m}^3$  diperoleh :

$$\odot \text{ Volume agregat kasar ( } V_k \text{ )} = 0,612975 \text{ m}^3$$

$$\odot \text{ Berat Agregat kasar ( } W_k \text{ )} = V_k \times \gamma_k = 0,612975 \times 1,489 = 0,91272 \text{ ton}$$

$$\odot V_k = W_k / B_j \text{ kerikil} = 0,91272 / 2,63 = 0,34704 \text{ m}^3$$

### 7. Menetapkan Volume Pasir ( $V_p$ )

$$V_p = 1 - ( V_a + V_s + V_k + V_u )$$

$$V_p = 1 - ( 0,203 + 0,1172 + 0,34704 + 0,02 ) = 0,31276 \text{ m}^3$$

$$W_p = V_p \times B_j \text{ pasir} = 0,31276 \times 2,2727 = 0,71081 \text{ ton}$$

Tabel Kebutuhan Material per meter kubik

No	Jenis Material	Berat ( Kg )
1	Semen	396,091
2	Pasir	710,81
3	Kerikil	912,72
4	Air	203 liter ☺
	Jumlah Volume Adukan	2222,62

### 8. Menetapkan Kebutuhan Serat Baja Lokal (Bendrat)

Dipakai Volume serat ( $V_f$ ) sebanyak 1% dari berat Volume adukan

$$V_f = 1\% \times 2222,62 = 22,2262 \text{ kg}$$

## LAMPIRAN 10

### VOLUME SAMPEL

#### 1. Dimensi Balok

$$@ 12 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 200 \text{ cm} = 0,048 \text{ m}^3$$

$$\text{Jumlah balok yaitu } 15 \text{ buah} = 0,048 \times 15 = 0,72 \text{ m}^3$$

#### 2. Dimensi Silinder

Diameter 15 cm dan tinggi 30 cm

$$\text{Volume} = 0,25 \times 3,14 \times (0,15)^2 \times 0,3 = 0,0053 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 0,0053 \times 60 = 0,318 \text{ m}^3$$

☺ Jadi Volume adukan beton total yaitu  $0,72 + 0,318 = 1,038 \text{ m}^3$

Tabel Sampel

No	Jenis Sampel	Balok	Silinder
1	Beton Serat Lurus	3	12
2	Beton Serat Berkait	3	12
3	Beton Serat Spiral 1	3	12
4	Beton Serat Spiral 2	3	12
5	Beton Serat Twin Cone	3	12
Jumlah Sampel		15	60

☺ Catatan : 12 silinder per variasi di gunakan untuk uji desak (9 silinder) dan uji belah (3 silinder).

#### Kebutuhan Material dari Total Volume Pekerjaan

1. Semen =  $396,091 \times 1,038 = 411,14 \text{ Kg}$

2. Pasir =  $710,81 \times 1,038 = 737,82 \text{ Kg}$

3. Kerikil =  $912,72 \times 1,038 = 947,40 \text{ Kg}$

4. Air =  $203 \times 1,038 = 210,71 \text{ Liter}$  ☺

5. Serat =  $22,2262 \times 1,038 = 23,07 \text{ Kg}$

## LAMPIRAN 10

### Kebutuhan Kerikil

Berat total kerikil 1308 kg

Kerikil dibagi menjadi 3 gradasi yaitu

- ☉ Ukuran Besar diameter 12,5mm s/d 20mm = 496,5 kg
- ☉ Ukuran Sedang diameter 9,5mm s/d 12,5mm = 376,5 kg
- ☉ Ukuran Kecil diameter 1mm s/d 9,5mm = 435 kg

Perbandingan gradasi kerikil = 1,32 : 1 : 1,16

Kebutuhan Material dalam 1 kali adukan (mix) beton

Volume molen (mixer) = 0,08m<sup>3</sup>

1. Semen = 411,14 x 0,08 = 32,8912 kg
2. Pasir = 737,82 x 0,08 = 59,0256kg
3. Kerikil = 947,40 x 0,08 = 75,792 kg
4. Air = 210,71 x 0,08 = 16,8568 liter
5. Serat = 23,07 x 0,08 = 1,8456 kg

Kebutuhan Campuran Kerikil per adukan (0,08 m<sup>3</sup>)

- ☉ Besar = 1,32 / 3,48 x 75,792 = 28,74 kg
- ☉ Sedang = 1 / 3,48 x 75,792 = 21,78 kg
- ☉ Kecil = 1,16 / 3,48 x 75,792 = 25,26 kg

Tabel Kebutuhan Material per 1,038 m<sup>3</sup>

No	Jenis Material	Berat ( Kg )
1	Semen	411,14
2	Pasir	737,82
3	Kerikil	947,40
4	Air	210,71 liter
5	Bendrat	23,07

LAMPIRAN 10

Tabel Kebutuhan Material per 0,08 m<sup>3</sup> (per adukan)

No	Jenis Material	Berat ( Kg )
1	Semen	32,8912
2	Pasir	59,0256
3	Kerikil	75,792
4	Air	16,8568 liter
5	Bendrat	1,8456

©JOKERRR



LAMPIRAN 11

**PERHITUNGAN KUAT DESAK BETON  
UNTUK BETON SERAT LURUS**

Tebal Kuat Desak Silinder Beton Serat Lurus

No.Silinder	Kode	Diameter (mm)	Beban Desak Max (KN)	Desak (Mpa)
I	BFL - I	150,60	595	33,38892007
II		149,00	535	30,67019913
III		150,75	600	33,60252859
I	BFL - II	150,00	615	34,78787879
II		151,40	510	28,31742613
III		151,90	610	33,64725487
I	BFL - III	148,00	620	36,02496846
II		149,60	745	42,36707057
III		149,90	770	43,61368776
				$f'_{cr} = 35,1577$

$$Kuat\ Desak = \frac{P_{max}}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata

$f'_c$  = kuat tekan karakteristik

M = nilai tambah/margin

= 12 Mpa (data hasil uji kurang dari 15 buah)

$f'_{cr} = 35,1577$  Mpa

$f'_c = f'_{cr} - M = 35,1577 - 12 = 23,1577$  MPa

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton serat lurus adalah 23,1577 Mpa.

LAMPIRAN 11

**PERHITUNGAN KUAT DESAK BETON  
UNTUK BETON SERAT BERKAIT**

Tebal Kuat Desak Silinder Beton Serat Berkait

No.Silinder	Kode	Diameter (mm)	Beban Desak Max (KN)	Desak (Mpa)
I	BFB - I	150,5	730	41,01901344
II		150,1	780	44,06244261
III		150,2	800	45,13209277
I	BFB - II	148	665	38,63968391
II		149,2	720	41,16519724
III		149,7	770	43,73030184
I	BFB - III	150,3	830	46,76225886
II		150,65	700	39,25501237
III		150,1	885	49,99392527
				$f'_{cr} = 43.30666$

$$Kuat\ Desak = \frac{P\ max}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata

$f'_c$  = kuat tekan karakteristik

M = nilai tambah/margin

= 12 Mpa (data hasil uji kurang dari 15 buah)

$f'_{cr} = 43,30666$  Mpa

$f'_c = f'_{cr} - M$

= 43,30666 - 12

= 31,30666 Mpa

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton serat berkait adalah 31,30666 Mpa

LAMPIRAN 11

**PERHITUNGAN KUAT DESAK BETON  
UNTUK BETON SERAT SPIRAL TIPE 1**

Tebal Kuat Desak Silinder Beton Serat Spiral 1

No.Silinder	Kode	Diameter (mm)	Beban Desak Max (kN)	Desak (Mpa)
I	BFS 1 - I	150,25	850	47,92093851
II		150,00	825	46,66666667
III		149,20	800	45,73910805
I	BFS 1 - II	149,15	865	49,48857430
II		148,90	875	50,22289394
III		149,20	850	48,59780230
I	BFS 1 - III	151,50	730	40,47929545
II		150,00	760	42,98989899
III		150,00	645	36,48484848
				$f'_{cr} = 45,3996$

$$Kuat\ Desak = \frac{P\ max}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata

$f'_c$  = kuat tekan karakteristik

M = nilai tambah/margin

= 12 Mpa (data hasil uji kurang dari 15 buah)

$f'_{cr} = 45,3996$  Mpa

$f'_c = f'_{cr} - M = 45,3996 - 12 = 33,3996$  MPa

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton serat spiral-1 adalah 33,3996 Mpa.

LAMPIRAN 11

**PERHITUNGAN KUAT DESAK BETON  
UNTUK BETON SERAT SPIRAL TIPE 2**

Tebal Kuat Desak Silinder Beton Serat Spiral 2

No.Silinder	Kode	Diameter (mm)	Beban DesakMax (kN)	Desak (Mpa)
I	BFS 2- I	150,45	720	40,48400435
II		149,40	760	43,33589276
III		149,20	785	44,88149977
I	BFS 2- II	150,00	670	37,89898990
II		149,75	740	41,99846408
III		150,00	720	40,18962486
I	BFS 2-III	150,00	680	38,46464646
II		150,60	850	47,69845725
III		147,30	860	50,44618266
				$f'_{cr} = 42,82197$

$$Kuat\ Desak = \frac{P\ max}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata

$f'_c$  = kuat tekan karakteristik

M = nilai tambah/margin

= 12 Mpa (data hasil uji kurang dari 15 buah)

$f'_{cr} = 42,82197$  Mpa

$f'_c = f'_{cr} - M = 42,82197 - 12 = 30,82197$  MPa

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton serat spiral 2 adalah 30,82197 Mpa.

LAMPIRAN 11

**PERHITUNGAN KUAT DESAK BETON  
UNTUK BETON SERAT TWIN CONE**

Tebal Kuat Desak Silinder Beton Serat Twin Cone

No.Silinder	Kode	Diameter (mm)	Beban Desak Max (KN)	Desak (Mpa)
I	BFTC - I	150,05	780	44,09181268
II		151,10	670	37,34919318
III		151,35	630	35,00346597
I	BFTC- II	150,05	720	40,70013478
II		149,30	740	42,25201787
III		149,40	750	42,76568364
I	BFTC- III	150,40	890	50,07600621
II		150,85	860	48,09978916
III		150,75	840	47,04354003
				$f'_{cr} = 43,0424$

$$Kuat\ Desak = \frac{P\ max}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata

$f_c$  = kuat tekan karakteristik

M = nilai tambah/margin

= 12 Mpa (data hasil uji kurang dari 15 buah)

$f'_{cr} = 43,0424$  Mpa

$f_c = f'_{cr} - M$

= 43,0424 - 12

= 31,0424 Mpa

Berdasarkan hasil uji ini, kuat desak beton serat spiral 1 adalah 31,0424 Mpa

## LAMPIRAN 12

---

### MOMEN RETAK BFL (Perhitungan Secara Teoritis)

---

Momen retak secara teoritis berdasarkan SKSNI-T15-1991-03, momen retak ( $M_{cr}$ ) balok ditentukan dengan persamaan =

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{Y_t}$$

dimana

$M_{cr}$  = momen retak

$f_r$  = modulus retak

$I_g$  = inersia balok =  $\frac{1}{12} \times b \times h^3$

$Y_t$  = jarak garis netral ke serat tepi tertarik

Berdasarkan data yang ada maka momen retak beton serat dapat dicari sbb:

$$f_c = 23,1577 \text{ MPa}$$

$$f_r = 3,0004 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 120 \times 200^3 = 80.10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_t = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \times 200 = 100 \text{ mm}$$

---

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{Y_t} = \frac{3,0004 \times 80.10^6}{100} = 2,40.10^6 \text{ N.mm}$$
$$= 2,40. \text{ kN.m}$$

$$M_{cr} = \frac{1}{6} \cdot P_{cr} \cdot L$$

$$2,40 = \frac{1}{6} \cdot P_{cr} \cdot 1,8$$

$$P_{cr} = \frac{2,40 \cdot 6}{1,8} = 8,001 \text{ kN}$$

## LAMPIRAN 12

### MOMEN RETAK BFB

(Perhitungan Secara Teoritis)

Momen retak secara teoritis berdasarkan SKSNI-T15-1991-03, momen retak ( $M_{cr}$ ) balok ditentukan dengan persamaan =

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{Y_t}$$

dimana

$M_{cr}$  = momen retak

$f_r$  = modulus retak

$I_g$  = inersia balok =  $\frac{1}{12} \times b \times h^3$

$Y_t$  = jarak garis netral ke serat tepi tertarik

Berdasarkan data yang ada maka momen retak beton serat dapat dicari sbb:

$$f'_c = 31,30666 \text{ MPa}$$

$$f_r = 3,5062 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 120 \times 200^3 = 80.10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_t = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \times 200 = 100 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{Y_t} = \frac{3,5062 \times 80.10^6}{100} = 2,44.10^6 \text{ N.mm}$$
$$= 2,44. \text{ kN.m}$$

$$M_{cr} = \frac{1}{6} \cdot P_{cr} \cdot L$$

$$2,44 = \frac{1}{6} \cdot P_{cr} \cdot 1,8$$

$$P_{cr} = \frac{2,44 \cdot 6}{1,8} = 8,135 \text{ kN}$$

## LAMPIRAN 12

### MOMEN RETAK BFS 1 (Perhitungan Secara Teoritis)

Momen retak secara teoritis berdasarkan SKSNI-T15-1991-03, momen retak ( $M_{cr}$ ) balok ditentukan dengan persamaan =

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{Y_t}$$

dimana

$M_{cr}$  = momen retak

$f_r$  = modulus retak

$I_g$  = inersia balok =  $\frac{1}{12} \times b \times h^3$

$Y_t$  = jarak garis netral ke serat tepi tertarik

Berdasarkan data yang ada maka momen retak beton serat dapat dicari sbb:

$$f'_c = 33,3996 \text{ MPa}$$

$$f_r = 4,0372 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 120 \times 200^3 = 80 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_t = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \times 200 = 100 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{Y_t} = \frac{4,0372 \times 80 \cdot 10^6}{100} = 3,23 \cdot 10^6 \text{ N.mm}$$
$$= 3,23 \cdot \text{kN.m}$$

$$M_{cr} = \frac{1}{6} \cdot P_{cr} \cdot L$$

$$3,23 = \frac{1}{6} \cdot P_{cr} \cdot 1,8$$

$$P_{cr} = \frac{3,23 \cdot 6}{1,8} = 10,767 \text{ kN}$$



## LAMPIRAN 12

### MOMEN RETAK BFS2

#### (Perhitungan Secara Teoritis)

Momen retak secara teoritis berdasarkan SKSNI-T15-1991-03, momen retak ( $M_{cr}$ ) balok ditentukan dengan persamaan =

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{Y_t}$$

dimana

$M_{cr}$  = momen retak

$f_r$  = modulus retak

$I_g$  = inersia balok =  $\frac{1}{12} \times b \times h^3$

$Y_t$  = jarak garis netral ke serat tepi tertarik

Berdasarkan data yang ada maka momen retak beton serat dapat dicari sbb:

$$f_c = 30,82197 \text{ MPa}$$

$$f_r = 3,2955 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 120 \times 200^3 = 80.10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_t = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \times 200 = 100 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{Y_t} = \frac{3,2955 \times 80.10^6}{100} = 2,636.10^6 \text{ N.mm}$$
$$= 2,636. \text{ kN.m}$$

$$M_{cr} = \frac{1}{6} \cdot P_{cr} \cdot L$$

$$2,636 = \frac{1}{6} \cdot P_{cr} \cdot 1,8$$

$$P_{cr} = \frac{2,636 \cdot 6}{1,8} = 8,788 \text{ kN}$$

## LAMPIRAN 12

---

### MOMEN RETAK BFTC (Perhitungan Secara Teoritis)

---

Momen retak secara teoritis berdasarkan SKSNI-T15-1991-03, momen retak ( $M_{cr}$ ) balok ditentukan dengan persamaan =

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{Y_t}$$

dimana

$M_{cr}$  = momen retak

$f_r$  = modulus retak

$I_g$  = inersia balok =  $\frac{1}{12} \times b \times h^3$

$Y_t$  = jarak garis netral ke serat tepi tertarik

Berdasarkan data yang ada maka momen retak beton serat dapat dicari sbb:

$$f'_c = 31,0424 \text{ MPa}$$

$$f_r = 3,3862 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 120 \times 200^3 = 80 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_t = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \times 200 = 100 \text{ mm}$$

---

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{Y_t} = \frac{3,3862 \times 80 \cdot 10^6}{100} = 3,71 \cdot 10^6 \text{ N.mm}$$
$$= 3,71 \text{ kN.m}$$

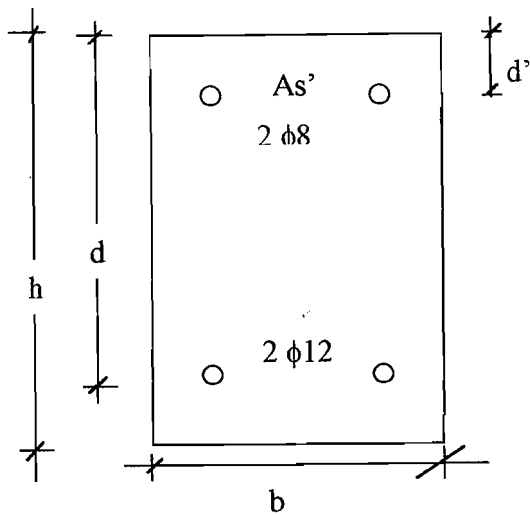
$$M_{cr} = \frac{1}{6} \cdot P_{cr} \cdot L$$

$$3,71 = \frac{1}{6} \cdot P_{cr} \cdot 1,8$$

$$P_{cr} = \frac{3,71 \cdot 6}{1,8} = 9,03 \text{ kN}$$

LAMPIRAN 13

**PERHITUNGAN MOMEN KELENGKUNGAN SECARA TEORI  
UNTUK BFL  
(Menurut Henager dan Doherty, 1976)**



$$h = 200 \text{ mm}$$

$$d = 179 \text{ mm}$$

$$d' = 19 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$f_y = 311,87 \text{ MPa}$$

$$f'_{cf} = 23,1577 \text{ MPa}$$

$$f_r = 3,0004 \text{ MPa}$$

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

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

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{226,2}{120 \cdot 179} = 0,01$$

$$\rho' = \frac{A_{s'}}{b \cdot d} = \frac{100,53}{120 \cdot 179} = 0,00468$$

$$E_s = 4700 \sqrt{f_{c_f}} = 4700 \sqrt{23,1577} = 22617,55 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus rasio (n)} = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2 \cdot 10^5}{22617,55} = 8,842$$

## LAMPIRAN 13

### 1) Sebelum retak

$$\begin{aligned}
 A &= b \times h + (n - 1) \times (A_s + A_s') \\
 &= (120 \times 200) + (8,842 - 1) \times (226,2 + 100,53) \\
 &= (120 \times 200) + (7,842 \times 226,2) + (7,842 \times 100,53) \\
 &= 24000 + 1774,017 + 788,35626 \\
 &= 26562,44228 \text{ mm}^2 \\
 \bar{y}_a &= \frac{(24000 \times 100) + (1774,017 \times 179) + (788,425 \times 19)}{26562,44228}
 \end{aligned}$$

$$= 102,872 \text{ mm}$$

$$\bar{y}_b = 200 - 102,872$$

$$= 97,128 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 I &= \left(\frac{1}{12} \times 120 \times 200^3\right) + (24000 \times 2,872^2) + (1774,017 \times 76,128^2) + \\
 &\quad (788,425 \times 83,872^2) \\
 &= 96025413,17 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\therefore M_{crack} = \frac{f_r \cdot I}{y_b} = \frac{3,0004 \times 96025413,17}{97,128} = 2966339,775 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$= 2,966 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\therefore \Phi_{crack} = \frac{f_r / E_c}{y_b} = \frac{3,0004 / 22617,55}{97,128} = 1,366 \cdot 10^{-6} \text{ rad/mm}$$

$$= 1,366 \cdot 10^{-3} \text{ rad/m}$$

LAMPIRAN 13

2) Setelah retak pada saat leleh pertama.

Dengan menganggap beban elastis maka :

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

$$= \left[ \left( (0,01 + 0,00468)^2 \cdot (8,842)^2 \right) + \left( 2 \left( 0,01 + \frac{0,00468 \times 19}{179} \right) \cdot 8,842 \right) \right]^{\frac{1}{2}} - ((0,01 + 0,00468) \cdot 8,842)$$

$$= 0,32$$

$$\therefore kd = 0,32 \times 179 = 57,31 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{fy}{Es} = \frac{311,87}{2 \cdot 10^5} = 0,00156$$

Dari diagram didapat :

$$\varepsilon_{cf} = 0,00156 \times \frac{57,31}{179 - 57,31} = 7,347 \cdot 10^{-4}$$

$$\therefore f_{cf} = 7,347 \cdot 10^{-4} \times 27162,42191 = 16,617 \text{ MPa} = 0,72 f'_{cf}$$

$$\varepsilon'_s = 7,347 \cdot 10^{-4} \times \frac{57,31 - 19}{57,31} = 4,911 \cdot 10^{-4}$$

$$\therefore f'_s = 4,911 \cdot 10^{-4} \times 2 \cdot 10^5 = 98,225 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{fr} = 0,00156 \times \frac{200 - 57,31}{179 - 57,31} = 1,829 \cdot 10^{-3}$$

$$\therefore f_{fr} = 1,829 \cdot 10^{-3} \times f_r$$

$$= 1,829 \cdot 10^{-3} \times 3,0004 = 5,488 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$$

### LAMPIRAN 13

Serat atas.

$$C_{cf} = \frac{1}{2} \cdot f_{cf} \cdot \beta \cdot b \cdot kd = \frac{1}{2} \cdot 16,617 \times 0,85 \times 120 \times 57,31$$

$$= 48568,334 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s' = 100,53 \times 98,225$$

$$= 984,559 \text{ N}$$

Jadi gaya tekan total yang bekerja pada  $\bar{y}$  dari serat atas adalah 58442,893 N

$$\bar{y}_1 = \frac{(984,559 \times 19) + (48568,334 \times \frac{57,31}{3})}{58442,893}$$

$$= 19,086 \text{ mm}$$

Serat bawah

$$T_{cf} = \frac{1}{2} \cdot f_{cf} \cdot b \cdot (h - kd)$$

$$= \frac{1}{2} \times 5,488 \cdot 10^{-3} \times 120 \times (200 - 57,31)$$

$$= 46,985 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y = 226,2 \times 311,87$$

$$= 70544,994 \text{ N}$$

Jadi gaya tarik total yang bekerja pada  $\bar{y}$  dari serat bawah adalah 70591,98 N.

$$\bar{y}_2 = \frac{(70544,994 \times (h - d)) + (46,985 \times (\frac{h - kd}{3}))}{70591,98}$$

$$= \frac{(70544,994 \times (200 - 179)) + (46,985 \times (\frac{142,69}{3}))}{70591,98} = 21,017 \text{ mm}$$

### LAMPIRAN 13

$$\begin{aligned} \therefore jd &= h - \bar{y}_1 - \bar{y}_2 = 200 - 19,086 - 21,017 \\ &= 159,897 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= (T_{cf} + T_s) \cdot jd \\ &= 70591,98 \times 159,897 \\ &= 11287445,83 \text{ Nmm} \\ &= 11,287 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_y &= \frac{f_y / E_s}{d - kd} = \frac{0,00156}{179 - 57,31} = 1,282 \cdot 10^{-5} \text{ rad/mm} \\ &= 1,282 \cdot 10^{-2} \text{ rad/m} \end{aligned}$$

### 3) Setelah leleh pada saat beban maksimum (ultimit).

Dianggap tulangan tekan telah leleh.

$$f'_c = 23,1577 \text{ MPa}$$

$$f_{tr} = f_r = 3,0004$$

$$\epsilon_c = 0,0035$$

$$\beta = 0,85$$

Keseimbangan gaya,  $C_{cf} + C_s = T_{cf} + T_s$

$$0,85 \cdot f'_{cf} \cdot \beta \cdot c \cdot b + \left( \frac{c - d'}{c} (\epsilon_c \cdot E_s) - 0,85 \cdot f'_{cf} \right) \cdot A'_s = (h - c) \cdot f_r \cdot b + A_s \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} 0,85 \times 23,1577 \times 0,85 \times c \times 120 + \left( \frac{c - 19}{c} \cdot (0,0035 \times 2 \cdot 10^5) - 0,85 \times 23,1577 \right) \cdot 100,53 \\ = (200 - c) \times 3,0004 \times 120 + 226,2 \times 311,87 \end{aligned}$$

### LAMPIRAN 13

$$\Rightarrow 2367,8206 c^2 - 74162,4265 c - 1337049 = 0$$

$$c = 44,12 \text{ mm}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \times 0,0035 = \frac{44,12 - 19}{44,12} \times 0,0035$$

$$= 0,002 > \varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} = 0,00156$$

$$\therefore f'_s = 0,002 \times 2 \cdot 10^5 = 400 \text{ MPa}$$

$$\therefore M_u = C_c \left( c - \frac{a}{2} \right) + C_s (c - d') + T_{cf} \frac{(h - c)}{2} + T_s (d - c)$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'_{cf} \cdot \beta \cdot c \cdot b$$

$$= 0,85 \times 23,1577 \times 0,85 \times 44,12 \times 120$$

$$= 88582,927 \text{ N}$$

$$C_s = \left( \frac{c - d'}{c} (\varepsilon_c \cdot E_s) - 0,85 \cdot f'_{cf} \right) \cdot A'_s$$

$$= \left( \frac{44,12 - 19}{44,12} (0,0035 \times 2 \cdot 10^5) - 0,85 \times 23,1577 \right) \cdot 100,53$$

$$= 38087,335 \text{ N}$$

$$T_c = (h - c) \cdot f_r \cdot b$$

$$= (200 - 50,702) \times 3,0004 \cdot 120$$

$$= 56124,282 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y = 226,2 \times 311,87$$

$$= 70544,994 \text{ N}$$



LAMPIRAN 13

$$(c - a/2) = 44,12 - (0,5 \times 0,85 \times 44,12)$$

$$= 25,37 \text{ mm}$$

$$(c - d') = 44,12 - 19$$

$$= 25,12 \text{ mm}$$

$$\frac{(h - c)}{2} = \frac{(200 - 44,12)}{2} = 77,94 \text{ mm}$$

$$(d - c) = 179 - 44,12 = 134,88 \text{ mm}$$

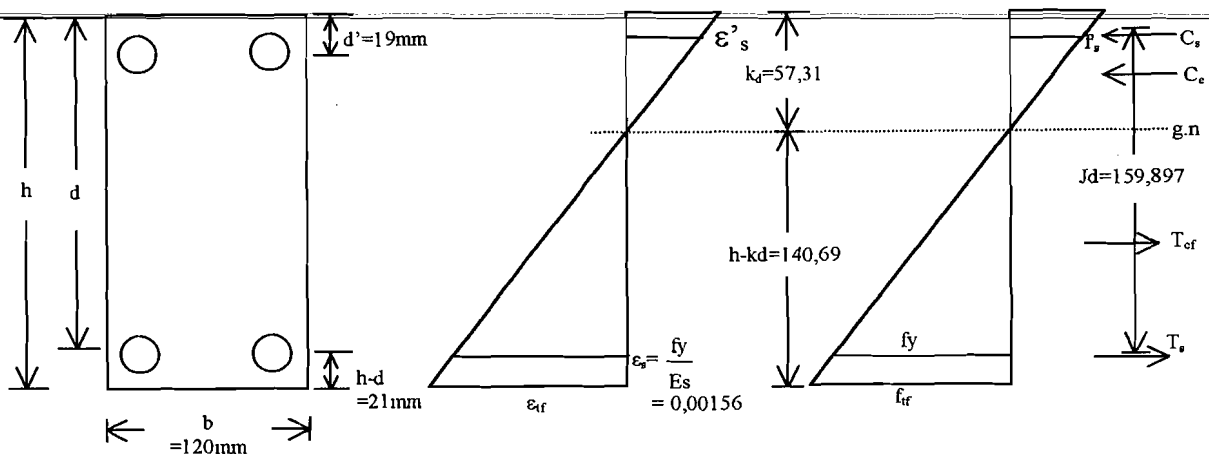
$$M_u = C_c \cdot (c - a/2) + C_s \cdot (c - d') + T_{cf} \cdot \frac{(h - c)}{2} + T_s \cdot (d - c)$$

$$M_u = (88582,927 \times 25,37) + (38087,335 \times 25,12) + (56124,282 \times 77,94) +$$

$$(70544,994 \times 134,88) = 17093538,04 \text{ N. mm}$$

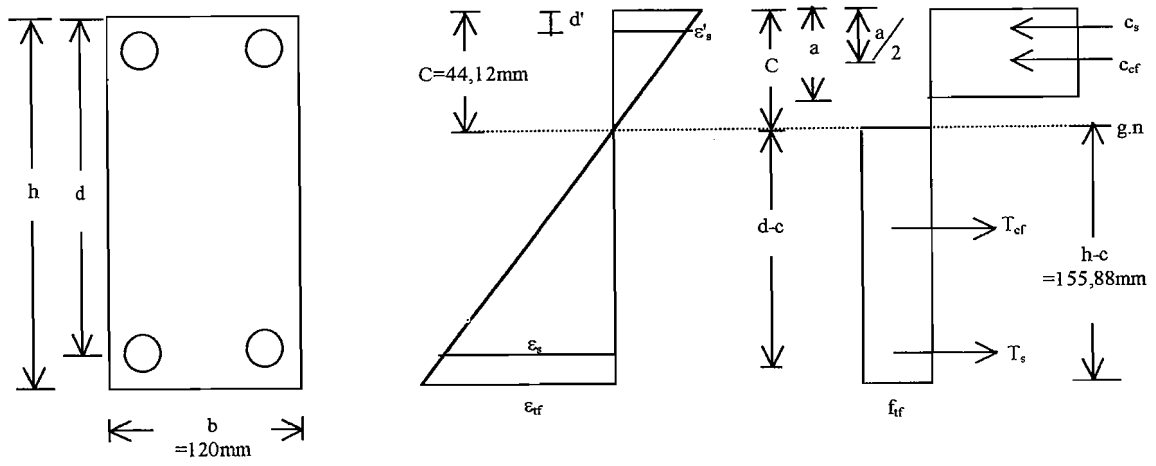
$$= 17,09 \text{ kN.m}$$

$$\Phi_u = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0,0035}{44,12} = 7,933 \cdot 10^{-5} \text{ rad/mm} = 7,933 \cdot 10^{-2} \text{ rad/m}$$



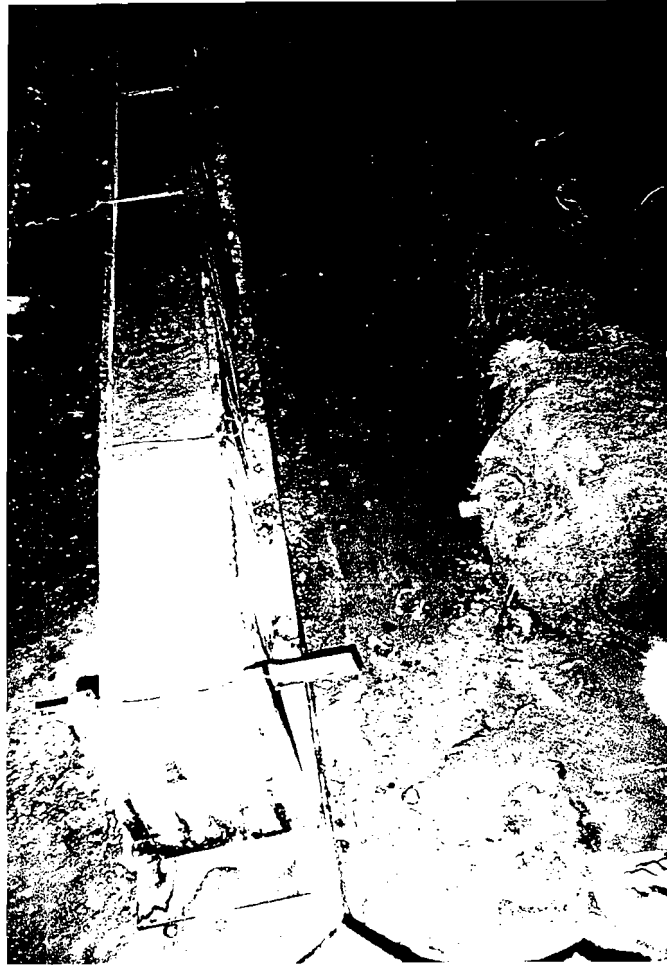
Gambar 1. Gambar penampang balok kondisi 2

LAMPIRAN 13

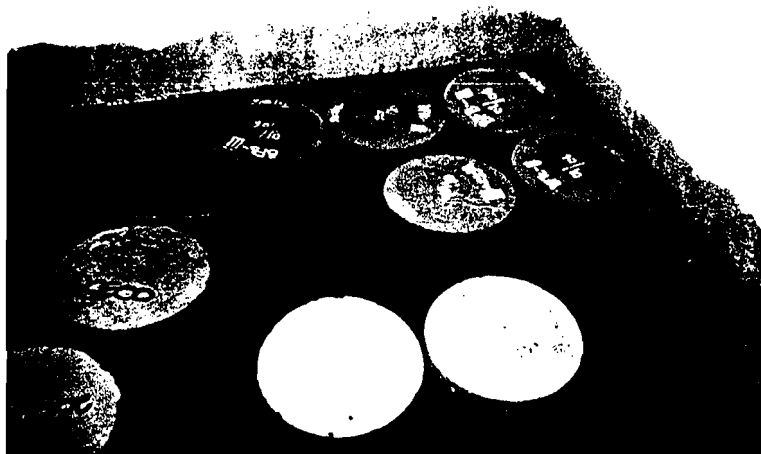


Gambar 2. Penampang balok kondisi 3

LAMPIRAN 14

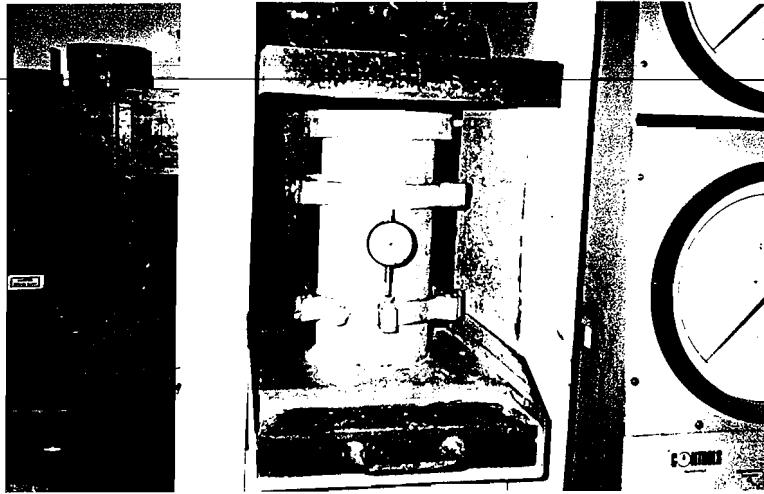


**Gambar.1** Foto balok beton serat sewaktu dicetak dan dirawat



**Gambar 2.** Foto silinder beton serat dalam masa perawatan

LAMPIRAN 14



Gambar 3. Foto uji desak silinder beton serat umur 28 hari

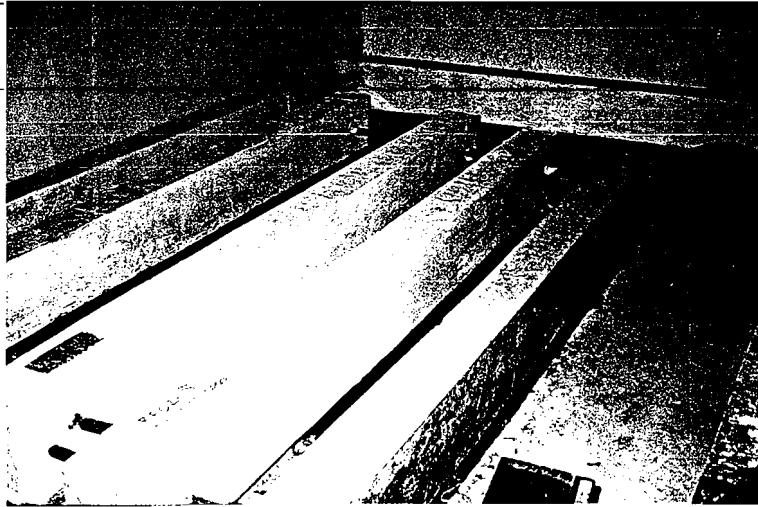


Gambar 4. Foto uji tarik silinder beton serat umur 28 hari

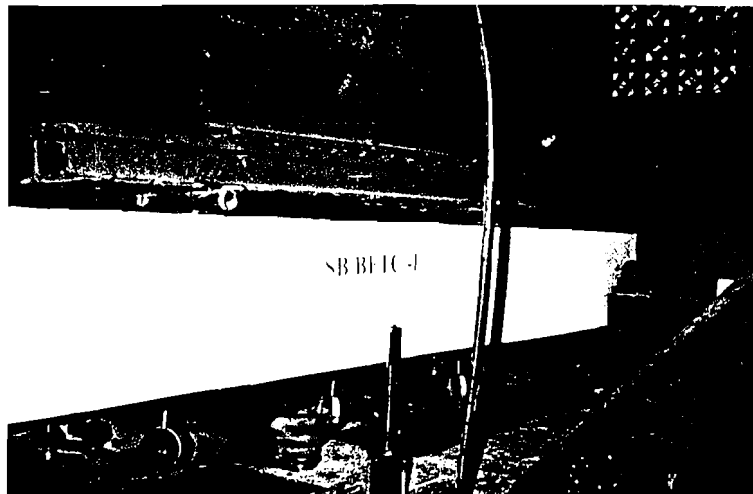


Gambar 5. Foto keadaan silinder beton setelah uji desak dan uji tarik

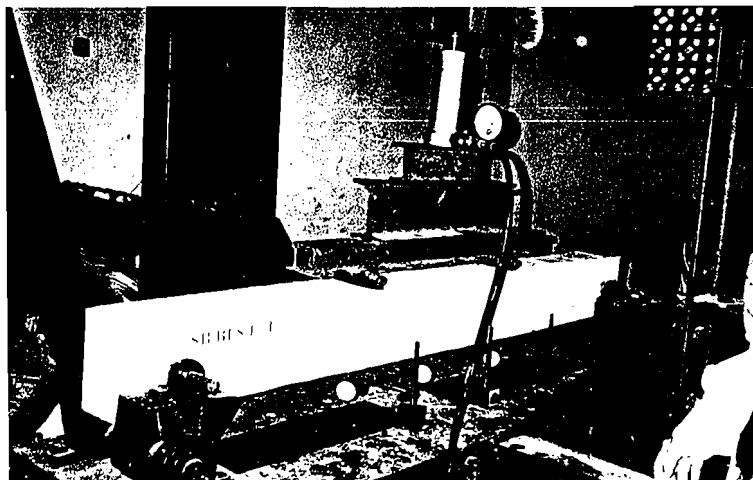
LAMPIRAN 14



Gambar 6. Foto balok beton serat setelah selesai masa perawatan

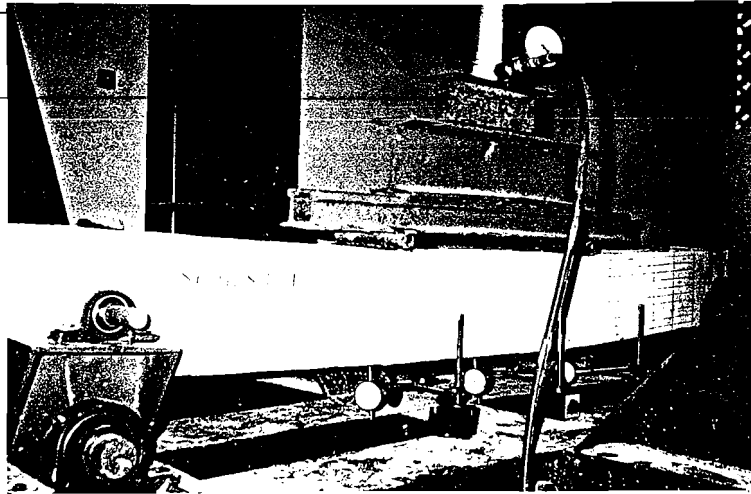


Gambar 7. Foto *set-up* alat untuk uji lentur balok beton serat

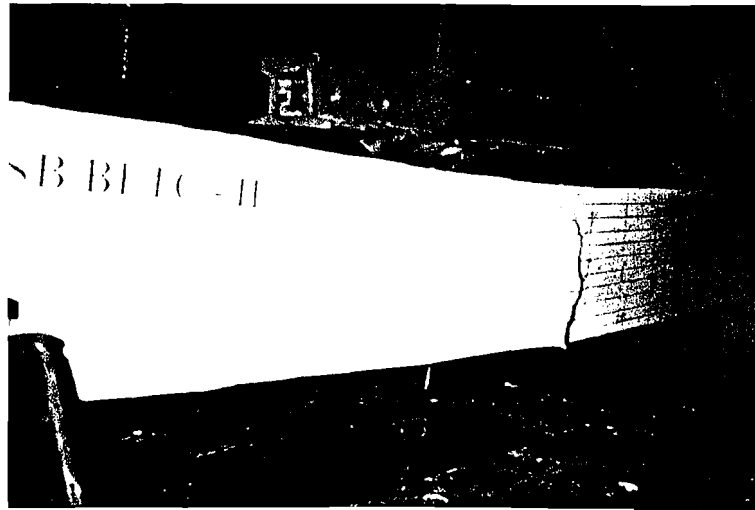


Gambar 8. Foto keadaan balok beton serat sebelum diuji

LAMPIRAN 14



**Gambar 9.** Foto keadaan balok beton serat setelah diuji



**Gambar 10.** Foto retak-retak balok beton serat akibat pembebanan 2 titik



**Gambar 11.** Foto retak-retak balok beton serat akibat pembebanan 2 titik