

PERPUSTAKAAN FTSEP UIN  
HADIAN/SEI 1 1019 608  
TGL TERIMA : 20/03/2001  
NO. JUDEL :  
NO. RV. : 432/196/175  
NO. ITIK :  
9120003202051

TUGAS AKHIR

**PERILAKU BALOK PAPAN PROFIL I  
DENGAN PENGAKU**



MILIK PERPUSTAKAAN  
PENGUNTAHUN  
PENGUNTAHUN  
PENGUNTAHUN

Disusun oleh:

Nama : Ade Mujtahid Hidayat

No. Mhs : 92 310 287

Nama : Rudy Hadisuprpto

No. Mhs : 92 310 289

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

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**TUGAS AKHIR**  
**PERILAKU BALOK PAPAN PROFIL I**  
**DENGAN PENGAKU**

**Disusun oleh:**

**Nama ; Ade Mujtahid Hidayat**

**No Mhs : 92 310 287**

**Nama : Rudy Hadisuprpto**

**No Mhs : 92 310 289**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh**

**Ir. H. Suharyatmo, MT**

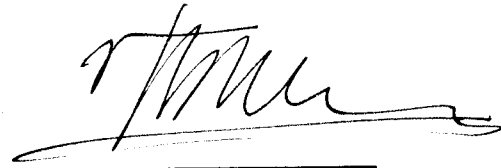
Dosen Pembimbing I



Tanggal: 10.01.2001

**Ir. Fatkhurrohman, MT**

Dosen Pembimbing II



Tanggal:

## 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 dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam menyelesaikan 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. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing I,
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman NS, MT, selaku Dosen Pembimbing II,
3. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT, selaku Dosen Tamu,
4. Bapak dan Ibu tercinta yang telah memberikan dorongan moril maupun materiil dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
5. Bapak Ir. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
6. Bapak Ir. Tadjuddin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,

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

Penyusun menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih banya kekurangan, oleh karena keterbatasan pengetahuan tentang perilaku lentur balok papan. 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 memberkati kita semua, Amien.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, Desember 2000

Penyusun

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR SIMBOL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
INTISARI .....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Manfaat Penelitian.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Rumusan Masalah .....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
BAB III LANDASAN TEORI.....	9
3.1 Balok Lentur .....	9
3.2 Balok Susun Profil I Dengan Paku .....	11

3.3 Tekuk Vertikal pada Pelat Sayap .....	13
3.4 Tekuk pada Bidang Badan.....	16
3.4.1 Lentur Pada Bidang Badan .....	16
3.4.2 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni .....	17
3.5 Tekuk Elastis pada Pelat Sayap .....	19
3.6 Kekuatan Lentur Batas Pada Gelagar .....	21
3.7 Hubungan Momen Kelengkungan .....	23
3.8 Hubungan Beban Lendutan .....	27
3.9 Daktilitas .....	30
<b>BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN.....</b>	<b>32</b>
4.1 Tinjauan Umum .....	32
4.2 Persiapan Bahan Dan Material .....	32
4.2.1 Bahan .....	32
4.2.2 Alat Yang Digunakan .....	33
4.3 Benda Uji .....	37
4.4 Pembuatan Benda Uji .....	37
4.5 Jumlah Benda Uji .....	38
4.6 Pengujian Benda Uji .....	39
4.6.1 Pengujian Kuat Lentur .....	39
4.6.2 Pengujian Kuat Tarik Tulangan .....	41
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
5.1 Hasil Penelitian .....	42
5.1.1 Kualitas Papan Kayu.....	41

5.1.2 Hubungan Beban Lendutan.....	41
5.1.2.1 Hubungan Beban-Lendutan Teoritis.....	42
5.1.2.2 Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian.....	43
5.1.2.3 Kurva Hubungan Beban Lendutan .....	45
5.1.2.4 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan .....	46
5.1.3 Hubungan Momen-Kelengkungan .....	47
5.1.3.1 Momen-Kelengkungan Teoritis .....	47
5.1.3.2 Momen-Kelengkungan Hasil Penelitian .....	47
5.1.3.3 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan .....	49
5.1.4 Analisa Tekuk pada Sampel Uji.....	50
5.2 Pembahasan .....	50
5.2.1 Kuat Lentur Balok ditinjau dari Hubungan Beban-Lendutan...	50
5.2.2 Daktilitas Simpangan Balok ditinjau dari Kurva Hubungan Beban-Lendutan .....	52
5.2.3 Kuat Lentur Balok Ditinjau dari Hubungan Momen- Kelengkungan .....	54
5.2.4 Daktilitas Kelengkungan Balok ditinjau dari Hubungan Momen- Kelengkungan .....	56
5.2.5 Hubungan Beban-Daktilitas Simpangan.....	58
5.2.6 Hubungan Momen-Daktilitas Kelengkungan.....	58
5.2.7 Hubungan Rasio Jarak Antar Pengaku-Kuat Lentur Balok.....	59
5.2.8 Tekuk akibat Geser pada Balok Papan dengan Pengaku Transversal.....	60

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
6.1 Kesimpulan .....	61
6.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	64



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Keterangan	Halaman
Gambar 3.1	Balok Statis tertentu dengan beban terdistribusi merata	9
Gambar 3.2	Profil I dengan paku	12
Gambar 3.3	Balok papan profil I dengan pengaku	12
Gambar 3.4	Gaya-gaya yang terjadi akibat kurvatur pada gelagar	14
Gambar 3.5	Tekuk vertikal pada badan	14
Gambar 3.6	Koefisien tekuk vertikal pada pelat sayap	15
Gambar 3.7	Perilaku elemen badan	16
Gambar 3.8	Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni	16
Gambar 3.9	Dua kasus jarak antar pengaku antara	17
Gambar 3.10	Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami geser murni	18
Gambar 3.11	Pelaku elemen sayap	19
Gambar 3.12	Koefisien tekuk elastik untuk tekuk pada plat	20
Gambar 3.13	Koefisien tekuk untuk plat dengan tumpuan sederhana bebas	21
Gambar 3.14	Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan (baja A36)	22
Gambar 3.15	Deformasi segmen balok dalam lenturan	23
Gambar 3.16	Momen-kelengkungan	25
Gambar 3.17	Grafik momen-kelengkungan	27
Gambar 3.18	Lendutan balok	28
Gambar 3.19	Diagram momen	28
Gambar 3.20	Diagram geser	28
Gambar 3.21	Hubungan beban-lendutan pada balok	29

<b>Gambar</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 4.1	Universal Testing Material Shimatzu UMH 30	33
Gambar 4.2	Bentuk fisik Loading Frame	34
Gambar 4.3	Dukungan sendi-rol	35
Gambar 4.4	Dial Gauge	36
Gambar 4.5	Hidraulic Jack	36
Gambar 4.6	Model benda uji	37
Gambar 4.7	Perletakan benda uji	41
Gambar 5.1	Kurva beban-lendutan dari 5 jenis variasi jarak antar pengaku dan teoritis	45
Gambar 5.2	Kurva hubungan $M-\phi$ dari 5 variasi jarak antar pengaku dan teoritis	49
Gambar 5.3	Grafik non-dimensional beban-daktilitas simpangan	58
Gambar 5.4	Grafik non-dimensional momen-daktilitas kelengkungan	59
Gambar 5.5	Grafik non-dimensional momen-rasio jarak antar pengaku	60

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 4.1	Variasi jarak antar pengaku	37
Tabel 5.1	Hasil uji tarik kayu	42
Tabel 5.2	Hasil perhitungan secara teoritis	43
Tabel 5.3	Hasil pengujian balok papan dengan $a/h = 0,5$	44
Tabel 5.4	Kekuatan maksimum balok papan dengan berbagai variasi	45
Tabel 5.5	Analisa kekakuan dari data hubungan beban-lendutan	46
Tabel 5.6	Analisa lendutan dari data hubungan beban-lendutan	46
Tabel 5.7	Hasil perhitungan momen-kelengkungan untuk $a/h = 0,5$	48
Tabel 5.8	Analisa kekakuan dari data momen-kelengkungan	49
Tabel 5.9	Analisa daktilitas kelengkungan dari data momen-kelengkungan	50

## DAFTAR SIMBOL

$M$	= Momen
$y$	= jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral
$I$	= Momen Inersia
$C$	= Jarak serat terluar ke sumbu netral
$S$	= Modulus Potongan
$F_{cr}$	= Tegangan kritis
$b$	= Lebar sayap profil
$t_f$	= Tebal sayap profil
$t_w$	= Tebal badan profil
$h$	= Tinggi badan
$a$	= Jarak antar pengaku
$k$	= Koefisien tekuk
$\mu$	= Angka Piosson
$\tau_{cr}$	= Tegangan geser kritis
$\tau_y$	= Tegangan geser leleh
$E$	= Modulus elastisitas bahan
$C_v$	= Rasio antara tegangan geser kritis dan geser leleh
$\rho$	= Jari-jari kelengkungan
$\epsilon_x$	= Regangan pada garis netral
$\epsilon_{st}$	= Regangan pada saat strain hardening
$\epsilon_y$	= Regangan pada saat leleh pertama
$\phi$	= Kelengkungan
$\phi_y$	= Kelengkungan pada saat leleh pertama
$\phi_{tot}$	= Kelengkungan total
$\Delta$	= Lendutan

- $\Delta_y$  = Lendutan pada saat leleh pertama
- $\Delta_{tot}$  = Lendutan total
- $M_u$  = Momen ultimit
- $M_y$  = Momen pada saat leleh
- $M_p$  = Momen plastis
- $E_{st}$  = Modulus elastis pada saat strain hardening

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Keterangan
Lampiran 1	Perhitungan jumlah paku
Lampiran 2	Uji tarik kayu
Lampiran 3	Tabel hasil sampel uji $a/h = 0,5$
Lampiran 4	Tabel hasil sampel uji $a/h = 1,0$
Lampiran 5	Tabel hasil sampel uji $a/h = 1,5$
Lampiran 6	Tabel hasil sampel uji $a/h = 2,0$
Lampiran 7	Tabel hasil sampel uji $a/h = 2,5$
Lampiran 8	Grafik Beban-Lendutan
Lampiran 9	Grafik Momen-Kelengkungan
Lampiran 10	Grafik Idealisir Beban-Lendutan
Lampiran 11	Grafik Idealisir Momen-Kelengkungan
Lampiran 12	Grafik Non-dimensional Beban-Daktilitas Simpangan
Lampiran 13	Grafik Non-dimensional Momen-Daktilitas Kelengkungan
Lampiran 14	Grafik Non-dimensional Momen-Rasio Jarak Antar Pengaku
Lampiran 15	Tabel Hasil Perhitungan secara Teoritis
Lampiran 16	Perhitungan Momen-Kelengkungan secara Teoritis
Lampiran 17	Uji Geser Sejajar Serat Kayu
Lampiran 18	Gambar Pelaksanaan Pengujian Kuat Lentur Balok

## INTISARI

*Kayu berukuran besar mulai jarang dijumpai, karena itu usaha untuk mengoptimalkan kuat lentur kayu perlu dilakukan. Salah satu diantaranya adalah dengan membuat balok papan dengan penampang berbentuk I. Dengan menata papan-papan menjadi geometri berbentuk I diharapkan momen inersianya meningkat sehingga kapasitas lenturnya meningkat pula. Elemen-elemen penampang I relatif langsing sehingga rawan terhadap peristiwa tekuk lokal. Untuk mencegah peristiwa tekuk lokal pada setiap jarak tertentu dipasang pengaku transversal*

*Penelitian eksperimental lima variasi balok papan penampang I dengan ukuran tetap yaitu tinggi badan ( $h_w$ ) 200 mm, lebar sayap ( $b_f$ ) 200 mm, tebal sayap ( $t_f$ ) 20 mm, tebal badan ( $t_w$ ) 20 mm dan memiliki variasi jarak antar pengaku  $0,5 h_w$ ,  $1 h_w$ ,  $1,5 h_w$ ,  $2 h_w$ ,  $2,5 h_w$ , bertujuan untuk mempelajari perilaku balok papan tersebut yaitu hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ) dan momen-kelengkungan ( $M-\phi$ ) yang merupakan sifat khas dari struktur lentur.*

*Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin pendek jarak antar pengaku kapasitas lentur, kekakuan dan daktilitas balok semakin besar. Kapasitas lentur balok menurun drastis pada jarak antar pengaku  $\geq 2 h_w$ . Jarak antar pengaku yang efisien adalah  $\pm 1,5 h_w$ .*

Kata kunci: lendutan, kelengkungan, kekakuan, daktilitas

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada pembangunan dewasa ini, kayu sebagai bahan konstruksi teknik sangat terbatas persediaannya karena hutan sudah habis ditebang. Ukuran kayu yang tersedia di pasaran juga terbatas. Ukuran paling besar yang tersedia adalah 60 mm x 120 mm dan 80 mm x 120 mm, sehingga untuk mendapatkan ukuran yang lebih besar dari itu sulit sekali.. Atas dasar inilah diusahakan untuk mempergunakan kayu seefektif dan seefisien mungkin.

Keterbatasan ukuran kayu yang tersedia menyebabkan kayu hanya digunakan untuk struktur lentur berbentang pendek. Untuk struktur lentur berbentang panjang digunakan batang-batang tersusun, salah satu diantaranya adalah gelagar papan sebagai komponen struktur tersusun yang diproporsikan untuk menahan lentur. Gelagar merupakan balok yang mempunyai bentang panjang dengan ukuran penampang yang cukup besar. Salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan kayu sebagai struktur berbentang panjang seperti gelagar adalah dengan menggunakan balok papan.

Balok papan yang elemen penampangnya disusun sedemikian rupa, yang terdiri dari sayap atas, sayap bawah dan badan cukup menarik untuk diteliti karena di satu sisi mempunyai nilai inersia yang cukup besar sehingga diharapkan



memiliki kapasitas momen lentur yang relatif besar, tetapi di sisi lain mempunyai rasio kelangsingan elemen yang cukup besar sehingga mudah terjadi tekuk (*buckling*) pada plat badannya. Untuk menekan bahaya tekuk (*buckling*) tersebut maka balok papan tersebut diberi pengaku transversal, dengan adanya pengaku ini maka struktur menjadi lebih kaku (*rigid*) dan kuat. Untuk mendapatkan kekuatan yang optimal maka jarak antar pengaku transversal ini harus didesain dengan tepat.

Penelitian ini menguji tentang perilaku balok papan yang dibebani momen dengan cara memberi beban transversal pada balok papan tersebut. Dalam penelitian ini juga dicari hubungan antara Beban – Lendutan dan hubungan Momen – Kelengkungan. Dari hubungan-hubungan tersebut di atas akan didapatkan nilai kapasitas dan kekakuan balok.

## **1.2 Manfaat Penelitian**

Untuk meningkatkan kemampuan kayu sebagai bahan konstruksi untuk suatu struktur dengan menggunakan balok papan dengan pengaku sebagai komponennya.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan kuat lentur balok papan dengan pengaku
2. Mendapatkan jarak antar pengaku yang tepat
3. Mempelajari perilaku balok papan dari hubungan momen-kelengkungan

#### **1.4 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Nilai kuat lentur balok papan yang aktual
2. Pengaturan jarak antar pengaku
3. Tekuk (*buckling*) pada balok papan

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang diambil adalah:

1. Yang diteliti hanya nilai kuat lentur
2. Profil yang dipakai adalah penampang bentuk I
3. Alat sambung yang digunakan adalah paku

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada balok ternyata hanya serat tepi atas dan bawah saja yang mengalami atau dibebani tegangan-tegangan yang besar, sedangkan serat di bagian dalam tegangannya semakin kecil. Agar menjadi lebih efektif, maka tampangya disusun sedemikian rupa sehingga bagian yang mengalami tegangan terbesar diletakkan sejauh mungkin dari sumbu netral. Ini berarti bahwa momen inersianya diperbesar.

Salah satu penampang yang biasa digunakan dalam konstruksi baja adalah profil I. Bentuk tampang profil ini juga dapat dibuat dari bahan kayu dengan paku sebagai alat sambungnya. (*Suwarno,1976*)

Profil I dari kayu ini mempunyai beberapa kekurangan diantaranya adalah hubungan antara flens dengan badan penampang profil ini yang tidak sempurna dan lubang-lubang akibat paku membuat luas tampang menjadi berkurang. Untuk itu pada perhitungan tegangan dan lendutannya harus diberikan faktor reduksi. (*Suwarno,1976*)

Supaya lebih kaku maka pada perletakan, tengah bentang dan pada titik pembebanan diberi papan pengaku. Jumlah paku sebagai alat sambung tidak perlu dihitung melainkan seperlunya saja asalkan tidak menyimpang dari peraturan konstruksi kayu. (*Suwarno,1976*)

Kuat geser dan lentur gelagar plat umumnya berkaitan dengan badan balok. Badan balok yang ramping dapat menyebabkan sejumlah persoalan, yaitu:

1. Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan balok itu untuk memikul bagian elastis dari momen lentur.
2. Tekuk sayap tekan dalam arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah terjadinya tekuk sedemikian rupa.
3. Tekuk karena geser.

*(Salmon&Johnson,1990)*

Sifat paling menonjol pada gelagar plat adalah penggunaan pengaku transversal dengan jarak yang teratur. Pengaku memperbesar kekuatan badan balok untuk memikul geser. Kekuatan tekuk elastis atau tak elastis suatu badan balok gelagar plat dalam geser tidak mewakili kekuatan maksimum dalam geser.

*(Basler,1961, seperti dikutip oleh Salmon & Johnson)*

Parameter stabilitas untuk badan gelagar adalah jarak antar pengaku dan kelangsingan elemen. Tekuk akibat geser dapat dihindari bila parameter-parameter stabilitas ini dapat dipertahankan cukup rendah atau tegangan geser dapat ditekan dibawah tegangan tekuk kritis. *(Salmon & Johnson,1990)*

Penampang lintang gelagar dipilih sedemikian rupa sehingga dapat secara layak melakukan fungsinya dan memerlukan biaya minimum. Persyaratan tersebut dapat diringkas sebagai berikut:

1. Kekuatan menahan momen lentur (modulus tampang  $S_x$  yang cukup)
2. Kekakuan vertikal yang memenuhi setiap batasan defleksi (momen inersia  $I_x$  yang cukup)

3. Kekakuan lateral untuk mencegah tekuk torsi-lokal dari flens tekan (penopang lateral cukup atau rasio kelangsingan rendah)
4. Kekuatan menahan geser (luas plat badan cukup)
5. Kekakuan untuk meningkatkan kekuatan paska-tekuk dan tekuk dari plat badan (berkaitan dengan rasio kelangsingan elemen badan dan jarak antar pengaku)

*(Salmon&Johnson,1980)*

Sayap didesain untuk menahan momen lentur, badan direncanakan untuk menahan gaya geser dan pengaku yang diletakkan antara sayap adalah untuk mencegah tekuk pada badan dan untuk memindahkan gaya pada tumpuan

*(Keith F Faherty dan Thomas G. Williamson, 1989)*

Badan balok akan sangat menentukan besarnya momen inersia balok dengan arah serat kayu paralel dengan panjang balok.

*(Keith F Faherty dan Thomas G. Williamson, 1989)*

Hal-hal yang perlu diketahui dalam perencanaan antara lain adalah beban, jarak antar tumpuan, jenis lendutan, kondisi lingkungan dan ketersediaan bahan dilapangan sehingga akan didapatkan balok yang dapat bekerja dengan optimal. Adapun langkah-langkah dalam merencanakan balok papan adalah sebagai berikut:

1. Memberikan nilai lebih dalam perencanaan, yaitu menentukan ukuran coba-coba dengan rumus yang tersedia
2. Menentukan momen lentur
3. Dari gaya geser horisontal, dapat ditentukan tebal badan balok

4. Geser pada pertemuan antara sayap dengan badan, pilih ukuran yang memenuhi syarat untuk mendapatkan jenis torsi –geser
5. Menentukan daerah yang penting untuk menentukan lendutan yang terjadi
6. Menentukan ukuran dan jarak antar tumpuan dan juga pengaku pada tengah bentang
7. Menentukan detail dari beberapa sambungan yang penting
8. Menentukan dukungan lateral yang dibutuhkan

*(Keith F Faherty dan Thomas G. Williamson, 1989)*

Lendutan akibat geser mungkin yang paling penting dalam perencanaan.

Cara-cara menghitung lendutan total:

1. Perkiraan, yaitu mengalikan lendutan akibat lentur dengan faktor koreksi dasar pada rasio antara jarak dan tinggi
2. Jumlah lendutan akibat lentur dan geser. Jika terjadi lendutan kritis, penaksiran yang lebih baik mungkin diperlukan. Metode pendekatan penaksiran ini seharusnya dipergunakan sebelum mengubah dimensi bagian balok jika lendutan yang terjadi mendekati batas yang diijinkan

*(Keith F Faherty dan Thomas G. Williamson, 1989)*

✓ Pengaku pada tumpuan yang diletakkan antara sayap dengan badan berfungsi untuk mendistribusikan beban terpusat dan untuk mencegah tekuk pada badan. Pengaku pada ujung balok mempunyai ukuran yang sama dan letaknya paralel dengan lebar sayap. Cara-cara untuk mendapatkan ukuran pengaku:

1. Tekanan tegak lurus serat. Pengaku harus dapat meneruskan reaksi pada dukungan ke sayap balok

2. Torsi-geser. Reaksi pada dukungan harus juga diteruskan ke badan balok

*(Keith F Faherty dan Thomas G. Williamson, 1989)*

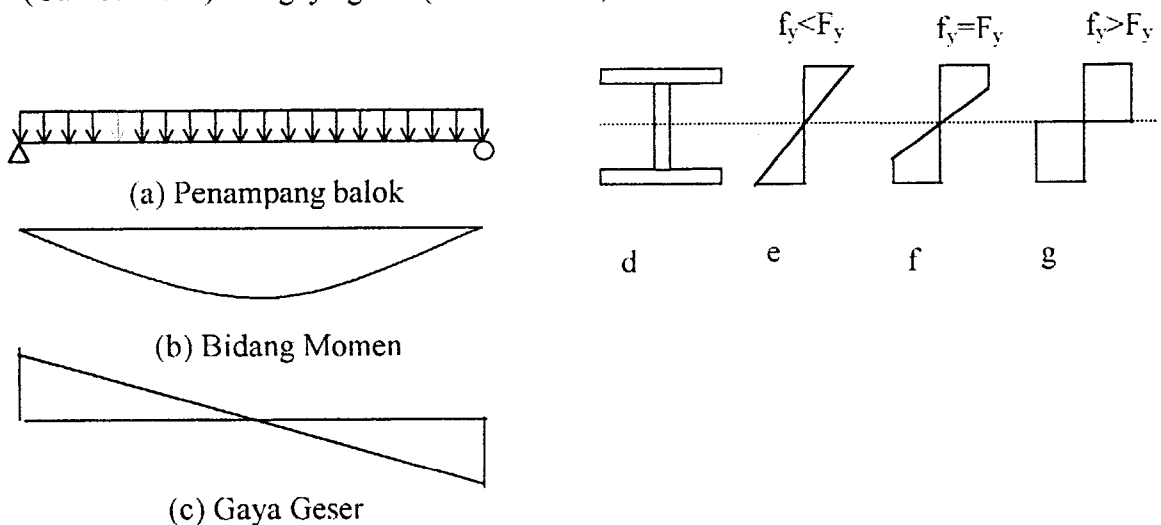
∨ Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena beban luar, apabila bebannya bertambah maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya retak lentur. Bila beban bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Karena itulah perencana harus mendesain penampang balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban bekerja, dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami kerusakan. *(Edward G. Nawy, 1990)*

↓ Balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban makin besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya akan menjadi semakin besar. *(Lynn S. Beedle, 1958).*

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

**3.1 Balok Lentur**

Komponen struktur yang mengalami lentur banyak dijumpai sebagai balok maupun gelagar. Salah satu contoh struktur yang mengalami lentur adalah balok sederhana (*simple beam*) yang penampangnya berbentuk I menerima beban terdistribusi (Gambar 3.1a), akibat beban tersebut balok menerima momen lentur (Gambar 3.1b) dan gaya geser (Gambar 3.1c).



**Gambar 3.1.** Balok statis tertentu dengan beban terdistribusi merata

Akibat momen, penampang balok mengalami tegangan lentur (*bending stress*) (Gambar 3.1e), sedangkan gaya geser menimbulkan tegangan geser.



✓ Dalam keadaan penampang balok masih elastis, distribusi tegangan lentur pada penampang balok adalah linier. Tegangan pada serat yang letaknya  $y$  dari sumbu netral adalah:

$$f_b = \pm \frac{M \cdot y}{I} \quad (3.1)$$

dengan:  $M$ = momen pada penampang yang ditinjau

$y$ = jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral

$I$ = momen inersia

Tegangan maksimum akibat momen terjadi pada serat terluar yaitu serat yang letaknya terjauh dari sumbu netral. Jika penampang balok simetris dan jarak serat terluar ke sumbu netral dinyatakan dengan  $C$ , maka tegangan maksimumnya adalah:

$$f_b = \pm \frac{M \cdot C}{I} \quad (3.2)$$

karena  $I/C = S$ , Persamaan 3.2 dapat ditulis kembali dalam bentuk

$$f_b = \pm \frac{M}{S} \quad (3.3)$$

dengan:  $S$ = modulus potongan (*section modulus*)

Tegangan maksimum mulai terjadi ke serat sebelah dalam dan juga tidak ada tegangan yang melebihi tegangan yang lebih besar dari pada tegangan maksimum (Gambar 3.1f). Akibat penambahan beban, akan tercapai keadaan dimana seluruh serat mengalami tegangan sebesar tegangan maksimum. Dalam keadaan ini serat berada pada kondisi plastis.

Tanda positif menunjukkan tegangan tarik, tanda negatif menunjukkan tegangan tekan, dengan demikian balok dapat dipandang sebagai gabungan komponen tarik dan komponen tekan. Perhatian perlu diberikan kepada bagian penampang yang mengalami tegangan tekan, karena bagian ini dapat mengalami peristiwa tekuk (*buckling*). Untuk mencegah peristiwa tekuk, pada bagian penampang yang mengalami tekan diberi pengaku transversal atau longitudinal.

Pada balok papan baik sayap maupun badannya relatif langsing sehingga ada kemungkinan tegangan kritisnya dipengaruhi oleh kelangsingan sayap ( $b/2t_f$ ), kelangsingan elemen badan ( $h/t_w$ ), dan jarak antar pengaku ( $a/h$ ).

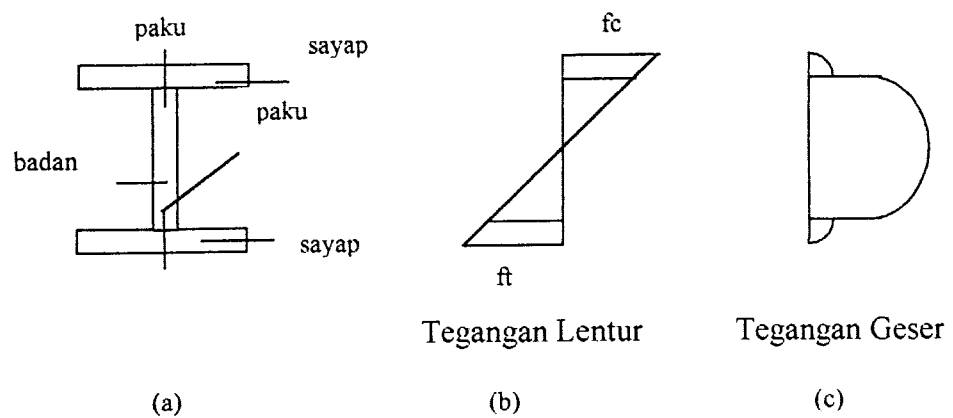
Tegangan kritis gelagar plat dari baja merupakan fungsi :

$$F_{cr} = f \left( \frac{b}{2t_f}, \frac{h}{t_w}, \frac{a}{h} \right) \quad (3.4)$$

dengan:  $b$ = lebar sayap profil,  $t_f$ = tebal sayap profil,  $h$ = tinggi badan profil,  $t_w$ = tebal badan profil,  $a$ = jarak antar pengaku

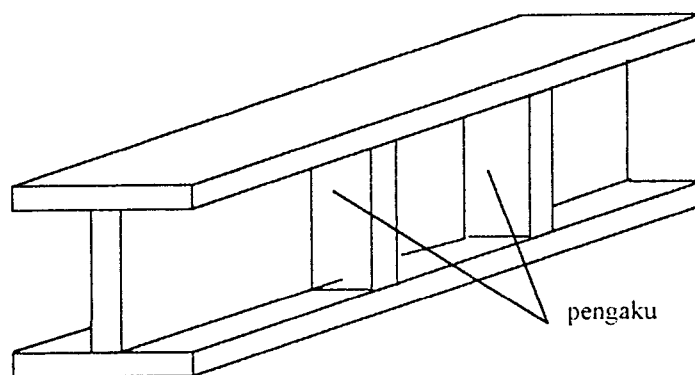
### 3.2 Balok Susun Profil I Dengan Paku

Balok dengan profil I ternyata lebih hemat daripada balok segiempat karena ternyata hanya serat tepi atas dan bawah sajalah yang dibebani tegangan-tegangan yang besar, sehingga akan lebih hemat kalau bagian serat atas dan bawah diletakkan sejauh mungkin dari sumbu netral. Ini berarti bahwa momen lembamnya menjadi bertambah besar.



**Gambar 3.2** Profil I dengan paku

Balok-balok papan disusun membentuk penampang I dengan menggunakan paku (Gambar 3.2a). Akibat penggunaan paku tersebut, maka luas penampang berkurang. Untuk mengatasi hal tersebut, maka diatur pemasangan dan perhitungan jumlahnya. Selain itu, untuk memperkuat struktur balok itu sendiri, maka dipasang pengaku transversal (Gambar 3.3).



**Gambar 3.3.** Balok papan profil I dengan pengaku

### 3.3 Tekuk Vertikal pada Pelat Sayap

Gelagar yang melengkung, yang tampak diperbesar pada Gambar 3.4, kurvatur tersebut memperbesar komponen-komponen gaya flens yang menyebabkan tekan pada pinggir-pinggir badan balok yang berdekatan dengan flens tersebut. Apabila badan balok tersebut tetap stabil pada saat terkena komponen-komponen gaya tersebut, berarti badan tidak mengalami tekuk vertikal.

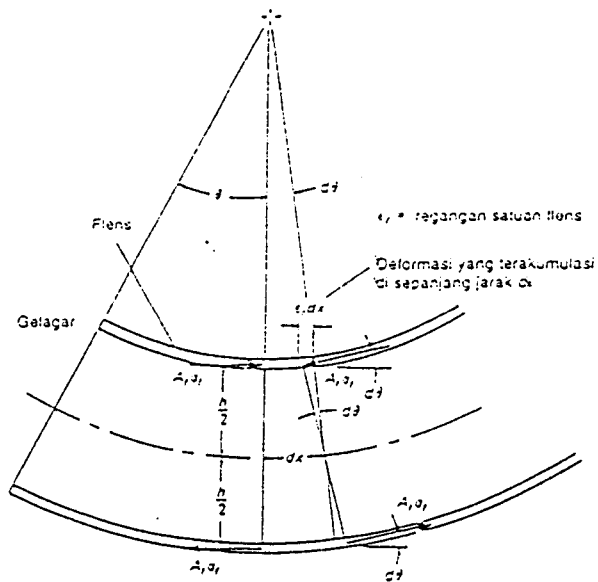
Mengacu ke Gambar 3.4, deformasi  $\varepsilon_f dx$  yang terakumulasi di sepanjang jarak  $dx$  adalah

$$\varepsilon_f dx = d\theta \frac{h}{2} \quad (3.5)$$

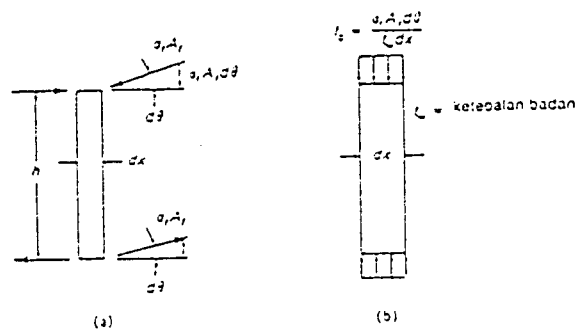
$$d\theta = \frac{2}{h} \varepsilon_f dx \quad (3.6)$$

Pada Gambar 3.5a, Komponen vertikal yang menyebabkan tekan adalah  $\sigma_f A_f d\theta$ . Setelah dibagi dengan luas  $t_w dx$  untuk mendapatkan tegangan tekan  $f_c$  seperti terlihat pada Gambar 3.5b, kita dapat mensubstitusi Persamaan 3.6 untuk  $d\theta$ ,

$$f_c = \frac{\sigma_f A_f d\theta}{t_w dx} = \frac{2\sigma_f A_f \varepsilon_f}{t_w h} \quad (3.7)$$



Gambar 3.4 Gaya-gaya yang terjadi akibat kurvatur pada gelagar



Gambar 3.5 Tekuk vertikal pada badan

dengan memisalkan  $A_w = t_w h$ , maka

$$f_c = \frac{2 A_f}{A_w} \sigma_f \epsilon_f \tag{3.8}$$

dan nilai

$$\epsilon_f = \frac{(I_r + I_{yf})}{E} \tag{3.9}$$

sehingga Persamaan 3.8 menjadi

$$f_c = \frac{2A_f}{A_w} \sigma_f \frac{(F_r + F_{yf})}{E} \quad (3.10)$$

dengan rumus tegangan kritis,

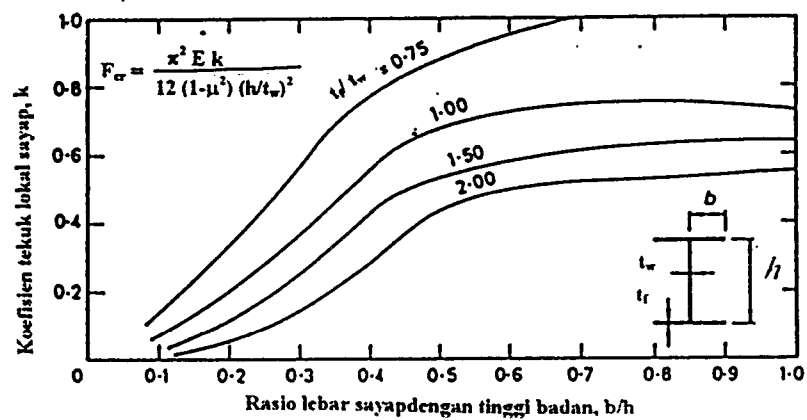
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 Ek}{12(1-\mu^2) \left(\frac{h}{t_w}\right)^2} \quad (3.11)$$

dengan menyamakan Persamaan (3.8) dan Persamaan (3.11), maka

$$\frac{h}{t_w} = \sqrt{\frac{\pi^2 Ek}{24(1-\mu^2)} \left(\frac{A_f}{A_w}\right) \left(\frac{1}{\sigma_f \epsilon_f}\right)} \quad (3.12)$$

Untuk mencegah terjadinya tekuk maka nilai  $f_c < F_{cr}$

Gambar 3.6 menunjukkan nilai  $k$  akibat gaya tekan pada pelat sayap.

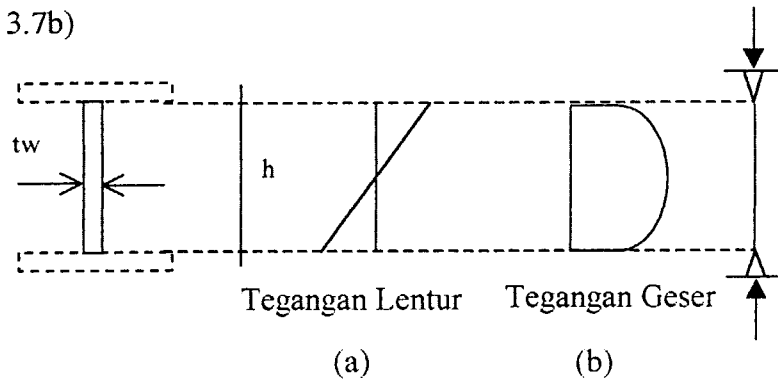


Gambar 3.6 Koefisien tekuk vertikal pada pelat sayap

### 3.4 Tekuk pada Bidang Badan

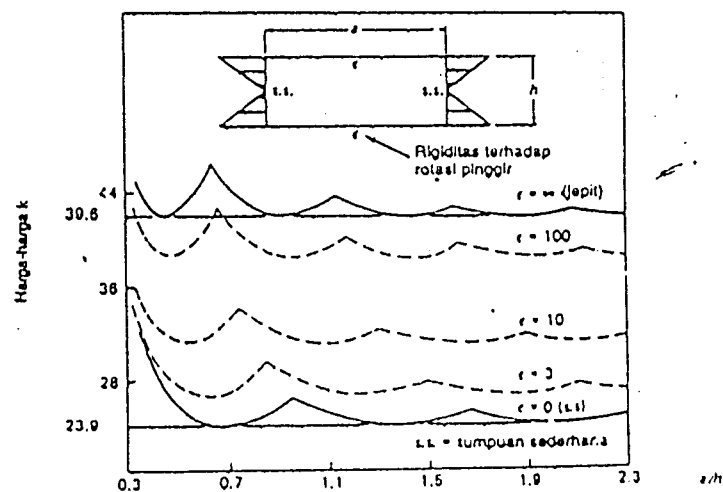
#### 3.4.1 Lentur pada Bidang Badan

Balok papan dengan pengaku bisa dianggap sebagai gelagar plat. Elemen badan pada balok papan akan mengalami lentur (Gambar 3.7a) dan mengalami geser (Gambar 3.7b)



**Gambar 3.7** Perilaku elemen badan

Penurunan harga  $k$  secara teoritis untuk lentur dijabarkan oleh *Timoshenko-Krieger(1959)*. Untuk sembarang jenis pembebanan,  $k$  bergantung pada *aspect ratio*  $a/h$  dan kondisi tumpuan sepanjang tepi.



**Gambar 3.8** Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni ( Sumber Salmon CG & Johnson JE, 1986)

Dari Gambar 3.8 dijelaskan bahwa:

- Untuk jepit sempurna:  $k_{min} = 39,6$
- Untuk tumpuan sederhana:  $k_{min} = 23,9$

Pada penelitian ini dipakai  $k_{min} = 23,9$  yaitu dianggap tumpuan sederhana.

### 3.4.2 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

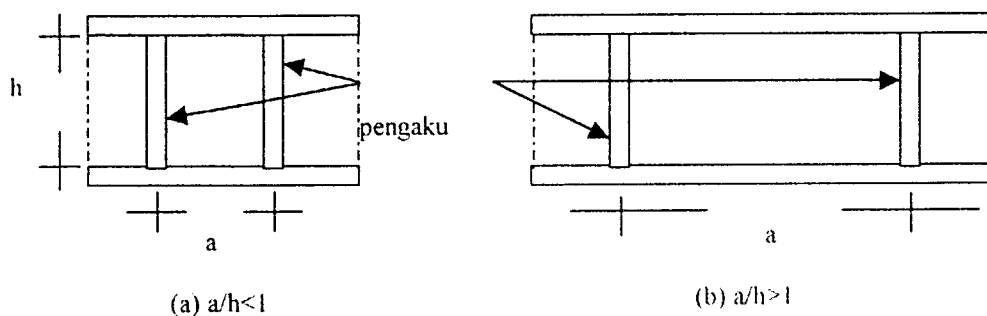
Menurut *Timoshenko dan Woinowski-Krieger(1959)* bahwa tipikal untuk kasus geser murni :

$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(\text{sisi pendek}/t)^2} \quad (3.13)$$

dimana untuk kasus tumpuan sederhana :

$$k = 5,34 + 4,0 \left( \frac{\text{sisi pendek}}{\text{sisi panjang}} \right)^2 \quad (3.14)$$

Pengaku antara transversal dengan jarak yang teratur mampu memperbesar kekuatan badan balok untuk memikul geser. Parameter stabilitas yang berpengaruh adalah rasio kelangsingan elemen badan ( $h/t$ ) dan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ).



**Gambar 3.9** Dua kasus jarak antar pengaku antara



Untuk perencanaan, dengan :  $h$  = tinggi badan tanpa sokongan

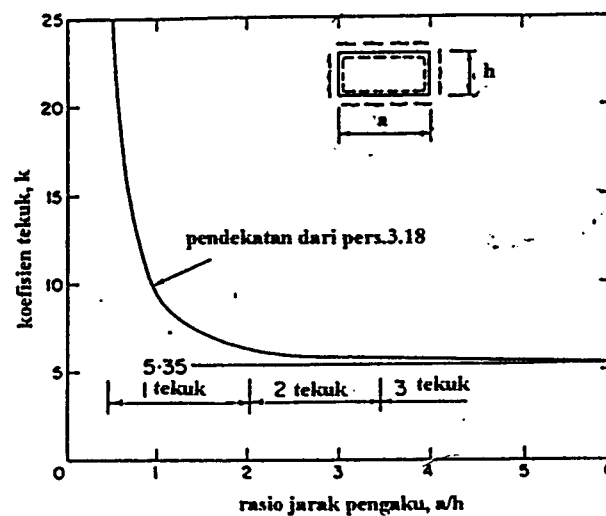
$a$  = jarak antar pengaku

➤ Jika  $a/h \leq 1$  (lihat Gambar 3.9a), maka Persamaan 3.13 menjadi:

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(a/h)^2] (h/a)^2}{12(1-\mu^2)(a/t)^2 (h/a)^2} \quad (3.15)$$

➤ Jika  $a/h \geq 1$  (lihat Gambar 3.9b), maka Persamaan 3.13 menjadi:

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(h/a)^2]}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.16)$$



**Gambar 3.10** Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami geser murni  
(Sumber Trahair N.S & Bradford M.A. 1977)

Dari persamaan (3.15) dan (3.16) di atas diketahui bahwa jika kita hendak memakai rasio kelangsingan badan ( $h/t$ ) sebagai rasio stabilitas pada penyebut, maka dua persamaan untuk  $k$  diperlukan. Untuk semua harga  $a/h$ , persamaan tegangan geser kritisnya,

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 Ek}{12(1-\mu^2)\left(\frac{h}{t}\right)^2} \quad (3.17)$$

dengan nilai  $k$  seperti tampak pada Gambar 3.10 :

$$\begin{aligned} k &= 4,0 + [5,34/(a/h)^2] , \text{ untuk } a/h \leq 1 \\ k &= [4,0/(a/h)^2 + 5,34] , \text{ untuk } a/h \geq 1 \end{aligned} \quad (3.18)$$

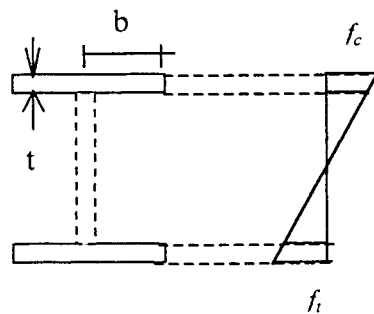
sehingga:

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 Ek}{\tau_y(12)(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.19)$$

dengan:  $C_v$  = perbandingan antara tegangan geser pada saat tertekuk dan leleh.

### 3.5 Tekuk Elastis Pada Pelat Sayap

Elemen sayap yang terbuat dari pelat, pada komponen balok papan dengan profil I terdiri dari dua elemen yaitu sayap atas yang menahan tekan dan sayap bawah yang menahan tarik (Gambar 3.11)



**Gambar 3.11** Perilaku elemen sayap

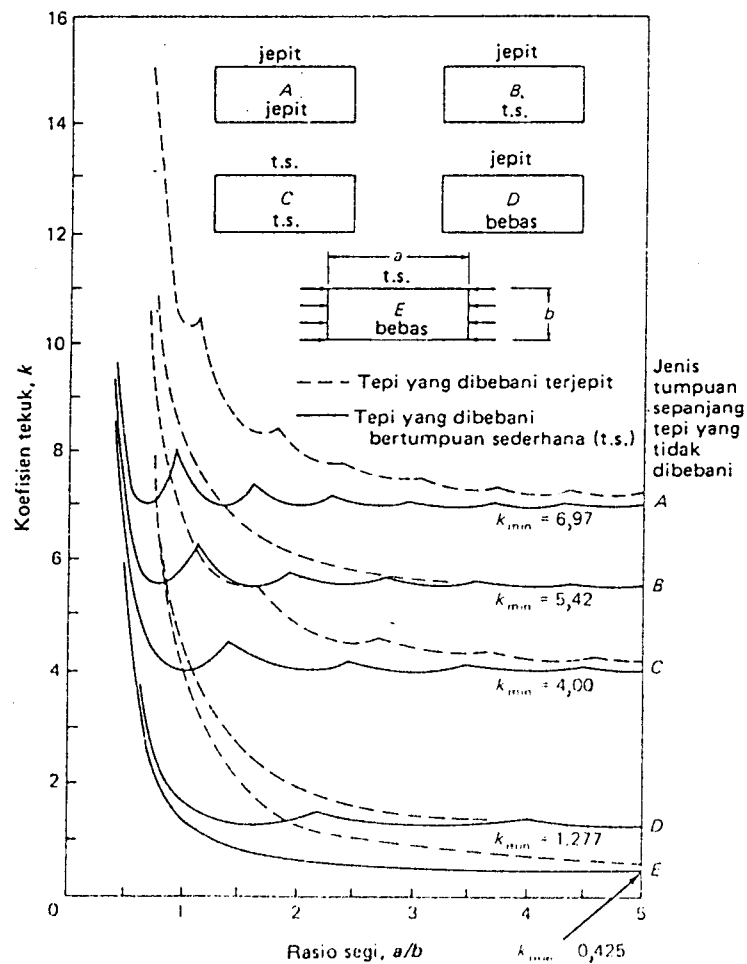
Pada Gambar 3.11 terlihat elemen sayap tumpuannya terletak di tengah pelat sayap, sehingga dalam perhitungan lebar dari sayap ( $b$ ) dihitung setengahnya.

Pada elemen sayap tekan, pelatnya akan mengalami tekuk lokal yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan prematur pada keseluruhan penampang,

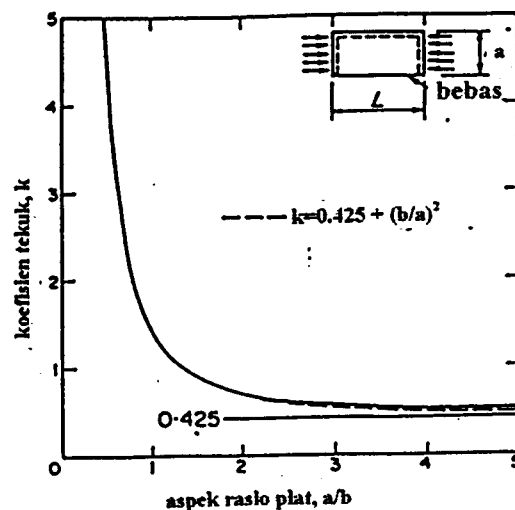
atau setidaknya akan menyebabkan tegangan tidak merata dan mengurangi kekuatan seluruhnya. Menurut *Salmon dan Johnson (1990)*, tegangan tekuk elastis teoritik atau tegangan kritis untuk plat sayap dapat dinyatakan sebagai:

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12 (1-\mu^2) (b/a)^2} \quad (3.20)$$

Nilai  $k$  tergantung pada tipe tegangan, kondisi tumpuan tepi dan rasio panjang terhadap lebar (aspek rasio) dari plat yang bersangkutan. Gambar 3.12 menunjukkan variasi nilai  $k$  terhadap aspek rasio  $a/b$  untuk berbagai kondisi tumpuan ideal (*Salmon dan Johnson, 1990*)



**Gambar 3.12** Koefisien tekuk elastik untuk tekuk pada plat (Sumber Salmon CG & Johnson JF, 1986)



**Gambar 3.13** Koefisien tekuk untuk plat dengan tumpuan sederhana bebas ( Sumber Trahair N.S & Bradford M.A, 1977)

Terlihat bahwa untuk plat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai  $k_{min}=6.79$ . Untuk plat dengan tumpuan sederhana-jepit (B) nilai  $k_{min}=5.42$ . Sedangkan plat dengan tumpuan sederhana-sederhana nilai  $k_{min}= 4$ . Dan untuk plat jepit bebas nilai  $k_{min}= 1.277$ , serta untuk plat dengan tumpuan sederhana bebas nilai  $k_{min}= 0.425$ . Dalam penelitian ini berdasarkan Gambar 3.12 dipakai plat dengan tumpuan sederhana bebas yaitu pada titik E dengan nilai  $k_{min}= 0.425$

Berdasarkan pada Gambar 3.13 dimana grafik menggambarkan keadaan yang lebih spesifik tentang Koefisien tekuk untuk plat dengan tumpuan sederhana-bebas dengan nilai  $k_{min}=0.425$

### 3.6 Kekuatan Lentur Batas Pada Gelagar

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh *Charles G. Salmon dan John E. Johnson* dengan bahan penelitiannya adalah baja profil I dengan mutu baja A36, badan akan tertekuk akibat tegangan lentur.

Seperti telah dijabarkan sebelumnya, tekuk seperti ini tidak menyebabkan gelagar kehilangan daya gunanya. Gambar 3.14 menunjukkan kapasitas momen batas suatu gelagar yang dipengaruhi oleh  $h/t$ . Kapasitas momen batas gelagar yang tinggi merupakan fungsi dari:

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.21)$$

dimana :  $h/t$  = menen tukan ketidakstabilan badan (tekuk lentur)

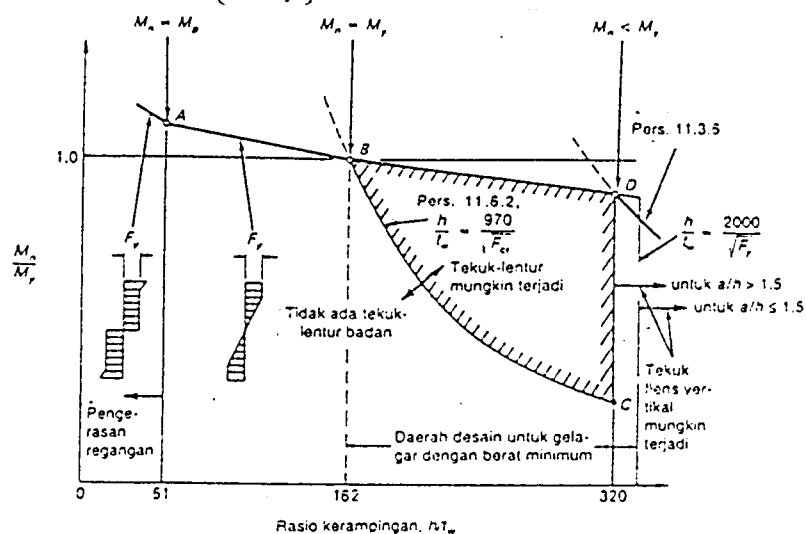
$L/r_y$  = menentukan ketidak-stabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral)

$b/t_f$  = menentukan tekuk setempat (atau tekuk puntir) pada sayap

$A_w/A_f$  = menentukan pengaruh purna tekuk badan pada sayap

Dengan anggapan bahwa tekuk puntir lateral dan tekuk setempat dicegah seperti anggapan yang digunakan pada Gambar 3.14, variabel dari fungsi di atas menjadi :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.22)$$



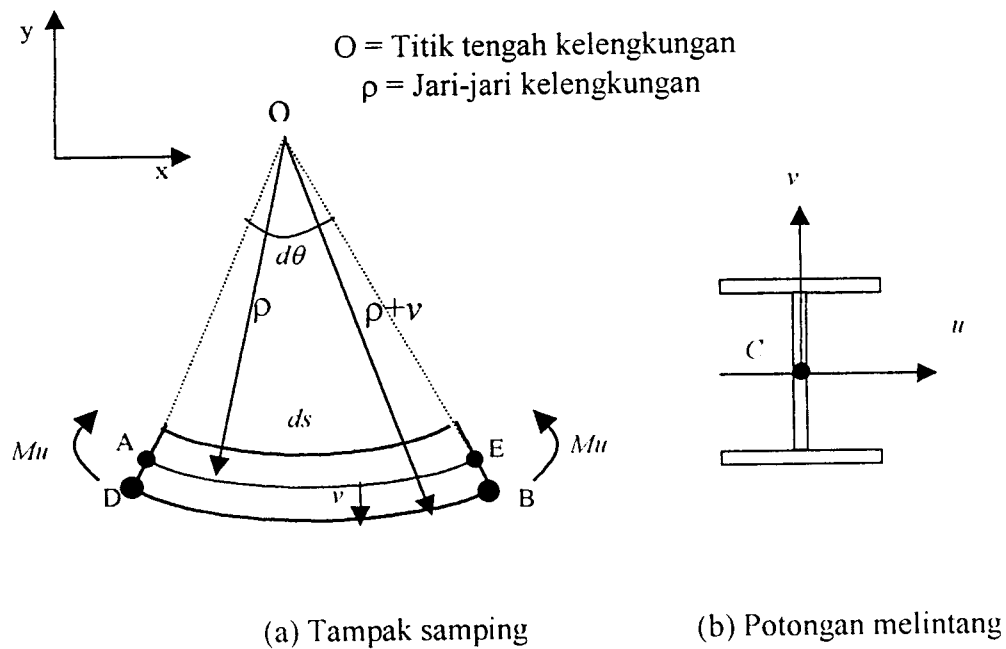
**Gambar 3.14** Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan (baja A36)

### 3.7 Hubungan Momen-Kelengkungan

Perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen-kelengkungan yang menggambarkan perilaku balok pada berbagai kondisi, yaitu saat kondisi elastis, leleh, elastis-plastis dan plastis. Gambar 3.15 adalah sebuah balok sederhana dengan penampang I yang menerima beban terpusat P.

Teori defleksi balok dipengaruhi oleh geometri atau kinematika dari sebuah elemen balok. Kinematika dasar yang menghipotesa bahwa irisan-irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap merupakan bidang datar selama berdeformasi.

Elemen differensial balok untuk lentur murni ditunjukkan pada Gambar 3.15. Sumbu  $u$  dan  $v$  pada potongan melintang, adalah sumbu utama yang ditunjukkan pada Gambar 3.15b.



Gambar 3.15 Deformasi segmen balok dalam lenturan

AB adalah garis netral, pada garis netral ini garis tidak memendek ataupun memanjang. Regangan pada garis netral di dapatkan dari persamaan:

$$\varepsilon_x = \frac{\text{Panjang akhir} - \text{panjang mula-mula}}{\text{panjang mula-mula}} \quad (3.23)$$

dengan substitusi, didapat

$$\varepsilon_x = \frac{(\rho + v) d\theta - \rho d\theta}{\rho d\theta} = \frac{v}{\rho} \quad (3.24)$$

Hubungan dasar antara kurva elastis dan regangan linier, didapat

$$\phi = 1/\rho = k = -\varepsilon_x/v \quad (3.25)$$

karena sifat beban tidak di perhitungkan, maka hubungan ini digunakan untuk masalah-masalah elastis maupun tidak.

$$\sigma_x = E\varepsilon_x \quad (3.26)$$

sehingga

$$\varepsilon_x = \frac{Muv}{Elu} \quad (3.27)$$

Substitusi Persamaan (3.27) ke Persamaan (3.25) akan diperoleh

$$\phi = k = \frac{1}{\rho} = \frac{Mu}{Elu} \quad (3.28)$$

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan

$$\phi = k = \frac{1}{\rho} = \frac{\pm d^2v/dx^2}{[1 + (dv/dx)^2]^{3/2}} \quad (3.29)$$

karena kemiringan  $dv/dx$  dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka

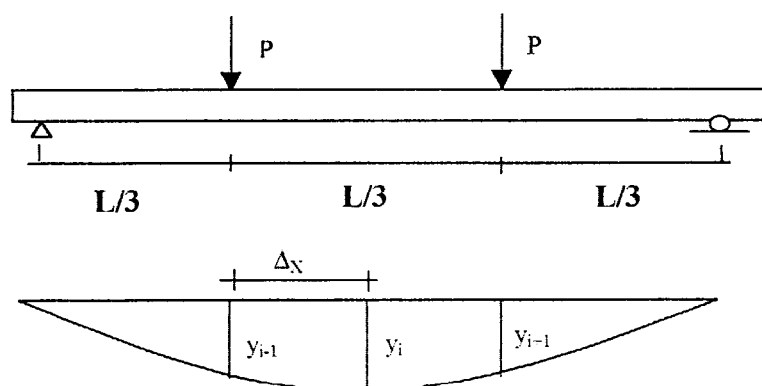
$$(dv/dx)^2 \approx 0 \quad (3.30)$$

persamaan (3.30) disubstitusikan ke persamaan (3.29)

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EIu} \quad (3.31)$$

$$EIu = \frac{M}{(d^2v/dx^2)} \quad (3.32)$$

Dari pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik-titik pembebanan dan pada tengah bentang. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *Finite Difference*.



**Gambar 3.16** Momen-kelengkungan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_i - y_{i-1}}{\Delta x} \quad (3.33)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (3.34)$$

$$\phi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (3.35)$$

mengacu kepada Gambar 3.16 didapat momen ( M )



mengacu kepada Gambar 3.16 didapat momen ( M )

$$M = 1/3 PL \quad (3.36)$$

Sehingga dapat disimpulkan besar EI dengan rumus :

$$EI = M/\phi \quad (3.37)$$

$$M = EI \phi \quad (3.38)$$

$$M = EI d^2y/dx^2 \quad (3.39)$$

Dengan menganggap stabilitas lateral sayap tekan memadai, perencanaan balok didasarkan pada pencapaian kekuatan lentur penampang maksimum. Distribusi tegangan pada profil sayap lebar tipikal yang mengalami momen lentur yang semakin besar diperlihatkan pada Gambar 3.1. Kekakuan ini didasarkan pada bahan yang tetap elastis sampai titik leleh tercapai, setelah itu, tambahan regangan tidak menimbulkan kenaikan tegangan. Pada saat tegangan leleh ( $F_y$ ) tercapai diserat terluar ( $S_x$ ) (Gambar 3.1e.) kapasitas momennya disebut momen leleh ( $M_y$ ) dan dapat dihitung sebagai

$$M_y = F_y \cdot S_x \quad (3.40)$$

Bila kondisi pada Gambar 3.1g tercapai, regangan pada setiap serat sama dengan atau lebih besar dari  $\epsilon_y = F_y/E_y$ ; dengan kata lain serat berada pada daerah plastis. Besarnya momen plastis yaitu dimana seluruh serat berada pada daerah plastis. Kapasitas momennya disebut momen plastis ( $M_p$ ) dan besarnya adalah

$$M_p = f_b \int_A y \cdot dA \quad (3.41)$$

Dengan  $z = \int y \cdot dA$ , maka

$$M_p = f_b \cdot z \quad (3.42)$$

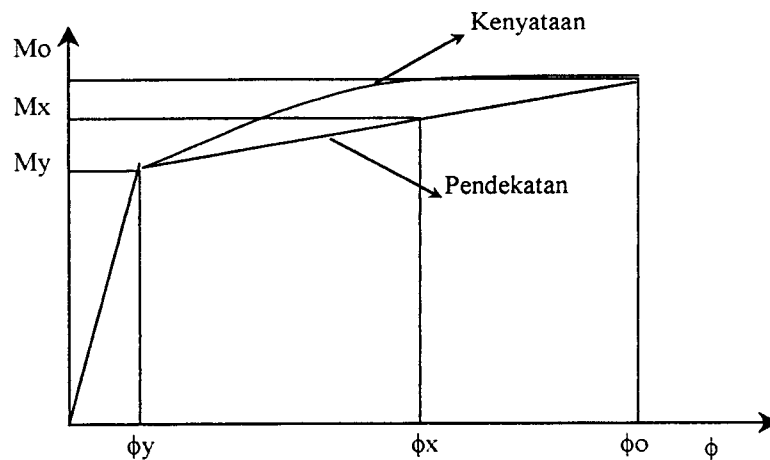
Dimana  $z$  = modulus plastis

Terlihat bahwa rasio  $M_p/M_y$  adalah sifat bentuk penampang lintang dan tidak bergantung pada sifat bahan. Rasio ini disebut faktor bentuk  $f$

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{z}{S} \quad (3.43)$$

Untuk profil I yang mengalami lentur terhadap sumbu kuat (x - x), faktor bentuk berkisar antara 1.09 dan 1.18 dengan harga yang umum sebesar 1.12.

Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan ( $\phi$ ) ditunjukkan pada Gambar 3.17 (Roufaiel dan Meyer, 1983).



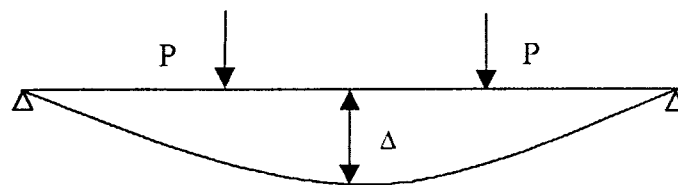
Gambar 3.17 Grafik momen kelengkungan

### 3.8 Hubungan Beban-Lendutan

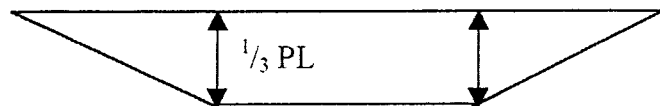
Apabila suatu beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti mengalami lendutan. Meskipun sudah dicek aman terhadap lentur dan geser, suatu balok bisa tidak layak apabila balok terlalu fleksibel. Defleksi yang terlalu berlebihan harus dihindari karena defleksi yang terlihat dengan mata dapat mengurangi keyakinan terhadap kekuatan struktur.

Hubungan antara beban yang bekerja  $P$  pada gelagar dengan lendutan  $\Delta$  yang ditimbulkan akibat beban tersebut akan ditunjukkan oleh diagram beban-lendutan.

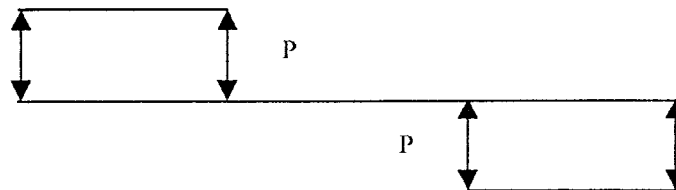
*Lynn S. Beedle (1958)* menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga akan semakin besar.



**Gambar 3.18** Lendutan balok



**Gambar 3.19** Diagram momen



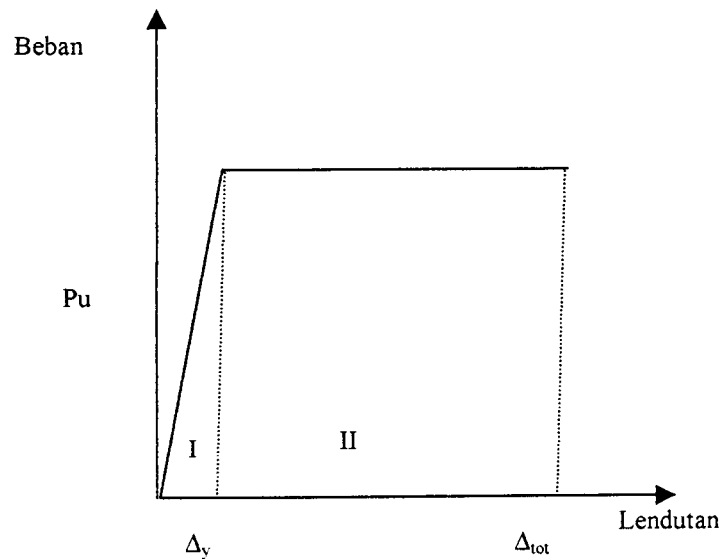
**Gambar 3.20** Diagram geser

Hubungan beban-lendutan ditunjukkan oleh:

$$\Delta = \frac{23 P \cdot L^3}{648 E \cdot I} \quad (3.44)$$

dengan:  $\Delta$  = defleksi balok,  $P$  = beban balok,  $E$  = modulus elastis bahan,  
 $L$  = panjang bentang balok,  $I$  = momen inersia penampang

Hubungan beban – lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier seperti pada Gambar 3.21



**Gambar 3.21** Hubungan beban dan lendutan pada balok

Pada daerah I yaitu pada daerah praretak, balok masih bersifat elastis penuh, tegangan tarik maksimal yang terjadi pada kayu masih lebih kecil dari kuat tarik lentur kayu, kekakuan lentur  $EI$  balok masih mengikuti modulus elastisitas ( $E_c$ ) kayu dan momen inersia penampang balok kayu.

Pada daerah II atau daerah pasca layan, dimana tegangan pada daerah ini sudah mencapai tegangan maksimum, pada daerah ini diagram lendutan lebih landai daripada daerah-daerah sebelumnya. Hal ini karena semakin berkurangnya kekakuan lentur akibat bertambahnya jumlah dan lebar retak disepanjang bentang.

### 3.9 Daktilitas

Prosedur perencanaan selalu didasarkan atas kekuatan ultimit yang membutuhkan kesatuan daktilitas yang besar, terutama untuk memperbaiki tegangan-tegangan dekat lubang atau perubahan yang mendadak pada bentuk batang seperti untuk perencanaan sambungan.

Kelakuan inelastis yang daktil bisa meningkatkan beban yang mampu dipikul batang dibanding dengan beban yang ditahan jika struktur tetap dalam keadaan elastis. Bila seluruh tinggi balok meleleh, diperoleh batas atas dari kekuatan momen yang disebut kekuatan plastis.

Proses pembebanan diluar daerah elastis adalah menyebabkan perubahan pada daktilitasnya. Sedangkan daktilitas itu sendiri adalah perbandingan antara

$$Daktilitas = \frac{\varepsilon_{tot}}{\varepsilon_y} \quad (3.45)$$

dimana :  $\varepsilon_{tot}$  = regangan total

$\varepsilon_y$  = regangan pada saat leleh

Dalam penelitian, setelah didapat besarnya lendutan dari hubungan beban lendutan maka daktilitas simpangan dapat dicari dengan:

$$\mu_{simpangan} = \frac{\Delta_{tot}}{\Delta_y} \quad (3.46)$$

dimana :  $\mu_{simpangan}$  = daktilitas simpangan

$\Delta_y$  = lendutan pada leleh pertama

$\Delta_{tot}$  = lendutan total

Sedangkan daktilitas kelengkungan diperoleh dari hubungan momen kelengkungan yaitu perbandingan antara  $\phi_{tot}/\phi_y$ , yang disajikan dalam rumus

$$\mu_{\text{kelengkungan}} = \frac{\phi_{tot}}{\phi_y} \quad (3.47)$$

dimana:  $\mu_{\text{kelengkungan}}$  = daktilitas kelengkungan

$\phi_y$  = kelengkungan leleh pertama

$\phi_{tot}$  = kelengkungan total

## **BAB IV**

### **PELAKSANANAN PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan yang dilakukan adalah membuat benda uji balok untuk 4 variasi. Persiapan papan kayu untuk benda uji direncanakan berdasarkan pada buku PKKI dan Suwarno.

#### **4.2 Persiapan Bahan dan Alat**

Material yang dipergunakan untuk pembuatan benda uji merupakan material lokal . Pembuatan benda uji, pengujian lentur, dan tarik kayu dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik dan Laboratorium Mekanika Rekayasa FTSP-UII, Yogyakarta.

##### **4.2.1 Bahan**

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kayu

Dalam penelitian ini digunakan papan dari kayu Tumai, termasuk dalam jenis kayu Kalimantan.

2. Paku

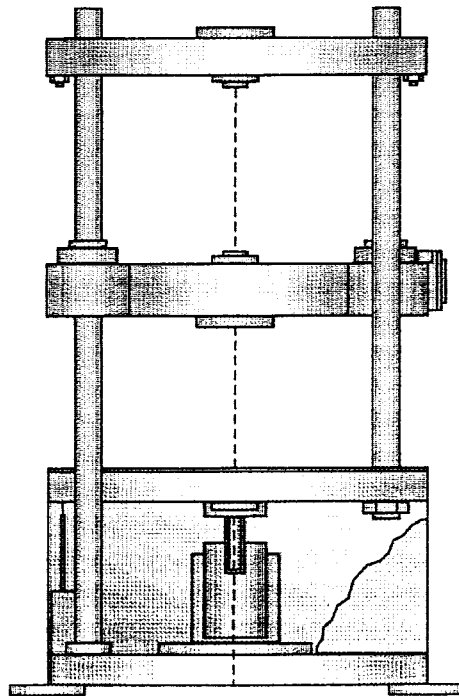
Alat sambung yang digunakan penelitian adalah paku dengan ukuran 2.5” BWG 11, diameter 3.05 dan panjang 63 mm.

#### 4.2.2 Alat yang digunakan

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

##### a) Mesin Uji Kuat Tarik

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan kuat geser kayu. Pada penelitian ini digunakan *UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM)* merk SHIMATSU type UMH 30, kapasitas 30 ton, seperti pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** *Universal Testing Material Shimadzu UMH30*

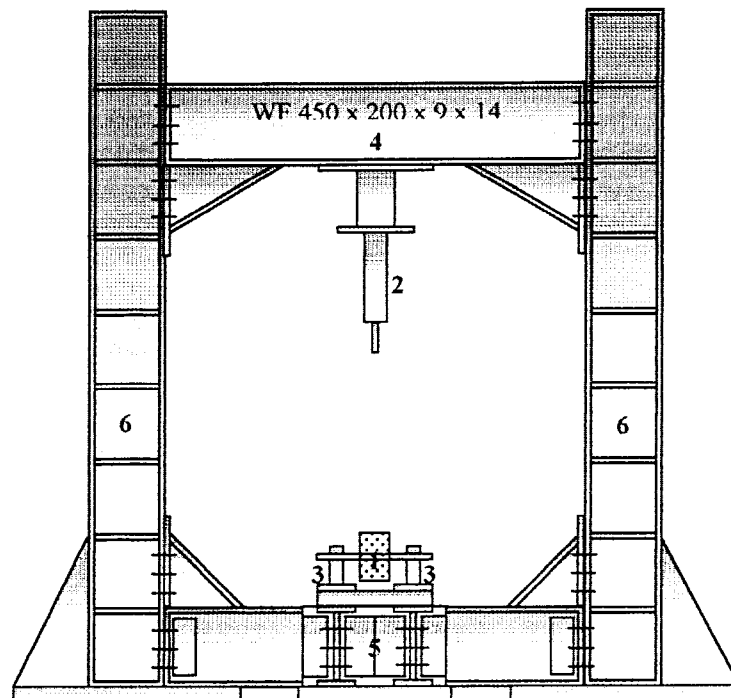
##### b) Meteran dan Kaliper

Meteran digunakan untuk mengukur panjang benda uji, jarak antar pengaku dan kaliper digunakan untuk mengukur lendutan secara manual.



### c) *Loading Frame*

Untuk keperluan penelitian ini dan penelitian-penelitian yang akan datang, dibuat *Loading Frame* dari bahan baja profil WF 450x200x9x14. Seperti pada gambar 4.2.



**Keterangan:**

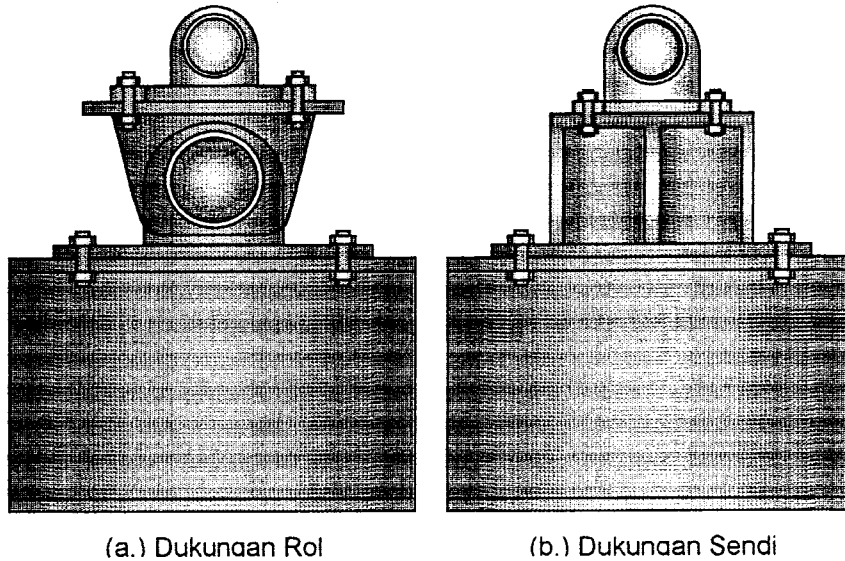
- |                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| 1. Model balok    | 4. Balok portal ( bisa digeser ) |
| 2. Hydraulic Jack | 5. Balok lintang                 |
| 3. Dukungan       | 6. Kolom                         |

**Gambar 4.2** Bentuk fisik *Loading Frame*

Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x9x14mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut.

### c) Dukungan Rol dan Sendi

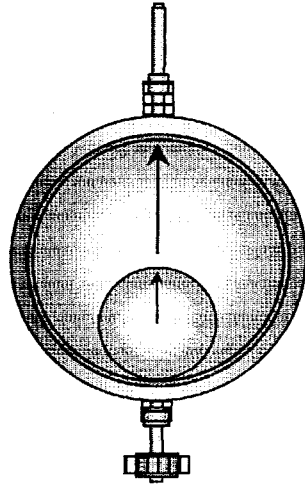
Untuk membuat model balok mendekati balok sederhana (*simple beam*), maka pada salah satu ujung model balok dipasang dukungan rol, sedangkan pada ujung yang lain dipasang dukungan sendi (*engsel*). Lihat gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Dukungan Sendi dan Rol

### d) Dial Gauge

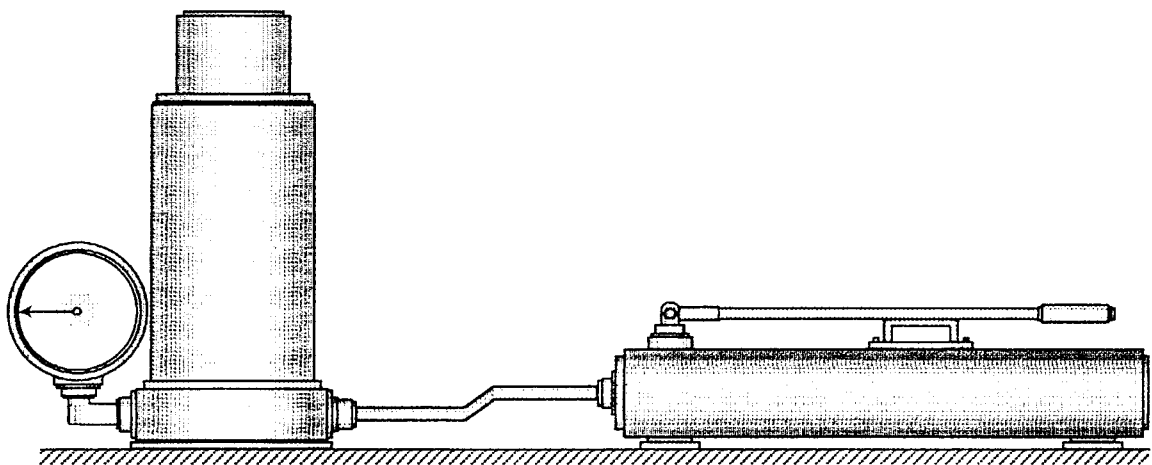
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm – ketelitian 0,01 mm. Pada penelitian tugas akhir ini, digunakan *dial gauge* sebanyak tiga buah. *Dial gauge* pertama terletak sejauh 600 mm dari dukungan sendi, *dial gauge* kedua terletak di tengah bentang dan *dial gauge* ketiga terletak sejauh 600 mm dari dukungan rol.



Gambar 4.4 *Dial Gauge*

e) *Hydraulic Jack*

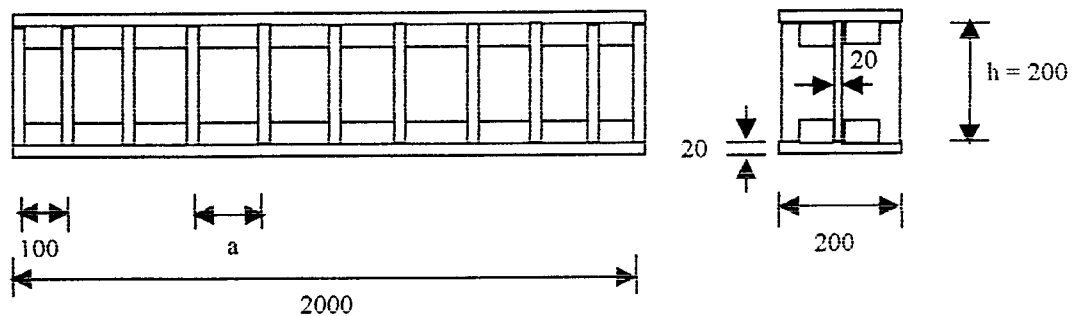
Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur balok skala penuh. Dalam penelitian ini digunakan *hydraulic jack* dengan kapasitas maksimum yang dimiliki adalah 30 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0.5 ton. Bentuk fisik dari *hydraulic jack* dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 *Hydraulic Jack*

### 4.3 Benda Uji

Benda uji berupa gelagar dengan bentuk penampang I dengan dimensi tinggi badan 2/20 cm, lebar sayap 2/20 cm dan pada badan diberi kayu reng 3/5 cm yang akan dibuat sebanyak 12 buah sampel.



Gambar 4.6 Model benda uji

Benda uji tersebut dibuat dari papan kayu dengan variasi jarak antar pengaku seperti pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Variasi jarak antar pengaku

Variasi Balok	Jarak Antar pengaku
Variasi 1 $a/h = 0,5$	10
Variasi 2 $a/h = 1,0$	20
Variasi 3 $a/h = 1,5$	30
Variasi 4 $a/h = 2,0$	40
Variasi 5 $a/h = 2,5$	50

### 4.4 Pembuatan Benda Uji

Setelah perhitungan proporsi dimensi badan, sayap dan reng, dan juga jarak antar paku didapat, maka selanjutnya adalah pembuatan benda uji melalui tahapan-tahapan berikut ini :

1. Bahan-bahan disiapkan dan diukur dengan proporsi yang telah ditentukan sesuai dengan rencana. Pada tahap ini dilakukan pemotongan papan kayu

untuk badan, sayap, reng dan pengaku sesuai dengan ukuran yang telah direncanakan.

2. Papan untuk badan disatukan lebih dahulu dengan reng dengan cara memaku reng dengan papan badan. Jarak paku pada pemasangan papan badan dengan reng adalah 20 cm, sedangkan jarak paku dari ujung balok adalah 10 cm. Diusahakan agar lebar antar reng dari ujung yang satu dengan ujung yang lainnya mempunyai lebar yang sama, agar memudahkan dalam pembuatan pengakunya.
3. Penggabungan papan sayap dan papan badan dilakukan dengan cara memaku papan sayap pada garis tengah lebarnya dengan garis tengah lebar papan badan.
4. Pembuatan pengaku dilakukan dengan teliti, agar didapatkan pengaku yang dapat menempel dengan presisi pada papan badan dan papan sayap. Pengaku dipasang secara transversal, menempel pada papan sayap atas – bawah dan papan badan. Pengaku dipaku pada papan sayap atas dan papan sayap bawah.

#### **4.5 Jumlah Benda Uji**

Setelah balok benda uji telah selesai dibuat, maka dilakukan pengujian balok papan kayu alat uji lentur. Pengujian tersebut dilakukan di laboratorium Mekanika Rekayasa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Banyaknya benda uji yang dibuat dalam penelitian ini adalah :

1. Variasi 1 : 3 buah balok papan dengan dengan dimensi papan badan  $2/20$  cm, papan sayap  $2/20$  cm dan kayu reng  $3/5$  cm dengan jarak antar pengaku 100 mm
2. Variasi 2 : 3 buah balok papan dengan dengan dimensi papan badan  $2/20$  cm, papan sayap  $2/20$  cm dan kayu reng  $3/5$  cm dengan jarak antar pengaku 200 mm
3. Variasi 3 : 2 buah balok papan dengan dengan dimensi papan badan  $2/20$  cm, papan sayap  $2/20$  cm dan kayu reng  $3/5$  cm dengan jarak antar pengaku 300 mm
4. Variasi 4 : 2 buah balok papan dengan dengan dimensi papan badan  $2/20$  cm, papan sayap  $2/20$  cm dan kayu reng  $3/5$  cm dengan jarak antar pengaku 400 mm
5. Variasi 5 : 2 buah balok papan dengan dengan dimensi papan badan  $2/20$  cm, papan sayap  $2/20$  cm dan kayu reng  $3/5$  cm dengan jarak antar pengaku 500 mm

#### **4.6 Pengujian Benda Uji**

Pengujian benda uji dilakukan secara bertahap, disesuaikan dengan banyaknya benda uji yang telah jadi.

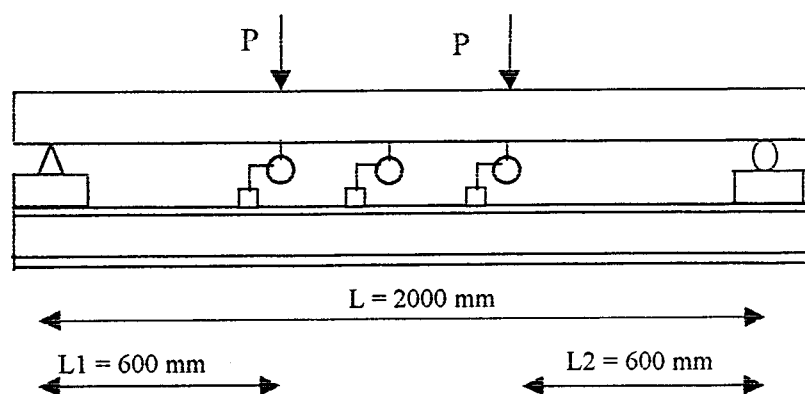
##### **4.6.1 Pengujian Kuat Lentur**

Pelaksanaan pengujian kuat lentur dilakukan di laboratorium Mekanika Rekayasa dengan cara sebagai berikut :

1. Sebelum pengujian dilakukan, benda uji diberi tanda sebagai titik pembebanan pada benda uji, kemudian diletakan pada tumpuan sesuai

dengan tanda yang telah diberikan serta letak bebannya. Dibawah benda uji dipasang dial (alat pengukur lendutan) untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada waktu dilaksanakan pengujian kuat lentur, posisi benda uji dan letak dial terlihat pada gambar 4.7

2. Benda uji siap diuji. *Hidraulic Jack* dipompa guna melakukan pembebanan secara perlahan-lahan, beban konstan dan dinaikan secara berangsur-angsur sehingga pada batas kekuatan tertentu sampai dengan maksimum, sehingga benda uji akan mengalami retak atau patah.
3. Pada saat pembacaan *dial* sudah mencapai  $\pm 400$  mm, maka *dial* dilepas dan pembacaan lendutan dilakukan dengan cara manual, yaitu dengan memasang staige di samping balok uji dan setelah *Hidraulic Jack* dipompa, pada staige tersebut di garis sejajar dengan papan sayap bawah bagian luar. Hal ini dilakukan untuk menghindari kerusakan pada *dial* dari kemungkinan-kemungkinan patahnya papan balok. Hasil pembacaan pada staige kemudian dijumlahkan dengan hasil akhir pembacaan pada *dial*.
4. Hasil retak ditandai pada saat pengujian sedang berlangsung pada benda uji yang mengalami retak tersebut.



**Gambar 4.7** Perletakan benda uji

#### 4.6.2 Pengujian Kuat Tarik Kayu

Pengujian kuat tarik kayu dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian tarik kayu adalah beban maksimum. Tegangan tarik kayu dapat diketahui dengan membagi beban maksimum dengan luas rata-rata. Dalam pengujian tarik kayu, sampel yang diuji sebanyak 3 buah.

#### 4.6.3 Pengujian Geser Sejajar Serat Kayu

Pengujian kuat tarik kayu dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian geser kayu adalah beban maksimum. Tegangan geser kayu dapat diketahui dengan membagi beban maksimum dengan luas rata-rata. Dalam pengujian geser kayu, sampel yang diuji sebanyak 2 buah.



## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

##### 5.1.1 Kualitas Papan Kayu

Untuk mengetahui kualitas papan yang dipakai untuk model, dilakukan uji tarik kayu, hasilnya disajikan dalam lampiran, rangkuman uji tarik kayu ditunjukkan pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil uji tarik kayu

No Sampel	Kuat Tarik (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	425,1058
2	570,3579
3	564,3784

Kuat tarik rata-rata dari ketiga sampel uji tarik kayu adalah sebesar 519,9702 kg/cm<sup>2</sup>.

##### 5.1.2 Hubungan Beban – Lendutan

###### 5.1.2.1 Hubungan Beban-Lendutan Teoritis

Nilai hasil perhitungan beban-lendutan secara teori ditampilkan dalam tabel 5.2 berikut ini. Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian sedangkan besar lendutannya dihitung dengan Persamaan 3.44.

**Tabel 5.2** Hasil perhitungan secara teoritis

<b>P (t)</b>	<b>Lendutan (x10<sup>-3</sup> cm)</b>	<b>Momen (t cm)</b>	<b>Kelengkungan (1/cm)</b>
0.00	0	0	0.000000
0.25	76.46	15	0.000022
0.50	152.93	30	0.000044
0.75	229.39	45	0.000066
1.00	305.85	60	0.000089
1.25	382.31	75	0.000111
1.50	458.78	90	0.000133
1.75	535.24	105	0.000155
2.00	611.70	120	0.000177
2.25	688.16	135	0.000199
2.50	764.63	150	0.000222
2.75	841.09	165	0.000244
3.00	917.55	180	0.000266
3.25	994.02	195	0.000288
3.50	1070.48	210	0.000310
3.75	1146.94	225	0.000332
4.00	1223.40	240	0.000355
4.25	1299.87	255	0.000377
4.50	1376.33	270	0.000399
4.75	1452.79	285	0.000421
5.00	1529.26	300	0.000443
5.25	1605.72	315	0.000465
5.50	1682.18	330	0.000488
5.75	1758.64	345	0.000510
6.00	1835.11	360	0.000532
6.25	1911.57	375	0.000554
6.50	1988.03	390	0.000576
6.75	2064.49	405	0.000598
7.00	2140.96	420	0.000621

### 5.1.2.2 Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian

Pelaksanaan uji lentur dilakukan di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Pada balok papan kayu tersebut dikerjakan dengan pembebanan 2 titik secara bertahap dengan interval pembebanan 0,25 ton 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 jarak antar pengaku yang diuji dalam penelitian ini.

**Tabel 5.3** Hasil pengujian balok papan dengan  $a/h = 0,5$

P (t)	Dial I ( $\times 10^{-3}$ cm)	Dial II ( $\times 10^{-3}$ cm)	Dial III ( $\times 10^{-3}$ cm)	M (t.cm)	Kelengkungan (1/cm)
1	2	3	4	5	6
0.00	0	0	0	0	0.000000
0.25	51	49	46	15	0.000001
0.50	136	132	125	30	0.000003
0.75	196	192	183	45	0.000006
1.00	236	231	220	60	0.000007
1.25	297	294	278	75	0.000014
1.50	354	354	334	90	0.000022
1.75	381	384	361	105	0.000029
2.00	451	460	431	120	0.000042
2.25	558	575	536	135	0.000062
2.50	633	659	610	150	0.000083
2.75	689	716	665	165	0.000087
3.00	755	789	731	180	0.000102
3.25	855	899	831	195	0.000124
3.50	941	996	918	210	0.000148
3.75	1024	1087	1001	225	0.000166
4.00	1109	1181	1087	240	0.000184
4.25	1228	1311	1206	255	0.000209
4.50	1305	1403	1288	270	0.000237
4.75	1396	1501	1381	285	0.000250
5.00	1519	1638	1503	300	0.000282
5.25	1664	1777	1631	315	0.000288
5.50	1786	1935	1777	330	0.000341
5.75	1906	2064	1898	345	0.000360
6.00	2033	2201	2026	360	0.000381
6.25	2136	2313	2130	375	0.000400
6.50	2265	2453	2259	390	0.000424
6.75	2416	2622	2417	405	0.000457
7.00	2575	2803	2589	420	0.000491
7.25	2746	3005	2805	435	0.000510
7.00	2946	3250	3059	420	0.000550
7.00	3106	3446	3260	420	0.000584

Tabel 5.3 lanjutan

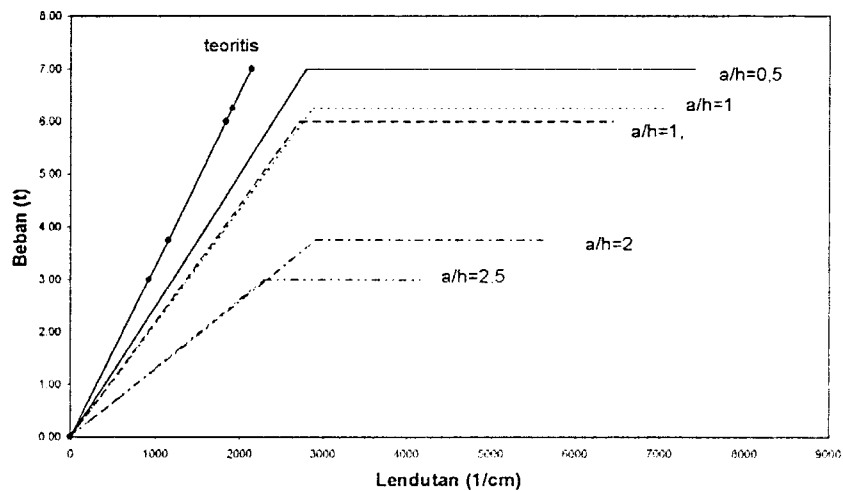
1	2	3	4	5	6
7.00	3278	3617	3415	420	0.000601
7.00	3401	3743	3525	420	0.000622
7.00	3478	3835	3607	420	0.000650
7.00	3606	4001	3807	420	0.000654
7.00	3741	4115	3881	420	0.000676
7.00	4091	4615	4231	420	0.001009
7.00	4441	5065	4581	420	0.001231
7.00	4791	5565	4931	420	0.001564
7.00	5141	6115	5281	420	0.002009
7.00	5491	6715	5631	420	0.002564
7.00	5841	7415	5981	420	0.003342

Tabel 5.4 Kekuatan maksimum balok papan dengan berbagai variasi

No	Variasi Jarak Antar Pengaku	P max (t)	P max (%)
1	a/h = 0,5	7,00	100
2	a/h = 1,0	6,25	89,29
3	a/h = 1,5	6,00	85,71
4	a/h = 2,0	3,75	53,57
5	a/h = 2,5	3,00	42,87

### 5.1.2.3 Kurva Hubungan Beban – Lendutan

Dari hasil perhitungan teoritis dan hasil pengujian 5 variasi balok papan kayu dapat dibuat kurva beban-lendutan.



Gambar 5.2 Kurva beban-lendutan dari 5 jenis variasi jarak antar pengaku dan teoritis



Dari kurva hubungan beban-lendutan hasil pengujian dan teoritis yang ditunjukkan pada Gambar 5.2, mulai titik awal pembebanan sampai terjadi retak, balok uji berperilaku elastik dan berbentuk linier. Setelah mengalami retak, balok uji memasuki fase inelastik dimana terjadi peningkatan lendutan yang cukup besar. Kekakuan adalah gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit lendutan, semakin kaku suatu elemen struktur maka semakin besar kemiringannya.

#### 5.1.2.4 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan

Dari data penelitian grafik hubungan beban-lendutan dapat disimpulkan tentang kekakuan balok beban ultimit disajikan dalam Tabel 5.5

**Tabel 5.5** Analisa kekakuan dari data hubungan beban-lendutan

Nama Balok	P (t)	Lendutan ( $\times 10^{-3}$ cm)	Kekakuan ( $\times 10^{-3}$ t.cm <sup>2</sup> )	Kekakuan (%)
a/h=0,5	7,00	2803	516,9461	100
a/h=1,0	6,25	2886	448,2848	85,83
a/h=1,5	6,00	3011	412,4876	79,79
a/h=2,0	3,75	2811	276,1473	53,99
a/h=2,5	3,00	2293	270,8242	52,39

**Tabel 5.6** Analisa lendutan dari data beban-lendutan

Nama Balok	P (Ton)	$\Delta_y$ ( $\times 10^{-3}$ cm)	$\Delta_{tot}$ ( $\times 10^{-3}$ cm)	Daktilitas	Daktilitas (%)
a/h=0,5	7,00	2803	7425	2,6454	100
a/h=1,0	6,25	2886	7052	2,4435	92,37
a/h=1,5	6,00	3011	6544	2,4023	90,81
a/h=2,0	3,75	2811	5610	1,9957	75,44
a/h=2,5	3,00	2293	4160	1,8142	68,58

Dari data Tabel 5.6 dapat diamati dan diteliti pengaruh variasi jarak antar pengaku terhadap daktilitas lendutan balok papan.

### **5.1.3 Hubungan Momen – Kelengkungan**

#### **5.1.3.1 Hubungan Momen – Kelengkungan Teoritis**

Mengacu pada tulisan Park-Pauley, nilai momen dan kelengkungan dapat dicari. Tabel hasil perhitungan momen-kelengkungan secara teoritis disajikan pada Tabel 5.2 dan kurvanya pada Gambar 5.3

Dari data perhitungan momen kelengkungan teoritis dapat digambarkan kurvanya. Kurva tersebut akan dibandingkan dengan kurva hasil pengamatan yang diperoleh dari hasil pengujian model uji balok papan kayu dengan 5 variasi jarak antar pengaku.

#### **5.1.3.2 Hubungan Momen – Kelengkungan Hasil Penelitian**

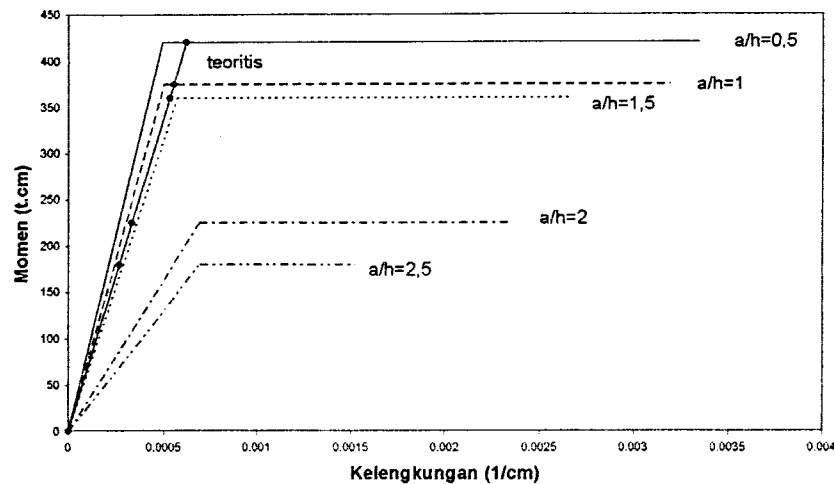
Dari hasil uji lentur didapat data primer berupa beban dan lendutan, dari data tersebut dapat diketahui besar momen dan kelengkungan. Hubungan momen-kelengkungan dapat dilihat pada Persamaan 3.38.

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 *finite difference method*, 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  $a/h = 0,5$ 

Beban (t)	Lendutan ( $\times 10^{-3}$ cm)	Momen (t.cm)	Kelengkungan (1/cm)
0.00	0	0	0.000000
0.25	49	15	0.000001
0.50	132	30	0.000003
0.75	192	45	0.000006
1.00	231	60	0.000007
1.25	294	75	0.000014
1.50	354	90	0.000022
1.75	384	105	0.000029
2.00	460	120	0.000042
2.25	575	135	0.000062
2.50	659	150	0.000083
2.75	716	165	0.000087
3.00	789	180	0.000102
3.25	899	195	0.000124
3.50	996	210	0.000148
3.75	1087	225	0.000166
4.00	1181	240	0.000184
4.25	1311	255	0.000209
4.50	1403	270	0.000237
4.75	1501	285	0.000250
5.00	1638	300	0.000282
5.25	1777	315	0.000288
5.50	1935	330	0.000341
5.75	2064	345	0.000360
6.00	2201	360	0.000381
6.25	2313	375	0.000400
6.50	2453	390	0.000424
6.75	2622	405	0.000457
7.00	2803	420	0.000491
7.25	3005	435	0.000510
7.00	3250	420	0.000550
7.00	3446	420	0.000584
7.00	3617	420	0.000601
7.00	3743	420	0.000622
7.00	3835	420	0.000650
7.00	4001	420	0.000654
7.00	4115	420	0.000676
7.00	4615	420	0.001009
7.00	5065	420	0.001231
7.00	5565	420	0.001564
7.00	6115	420	0.002009
7.00	6715	420	0.002564
7.00	7415	420	0.003342

Dari Tabel 5.7 dapat digambarkan kurva momen kelengkungan seperti yang terlihat pada Gambar 5.4, dan untuk hasil selengkapnya disajikan di dalam lampiran.



**Gambar 5.3** Kurva hubungan  $M-\phi$  dari 5 variasi jarak antar pengaku dan teoritis

### 5.1.3.3 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Hubungan momen-kelengkungan menunjukkan kekakuan. Dalam hal ini didapat dari  $M/\phi$ , faktor kekakuan pada balok papan secara umum mempunyai perilaku yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola Grafik  $M/\phi$  yang diperoleh dari data percobaan laboratorium. Dari kurva seperti yang terlihat dalam Gambar 5.3, maka dapat dibuat analisa data.

**Tabel 5.8** Analisa kekakuan dari data momen – kelengkungan

Nama Balok	Momen (t.cm)	Kelengkungan (1/cm)	EI ( $\times 10^3$ t.cm <sup>2</sup> )	Momen (%)	EI (%)
a/h = 0,5	420	0,000491	855,3971	100	100
a/h = 1,0	375	0,000500	750,0000	89,29	87,68
a/h = 1,5	360	0,000486	736,1963	85,71	86,06
a/h = 2,0	225	0,000694	324,2075	53,57	37,90
a/h = 2,5	180	0,000696	258,6207	42,87	30,23



**Tabel 5.9** Analisa daktilitas kelengkungan dari data momen kelengkungan

<b>Nama Balok</b>	<b>Momen (ton.cm)</b>	$\phi_{tot}$ <b>(1/cm)</b>	$\phi_y$ <b>(1/cm)</b>	<b>Daktilitas</b>	<b>Daktilitas (%)</b>
a/h=0,5	420	0,003342	0,000491	6,8065	100
a/h=1,0	375	0,003189	0,000500	6,3780	93,70
a/h=1,5	360	0,002661	0,000486	5,4753	80,44
a/h=2,0	225	0,002341	0,000694	3,3732	49,56
a/h=2,5	180	0,001519	0,000629	2,1825	32,06

#### 5.1.4 Analisa Tekuk pada Sampel Uji

Semua kerusakan yang terjadi pada 5 variasi sampel uji penelitian adalah terjadinya retak pada bidang badan. Keretakan atau tekuk pada bidang badan tersebut adalah tekuk yang diakibatkan oleh gaya geser.

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Kuat Lentur Balok ditinjau dari Hubungan Beban-Lendutan

Dari gambar pada lampiran yaitu grafik beban lendutan sebelum diidealisir dapat dilihat bahwa balok memiliki trend kuat lentur yang sama. Mulai dari kuat lentur awal sampai kuat lentur ultimit, kurva melengkung tetapi mendekati linier. Setelah mencapai kuat lentur ultimit balok mengalami retak dan terjadi penurunan kuat lentur sedikit.

Balok masih bisa mengalami peningkatan kuat lentur sedikit setelah mengalami retak sampai balok mengalami kuat lentur ultimit yang kedua. Setelah mengalami kuat lentur ultimit yang kedua, kuat lentur balok cenderung linier yaitu balok mempunyai kuat lentur yang sama dengan kuat lentur ultimit kedua, yang

mengalami peningkatan hanyalah lendutan balok, sedangkan beban balok tidak mengalami peningkatan.

Kuat lentur paling besar dialami oleh balok dengan  $a/h=0,5$  yaitu pada beban sebesar 7 ton, sedangkan kuat lentur paling kecil dialami oleh balok dengan  $a/h=2,5$  yaitu pada beban sebesar 3 ton. Lendutan paling panjang terjadi pada balok dengan  $a/h=0,5$  dan lendutan paling pendek terjadi pada  $a/h=2,5$ .

Dari penelitian didapatkan hubungan beban ( $P$ ) dan lendutan ( $\Delta$ ), dalam hal ini adalah nilai kekakuan. Nilai kekakuan didapat dari  $P/\Delta$ , kekakuan pada balok papan secara umum mempunyai perilaku yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik beban lendutan yang diperoleh dari data laboratorium.

Dari analisa beban dengan lendutan (Tabel 5.4) dapat diperoleh perbandingan kurva lendutan balok dengan variasi jarak antar pengaku. Sebagai pembanding atau standar kekakuan balok papan dipakai balok dengan  $a/h=0,5$ , dengan menganggap besar kekakuannya yaitu 100%. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai kekakuan dari balok papan.

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 0,5, pada saat beban maksimum yaitu sebesar 7 ton mempunyai nilai kekakuan sebesar  $516,9461 \times 10^3 \text{ t.cm}^2$ .

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 1,0, pada saat beban maksimum yaitu sebesar 6,25 ton mempunyai nilai kekakuan sebesar  $448,2848 \times 10^3 \text{ t.cm}^2$ . Beban maksimum mengalami penurunan sebesar 10,71 %

dan nilai kekakuan mengalami penurunan sebesar 14,17 % terhadap balok dengan jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 0,5

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 1,5, pada saat beban maksimum yaitu sebesar 6,00 ton mempunyai nilai kekakuan sebesar  $412,4876 \times 10^3 \text{ t.cm}^2$ . Beban maksimum mengalami penurunan sebesar 14,29 % dan nilai kekakuan mengalami penurunan sebesar 20,21 % terhadap balok dengan jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 0,5

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 2,0, pada saat beban maksimum yaitu sebesar 3,75 ton mempunyai nilai kekakuan sebesar  $276,1473 \times 10^3 \text{ t.cm}^2$ . Beban maksimum mengalami penurunan sebesar 46,43 % dan nilai kekakuan mengalami penurunan sebesar 46,01 % terhadap balok dengan jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 0,5

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 2,5, pada saat beban maksimum yaitu sebesar 3,00 ton mempunyai nilai kekakuan sebesar  $270,8242 \times 10^3 \text{ t.cm}^2$ . Beban maksimum mengalami penurunan sebesar 57,13 % dan nilai kekakuan mengalami penurunan sebesar 47,61 % terhadap balok dengan jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 0,5

### 5.2.2 Daktilitas Simpangan ditinjau dari Hubungan Beban-Lendutan

Besarnya lendutan pada beban maksimum dan lendutan maksimum pada beban maksimum merupakan dasar untuk mencari daktilitas balok. Daktilitas simpangan didapat dari perbandingan  $\Delta_{tot}/\Delta_y$ . Dari Tabel 5.5 yang diperoleh dari pengamatan perbandingan kurva lendutan balok papan dengan berbagai variasi jarak antar pengaku.

Sebagai pembanding atau standar daktilitas balok papan, dipakai balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 0,5, dengan menganggap daktilitasnya dan beban ultimitnya yaitu sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai daktilitas.

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 0,5, balok mempunyai nilai daktilitas sebesar 100 % pada saat beban menerima beban maksimum sebesar 7 ton.

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 1,0, balok mempunyai nilai daktilitas sebesar 92,37 % pada saat beban menerima beban maksimum sebesar 6,25 ton. Balok dengan  $a/h$  = 1,0 mengalami penurunan daktilitas sebesar 7,63 % dan beban mengalami penurunan sebesar 10,71 % dibanding balok dengan  $a/h$  = 0,5.

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 1,5, balok mempunyai nilai daktilitas sebesar 90,81 % pada saat beban menerima beban maksimum sebesar 6 ton. Balok dengan  $a/h$  = 1,5 mengalami penurunan daktilitas sebesar 9,19 % dan beban mengalami penurunan sebesar 14,29 % dibanding balok dengan  $a/h$  = 0,5.

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 2,0, balok mempunyai nilai daktilitas sebesar 75,44 % pada saat beban menerima beban maksimum sebesar 3,75 ton. Balok dengan  $a/h$  = 2,0 mengalami penurunan daktilitas sebesar 24,56 % dan beban mengalami penurunan sebesar 46,43 % dibanding balok dengan  $a/h$  = 0,5.

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 2,5, balok mempunyai nilai daktilitas sebesar 68,58 % pada saat beban menerima beban maksimum sebesar 3 ton. Balok dengan  $a/h$  = 2,5 mengalami penurunan daktilitas sebesar 31,42 % dan beban mengalami penurunan sebesar 57,13 % dibanding balok dengan  $a/h$  = 0,5.

### **5.2.3 Kuat Lentur Balok ditinjau dari Hubungan Momen – Kelengkungan**

Perilaku dari hubungan momen kelengkungan memiliki trend yang tidak jauh berbeda dengan kuat lentur dari hubungan beban lendutan seperti yang ditunjukkan pada gambar dilampiran. Mulai dari kuat lentur awal akibat momen sampai kuat lentur ultimit, kurva melengkung tetapi mendekati linier. Setelah mencapai kuat lentur ultimit balok mengalami retak sehingga terjadi penurunan kuat lentur sedikit.

Balok masih bisa mengalami peningkatan kuat lentur sedikit setelah mengalami retak, sampai balok mengalami kuat lentur ultimit yang kedua balok tidak mengalami peningkatan kuat lentur lagi. Setelah mengalami kuat lentur ultimit yang kedua, kuat lentur balok cenderung linier yaitu balok mempunyai kuat lentur yang sama dengan kuat lentur ultimit kedua, yang mengalami peningkatan hanyalah kelengkungan balok, sedangkan momen balok tidak mengalami peningkatan.

Kuat lentur paling besar dialami oleh balok dengan  $a/h=0,5$  yaitu pada momen sebesar 420 ton.cm, sedangkan kuat lentur paling kecil dialami oleh balok dengan  $a/h=2,5$  yaitu pada momen sebesar 180 ton.cm. kelengkungan paling

panjang terjadi pada balok dengan  $a/h=0,5$  dan kelengkungan paling pendek terjadi pada  $a/h=2,5$ .

Hubungan momen dan kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan. Seperti yang terdapat pada Tabel 5.8, maka dapat dilakukan analisa data momen dengan kelengkungan sehingga dapat diperoleh perbandingan grafik momen kelengkungan balok papan dengan 5 variasi jarak antar pengaku.

Sebagai pembanding atau standar kekakuan balok papan dipakai balok dengan rasio jarak antar pengaku  $(a/h) = 0,5$  dengan menganggap besar faktor kekakuannya sebesar 100 % dan besarnya momen beban maksimum pertama sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh besarnya kenaikan atau penurunan nilai faktor kekakuan atau besarnya momen dari balok papan

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku  $(a/h) = 0,5$  mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar  $855,3971 \text{ t.cm}^2$  pada saat balok menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar  $420 \text{ t.cm}$ .

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku  $(a/h) = 1,0$  mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar  $750 \text{ t.cm}^2$  pada saat balok menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar  $375 \text{ t.cm}$ . Balok dengan  $a/h = 1,0$  tersebut mengalami penurunan nilai kekakuan sebesar 12,32 % dan nilai momen mengalami penurunan sebesar 10,71 % dari balok dengan  $a/h = 0,5$ .

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku  $(a/h) = 1,5$  mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar  $740,7407 \text{ t.cm}^2$  pada saat balok menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar  $360 \text{ t.cm}$ . Balok dengan  $a/h = 1,5$  tersebut

mengalami penurunan nilai kekakuan sebesar 13,4 % dan nilai momen mengalami penurunan sebesar 14,29 % dari balok dengan  $a/h = 0,5$ .

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 2,0 mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 324,2075 t.cm<sup>2</sup> pada saat balok menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar 225 t.cm. Balok dengan  $a/h = 2,0$  tersebut mengalami penurunan nilai kekakuan sebesar 62,1 % dan nilai momen mengalami penurunan sebesar 46,43 % dari balok dengan  $a/h = 0,5$ .

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 2,5 mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 258,6207 t.cm<sup>2</sup> pada saat balok menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar 180 t.cm. Balok dengan  $a/h = 2,5$  tersebut mengalami penurunan nilai kekakuan sebesar 69,77 % dan nilai momen mengalami penurunan sebesar 57,13 % dari balok dengan  $a/h = 0,5$ .

#### **5.2.4 Daktilitas Kelengkungan ditinjau dari Hubungan Momen-Kelengkungan**

Besarnya kelengkungan pada momen maksimum dan kelengkungan maksimum pada momen maksimum merupakan dasar untuk mencari daktilitas balok. Daktilitas kelengkungan didapat dari perbandingan  $\phi_{tot}/\phi_y$ . Dari Tabel 5.9 yang diperoleh dari pengamatan perbandingan kurva kelengkungan balok papan dengan berbagai variasi jarak antar pengaku.

Sebagai pembanding atau standar daktilitas balok papan, dipakai balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 0,5, dengan menganggap daktilitasnya dan momen maksimumnya yaitu sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai daktilitas.

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 0,5, balok mempunyai nilai daktilitas sebesar 6,8065 pada saat balok menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 420 t.cm.

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 1,0, balok mempunyai nilai daktilitas sebesar 6,3780 pada saat beban menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 375 t.cm. Balok dengan  $a/h$  = 1,0 mengalami penurunan daktilitas sebesar 6,3 % dan momen mengalami penurunan sebesar 10,71 % dibanding balok dengan  $a/h$  = 0,5.

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 1,5, balok mempunyai nilai daktilitas sebesar 5,4753 pada saat beban menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 360 t.cm. Balok dengan  $a/h$  = 1,5 mengalami penurunan daktilitas sebesar 19,56 % dan momen mengalami penurunan sebesar 14,29 % dibanding balok dengan  $a/h$  = 0,5.

Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 2,0, balok mempunyai nilai daktilitas sebesar 3,3732 pada saat beban menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 225 t.cm. Balok dengan  $a/h$  = 2,0 mengalami penurunan daktilitas sebesar 50,44 % dan momen mengalami penurunan sebesar 46,43 % dibanding balok dengan  $a/h$  = 0,5.

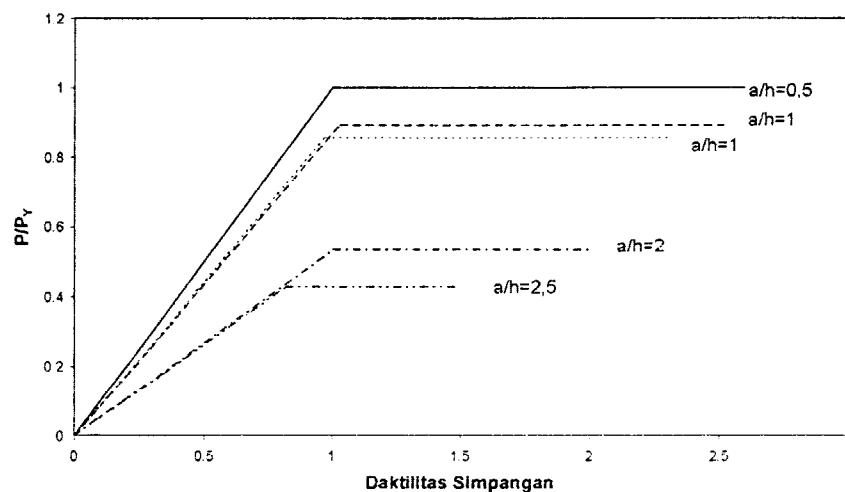
Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 2,5, balok mempunyai nilai daktilitas sebesar 2,1825 pada saat beban menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 180 t.cm. Balok dengan  $a/h$  = 2,5 mengalami penurunan daktilitas sebesar 67,94 % dan momen mengalami penurunan sebesar 57,13 % dibanding balok dengan  $a/h$  = 0,5.



### 5.2.5 Hubungan Beban-Daktilitas Simpangan

Dari hasil penelitian didapatkan hubungan antara beban dengan daktilitas simpangan yang kemudian hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.4. Hasil penelitian ini ditampilkan dalam bentuk grafik non dimensional untuk 5 jenis variasi rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ).

Dari grafik tersebut bisa disimpulkan bahwa semakin besar rasio jarak antar pengaku maka semakin kecil daya dukung bebannya dan semakin kecil pula daktilitas simpangannya.

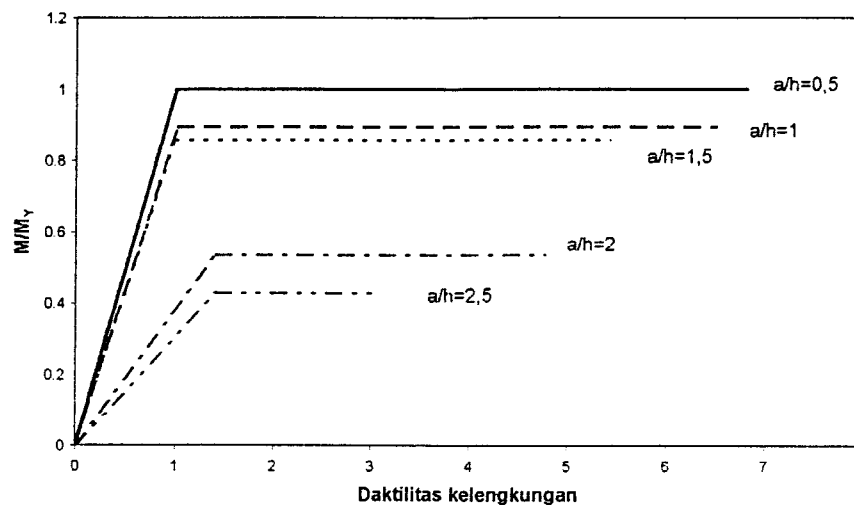


**Gambar 5.4** Grafik non dimensional beban-daktilitas simpangan

### 5.2.6 Hubungan Momen -Daktilitas Kelengkungan

Dari hasil penelitian didapatkan hubungan antara momen-kelengkungan dengan daktilitas kelengkungan yang kemudian hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.5. Hasil penelitian ini ditampilkan dalam bentuk grafik non dimensional untuk 5 variasi dari rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ).

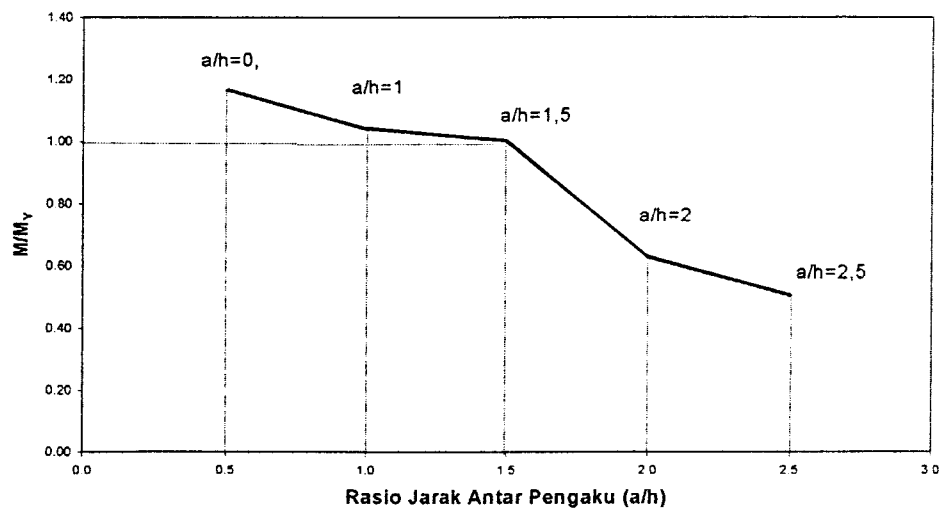
Ternyata trend yang didapatkan dari grafik tersebut hampir sama seperti trend pada grafik momen-kelengkungan. Dari grafik tersebut bisa disimpulkan bahwa semakin besar rasio jarak antar pengakunya semakin kecil kapasitas momennya dan semakin kecil pula daktilitas kelengkungannya.



**Gambar 5.5** Grafik non dimensional momen-daktilitas kelengkungan

### 5.2.7 Hubungan Rasio Jarak Antar Pengaku dengan Kuat Lentur Balok

Dari hasil penelitian didapat bahwa rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) berpengaruh besar terhadap kuat lentur balok. Lima variasi yang diuji menunjukkan bahwa semakin besar nilai rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) maka semakin kecil nilai kuat lenturnya. Nilai kuat lentur tersebut diwakili oleh nilai beban-lendutan, momen-kelengkungan, kekakuan dan daktilitasnya. Hasilnya tampak pada Gambar 5.6 berikut ini.



**Gambar 5.6** Grafik non dimensional momen-rasio jarak antar pengaku

### 5.2.8 Tekuk akibat Geser pada Balok Papan dengan Pengaku Transversal

Jenis kerusakan yang terjadi pada balok papan dengan pengaku transversal adalah tekuk yang terjadi pada pelat badan akibat gaya geser. Hal ini disebabkan karena kemampuan tahanan geser dari kayu yang relatif sangat kecil. Untuk mencegah terjadinya tekuk tersebut, maka perlu dicari solusinya.

Salah satu cara pemecahannya adalah dengan memperbesar dimensi tebal pelat badan pada daerah sumbu netralnya, karena pada garis netral itulah nilai tegangan geser terbesar terjadi.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dimuka dapat disimpulkan mengenai perilaku balok papan dengan variasi jarak antar pengaku sebagai berikut:

1. Rasio jarak antar pengaku sangat berpengaruh terhadap penurunan kekakuan balok papan. Semakin besar rasio jarak antar pengaku maka semakin kecil kekakuan balok papan. Penurunan kekakuan terbesar pada beban ultimit terjadi pada balok dengan rasio jarak antar pengaku  $(a/h) = 2,5$  sebesar 47,61 % dibandingkan dengan balok dengan rasio jarak antar pengaku  $(a/h) = 0,5$ . Secara keseluruhan nilai kekakuan pada saat beban ultimit mengalami penurunan sebesar 15 % sampai 48 %.
2. Kekuatan dalam menahan beban ( $P$ ) mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya rasio jarak antar pengaku. Penurunan kekuatan dalam menahan beban terbesar terjadi pada balok dengan rasio jarak antar pengaku  $(a/h) = 2,5$  yaitu sebesar 57,13 %.
3. Rasio jarak antar pengaku sangat mempengaruhi penurunan kemampuan balok untuk menahan momen pada saat menerima beban maksimum dan faktor kekakuan balok ( $EI$ ). Pada balok dengan rasio jarak antar pengaku  $(a/h) = 1,0$

terjadi penurunan momen dan EI terkecil, dengan penurunan momen sebesar 10,71 % dan penurunan EI sebesar 12,32 %. Sedangkan penurunan momen dan EI terbesar terjadi pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 2,5 dengan penurunan momen sebesar 57,13 % dan penurunan EI sebesar 69,77 %.

4. Daktilitas simpangan balok terbesar terjadi pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 0,5 dan daktilitas simpangan balok terkecil terjadi pada balok dengan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) = 2,5. Semakin rapat rasio jarak antar pengaku maka daktilitas simpangan yang dialami balok semakin besar dan semakin besar rasio jarak antar pengaku maka daktilitas simpangan balok semakin kecil.
5. Daktilitas kelengkungan balok memiliki perilaku yang hampir sama dengan daktilitas simpangan. Semakin rapat rasio jarak antar pengaku maka daktilitas kelengkungan yang dialami balok semakin besar dan semakin besar rasio jarak antar pengaku maka daktilitas kelengkungan balok semakin kecil.
6. Pada saat beban maksimum, balok mengalami retak, dan pada saat retak tersebut terjadi balok mengalami penurunan kuat lentur sedikit. Tetapi balok masih mampu mengalami kenaikan kuat lentur meskipun sedikit setelah balok mengalami retak tersebut.
7. Kerusakan yang terjadi pada balok papan dengan pengaku transversal adalah tekuk pada bidang badan akibat gaya geser.

## 6.2 Saran

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut tentang balok papan dengan pengaku, dengan pengembangan pada balok non prismatic.
2. Perlu diadakan penelitian-penelitian selanjutnya tentang balok papan agar diperoleh model matematis dan prosedur hitungan/analisa yang sesuai untuk balok papan dengan pengaku.
3. Pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pengamatan dalam membaca dial pembebanan dan munculnya retak sehingga diperoleh data yang lebih valid dan akurat.
4. Perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pada saat pembuatan balok papan, terutama pada saat memaku plat sayap dengan plat badan dan pada saat memaku pengaku dengan plat sayap.
5. Solusi untuk mengatasi tekuk akibat gaya geser pada penelitian ini adalah dengan memperbesar dimensi tebal pelat badan pada sumbu netral dengan memberi pengaku longitudinal pada pelat badannya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Blake Alexander, 1985, *Hamdbook of Mechanics, Materials and Structures*, John Wiley & Sons, Inc.
2. Faherty KF & Williamson GT, 1989, *Wood Engineering and Construction Handbook*, Mc Graw-Hill Publishing Company.
3. Gurfinkel German, 1981, *Wood Engineering, Second Edition*, Kendal/Hunt Publishing Company.
4. Lynn S Beedle, 1958, *Plastic Design of Steel Frames*, John Wiley & Sons, Inc.
5. Muvdi BB & Mc Nabb JW, 1984, *Engineering Mechanicsof Material, Second Edition*, Mc Millan Publishing Company
6. Ozelton EC & Baird JA, 1976, *Timber Designer's Manual*, Crosby Lockwood Staples.
7. Salmon CG & Johnson JE, 1986, *Struktur Baja Desain dan Perilaku*, Penerbit Erlangga.
8. Suwarno W, 1976, *Konstruksi Kayu*, Bahan-bahan Kuliah Fakultas Teknik UGM.
9. Trahair N.S & Bradford M.A, 1977, *The Behavior and Design of Steel Structures*, Chapman and Hall Publishing Company

**L**

**A**

**M**

**P**

**I**

**R**

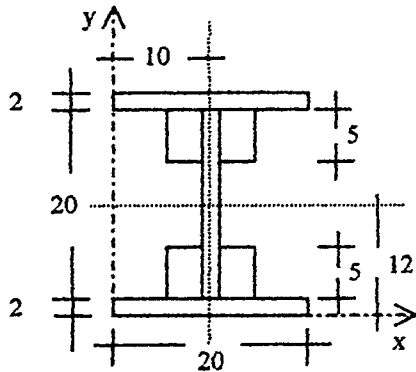
**A**

**N**



Lampiran 1

Perhitungan Jumlah Paku



◆ Statis momen :

$$\bar{y} = \frac{(2 \cdot 20) \cdot 1 + 2(3.5) \cdot 4.5 + 2(3.5) \cdot 19.5 + (2 \cdot 20) \cdot 23}{3(2 \cdot 20) + 4(3.5)}$$

$$\bar{y} = 12 \text{ cm}$$

$$\bar{x} = 10 \text{ cm}$$

◆ Inersia :

$$I_{sayap} = 2 \cdot \left[ \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 2^3 \right] + (2 \cdot 20) \cdot 11^2 = 9706,67 \text{ cm}^4$$

$$I_{badan} = \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 12^3 = 1333,33 \text{ cm}^4$$

$$I_{rang} = \frac{1}{4} [I_t + 3 \cdot I_g] \longrightarrow I_t = 4 \cdot I_y + 4 \cdot F \cdot e^2$$

$$= \frac{1}{4} (420 + 3 \cdot 180) = 4 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 3^3 \right) + (3.5) \left( \frac{2+3}{2} \right)^2 \right]$$

$$= 240 \text{ cm}^4$$

$$= 420 \text{ cm}^4$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h' = \frac{1}{12} \cdot (2 \cdot b)^3 \cdot (2 \cdot h)$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 6^3 \cdot 10 = 180 \text{ cm}^4$$

maka,

$$I_{total} = I_{sayap} + I_{badan} + I_{rang}$$

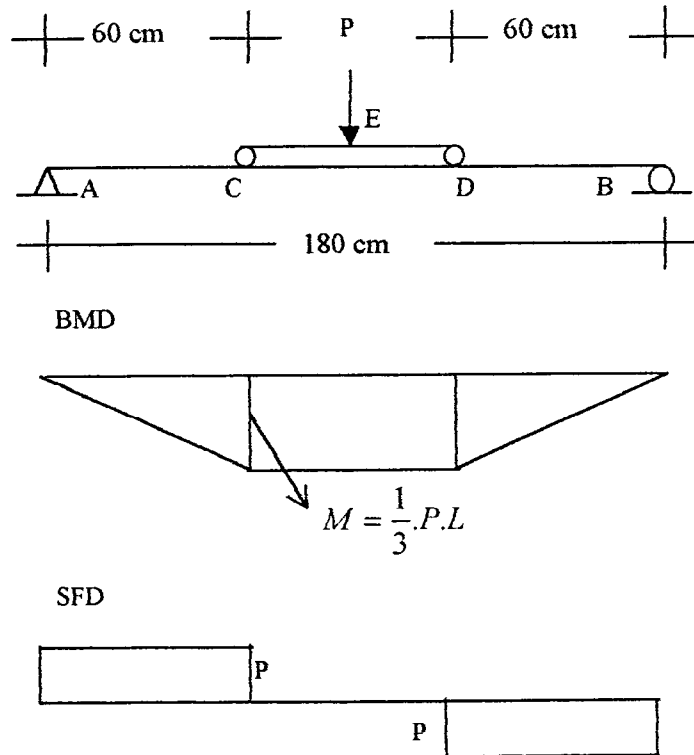
$$= 9706,67 + 1333,33 + 240$$

$$= 11280 \text{ cm}^4$$

## Lampiran 1

### ◆ Tipe Pembebanan

Tipe pembebanan yang dipakai pada penelitian adalah one-third point loading, seperti tampak pada gambar berikut.



Tipe pembebanan tersebut membagi beban di titik  $E$  sama rata ke titik  $C$

dan  $D$ , sehingga  $P_C = P_D = \frac{1}{2} \cdot P_E$

### ◆ Tegangan Lentur

Untuk nilai :  $P_E = 7 \text{ ton}$

$$P_C = P_D = \frac{1}{2} \cdot P_E = 3,5 \text{ ton}$$

maka,

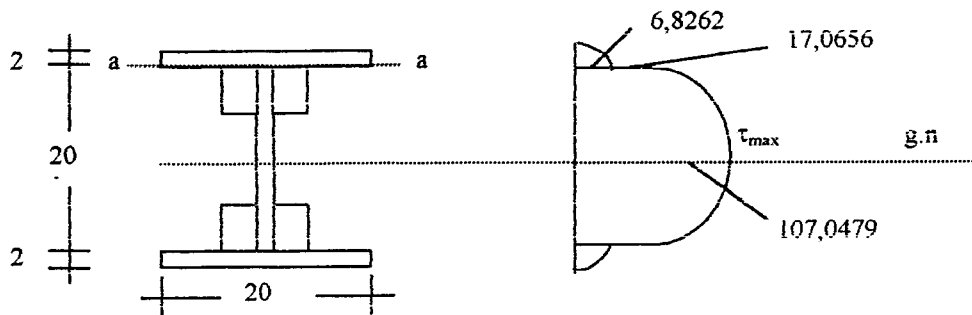
$$M = \frac{1}{3} \cdot P \cdot L = \frac{1}{3} \cdot 3,5 \cdot 180 = 210 \text{ t.cm}$$

## Lampiran 1

sehingga,

$$\sigma_{II} = \frac{M \cdot \bar{y}}{I_{total}} = \frac{210 \cdot 10^3 \cdot 12}{11280} = 23,4043 \text{ kg/cm}^2$$

### ◆ Tegangan Geser



Rumus :

$$\tau = \frac{V \cdot S}{b \cdot I_{total}}$$

dimana :  $V$  = reaksi di tumpuan

$S$  = statis momen daerah geser yang ditinjau

$b$  = lebar daerah geser yang ditinjau

$I_{total}$  = inersia total penampang balok

Untuk nilai :  $V = P = 3,5 \text{ ton}$

$$S_{sayap} = (2 \cdot 20) \cdot 11 = 440 \text{ cm}^3$$

$$S_{badan} = (5 \cdot 6) \cdot 7,5 + (5 \cdot 2) \cdot 2,5 = 250 \text{ cm}^3$$

$$b = 2 \text{ cm}$$

$$I = 11280 \text{ cm}^4$$

## Lampiran 1

maka,

- ❖ Untuk daerah sedikit di sebelah atas a-a,

$$\tau = \frac{3,5 \cdot 10^3 \cdot 440}{20.11280} = 6,8262 \text{ kg/cm}^2$$

- ❖ Untuk daerah sedikit di sebelah bawah a-a,

$$\tau = \frac{3,5 \cdot 10^3 \cdot 440}{8.11280} = 17,0656 \text{ kg/cm}^2$$

- ❖ Untuk daerah garis netral,

$$\tau = \frac{3,5 \cdot 10^3 \cdot (440 + 250)}{2.11280} = 107,0479 \text{ kg/cm}^2$$

### ◆ Menghitung banyaknya paku

$$\text{Gaya geser} \Leftrightarrow \tau \cdot b = \frac{P \cdot S}{I} = \frac{3,5 \cdot 10^3 \cdot 440}{11280} = 136,5248 \text{ kg}$$

$$L = \left( \frac{1}{3} \ell \right) (\tau \cdot b) = \left( \frac{1}{3} \cdot 180 \right) (136,5248) = 8191,488 \text{ kg}$$

Dipakai paku 2" BWG 12 dengan  $d=2,8 \text{ mm}$ ,  $T_k = 150 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\bar{P} = 41,16$

kg, faktor aman =  $S_f=3$ , maka:

$$P_{\max} = \bar{P} \cdot S_f = 41,16 \cdot 3 = 123,48 \text{ kg}$$

sehingga,

$$\text{jumlah paku} = n = \frac{8191,488}{123,48} = 66,34 \approx 67 \text{ buah paku}$$

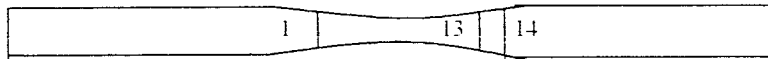
∴ Jadi banyaknya paku yang dibutuhkan untuk sepertiga bentang adalah

67 buah paku.

Lampiran 2

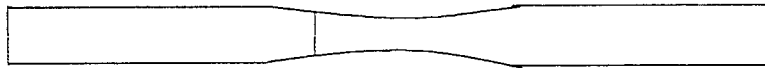
Uji Tarik Kayu

Tampak Samping



T

Tampak Depan



L

No	Sampel I		Sampel II		Sampel III	
	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)
1	2,87	1,89	2,55	1,86	2,62	1,87
2	2,77	1,89	2,55	1,86	2,55	1,86
3	2,64	1,81	2,55	1,80	2,34	1,75
4	2,37	1,65	2,45	1,70	2,21	1,58
5	2,15	1,41	2,06	1,39	2,04	1,44
6	1,96	1,23	1,81	1,17	1,86	1,34
7	1,89	1,13	1,73	1,08	1,75	1,27
8	1,89	1,01	1,76	1,05	1,73	1,25
9	1,96	1,14	1,81	1,08	1,86	1,32
10	2,13	1,25	2,02	1,29	2,10	1,41
11	2,51	1,61	2,32	1,55	2,34	1,55
12	2,82	1,88	2,56	1,78	2,66	1,80
13	2,88	1,88	2,56	1,84	2,75	1,88
14	2,93	1,88	2,56	1,87	2,80	1,89

## Lampiran 2

Daerah yang diarsir merupakan daerah dimana terjadi patah tarik.

### Sampel I:

$$P_1 = 1570 \text{ kg}$$

$$A_1 = \frac{51.7051}{14} = 3.6932 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{A_1} = \frac{1570}{3.6932} = 425.11 \text{ kg/cm}^2$$

### Sampel II:

$$P_2 = 1610 \text{ kg}$$

$$A_2 = \frac{25.4051}{9} = 2.8228 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{1610}{2.8228} = 570.3579 \text{ kg/cm}^2$$

### Sampel III:

$$P_3 = 1900 \text{ kg}$$

$$A_3 = \frac{37.0319}{11} = 3.3665 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{1900}{3.3665} = 564.3784 \text{ kg/cm}^2$$

Kuat tarik rata yang mampu ditahan oleh kayu adalah sebesar:

$$\sigma = \frac{425.1076 + 570.3579 + 564.3784}{3}$$

$$\sigma = 519.9706 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel Hasil Sampel Uji  $a/h=0,5$ 

Beban (t)	Lendutan ( $\times 10^{-3}$ cm)	Momen (t.cm)	Kelengkungan (1/cm)
0.00	0	0	0.000000
0.25	49	15	0.000001
0.50	132	30	0.000003
0.75	192	45	0.000006
1.00	231	60	0.000007
1.25	294	75	0.000014
1.50	354	90	0.000022
1.75	384	105	0.000029
2.00	460	120	0.000042
2.25	575	135	0.000062
2.50	659	150	0.000083
2.75	716	165	0.000087
3.00	789	180	0.000102
3.25	899	195	0.000124
3.50	996	210	0.000148
3.75	1087	225	0.000166
4.00	1181	240	0.000184
4.25	1311	255	0.000209
4.50	1403	270	0.000237
4.75	1501	285	0.000250
5.00	1638	300	0.000282
5.25	1777	315	0.000288
5.50	1935	330	0.000341
5.75	2064	345	0.000360
6.00	2201	360	0.000381
6.25	2313	375	0.000400
6.50	2453	390	0.000424
6.75	2622	405	0.000457
7.00	2803	420	0.000491
7.25	3005	435	0.000510
7.00	3250	420	0.000550
7.00	3446	420	0.000584
7.00	3617	420	0.000601
7.00	3743	420	0.000622
7.00	3835	420	0.000650
7.00	4001	420	0.000654
7.00	4115	420	0.000676
7.00	4615	420	0.001009
7.00	5065	420	0.001231
7.00	5565	420	0.001564
7.00	6115	420	0.002009
7.00	6715	420	0.002564
7.00	7415	420	0.003342

Tabel Hasil Sampel Uji  $a/h=1$ 

Beban (t)	Lendutan ( $\times 10^{-3}$ cm)	Momen (t.cm)	Kelengkungan (1/cm)
0.00	0	0	0.000000
0.25	102	15	0.000001
0.50	152	30	0.000006
0.75	234	45	0.000011
1.00	340	60	0.000016
1.25	430	75	0.000026
1.50	492	90	0.000034
1.75	556	105	0.000042
2.00	656	120	0.000059
2.25	757	135	0.000076
2.50	825	150	0.000086
2.75	929	165	0.000103
3.00	1034	180	0.000130
3.25	1163	195	0.000151
3.50	1269	210	0.000170
3.75	1374	225	0.000192
4.00	1482	240	0.000212
4.25	1592	255	0.000233
4.50	1701	270	0.000256
4.75	1800	285	0.000272
5.00	1937	300	0.000300
5.25	2201	315	0.000331
5.50	2276	330	0.000368
5.75	2395	345	0.000392
6.00	2515	360	0.000411
6.25	2886	375	0.000500
6.50	3232	390	0.000608
6.75	3467	405	0.000794
7.00	3719	420	0.000888
6.25	3887	375	0.000933
6.25	4017	375	0.000978
6.25	4217	375	0.001028
6.25	4417	375	0.001058
6.25	4437	375	0.001093
6.25	4572	375	0.001122
6.25	4772	375	0.001233
6.25	4972	375	0.001344
6.25	5172	375	0.001456
6.25	5472	375	0.001678
6.25	5772	375	0.001900
6.25	6422	375	0.002456
6.25	7052	375	0.003189



Tabel Hasil Sampel Uji  $a/h=1,5$ 

Beban (t)	Lendutan ( $\times 10^{-3}$ cm)	Momen (t.cm)	Kelengkungan (1/cm)
0.00	0	0	0.000000
0.25	186	15	0.000003
0.50	256	30	0.000009
0.75	310	45	0.000012
1.00	370	60	0.000021
1.25	536	75	0.000047
1.50	585	90	0.000056
1.75	654	105	0.000063
2.00	715	120	0.000077
2.25	845	135	0.000097
2.50	935	150	0.000112
2.75	1045	165	0.000133
3.00	1135	180	0.000148
3.25	1242	195	0.000168
3.50	1352	210	0.000190
3.75	1424	225	0.000202
4.00	1555	240	0.000226
4.25	1718	255	0.000256
4.50	1844	270	0.000282
4.75	1976	285	0.000322
5.00	2100	300	0.000352
5.25	2282	315	0.000390
5.50	2417	330	0.000419
5.75	2518	345	0.000443
6.00	2724	360	0.000486
6.25	3011	375	0.000571
6.50	3301	390	0.000602
6.75	3694	405	0.000750
5.75	3900	345	0.000874
6.00	4054	360	0.000994
6.00	4204	360	0.001106
6.00	4354	360	0.001217
6.00	4654	360	0.001439
6.00	5054	360	0.001661
6.00	5454	360	0.001883
6.00	5954	360	0.002217
6.00	6454	360	0.002661

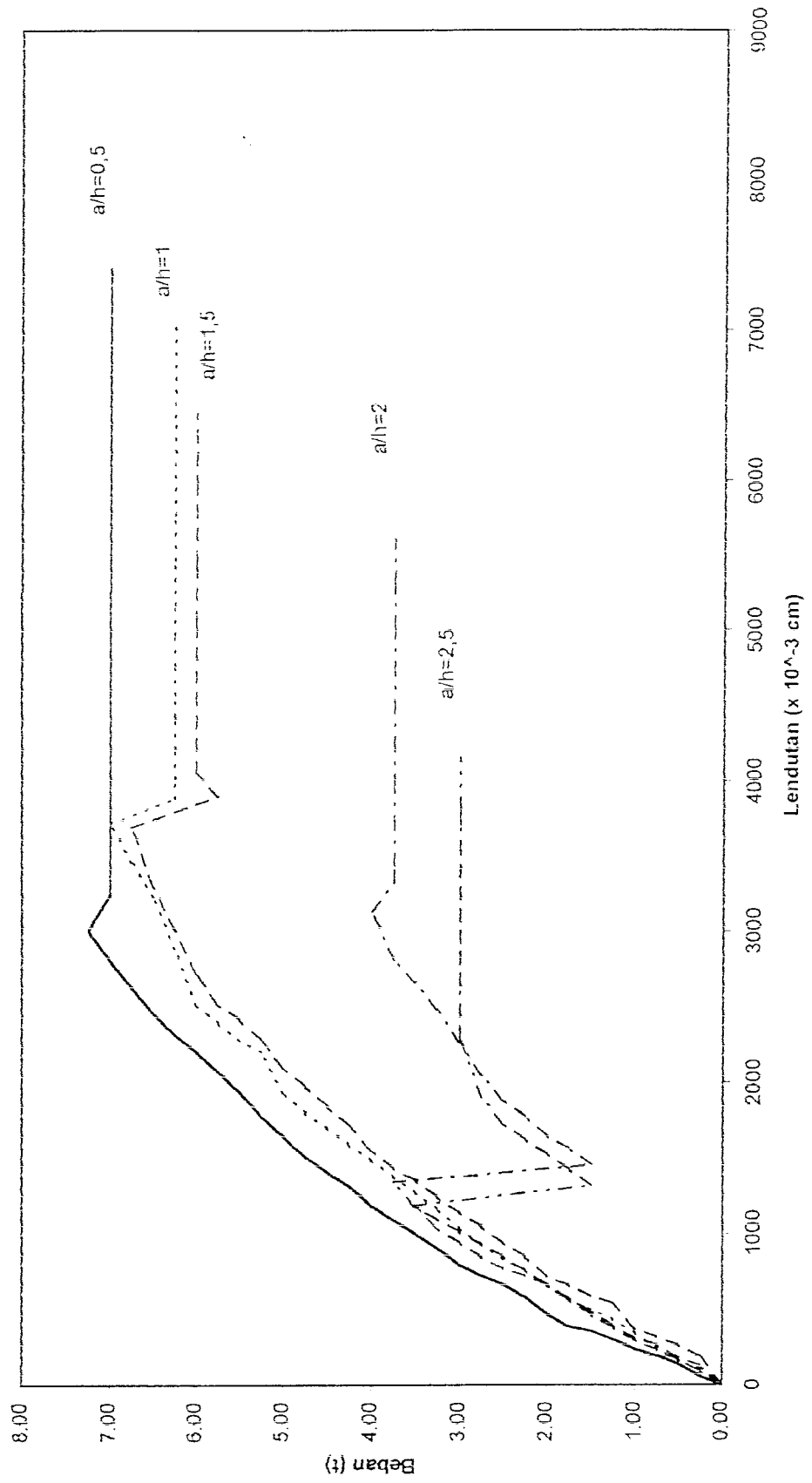
Tabel Hasil Sampel Uji  $a/h=2$ 

Beban (t)	Lendutan ( $\times 10^{-3}$ cm)	Momen (t.cm)	Kelengkungan (1/cm)
0.00	0	0	0.000000
0.25	124	15	0.000002
0.50	175	30	0.000012
0.75	260	45	0.000020
1.00	304	60	0.000027
1.25	394	75	0.000047
1.50	482	90	0.000052
1.75	572	105	0.000067
2.00	660	120	0.000076
2.25	753	135	0.000091
2.50	844	150	0.000106
2.75	925	165	0.000114
3.00	1010	180	0.000121
3.25	1092	195	0.000134
3.50	1180	210	0.000161
3.75	1340	225	0.000191
1.50	1450	90	0.000222
1.75	1566	105	0.000248
2.00	1645	120	0.000263
2.25	1777	135	0.000296
2.50	1884	150	0.000321
2.75	2050	165	0.000336
3.00	2263	180	0.000413
3.25	2482	195	0.000473
3.50	2661	210	0.000544
3.75	2811	225	0.000694
4.00	3137	240	0.000936
3.75	3325	225	0.001092
3.75	3440	225	0.001156
3.75	3685	225	0.001252
3.75	3960	225	0.001341
3.75	4210	225	0.001452
3.75	4460	225	0.001563
3.75	4710	225	0.001674
3.75	5010	225	0.001897
3.75	5310	225	0.002119
3.75	5610	225	0.002341

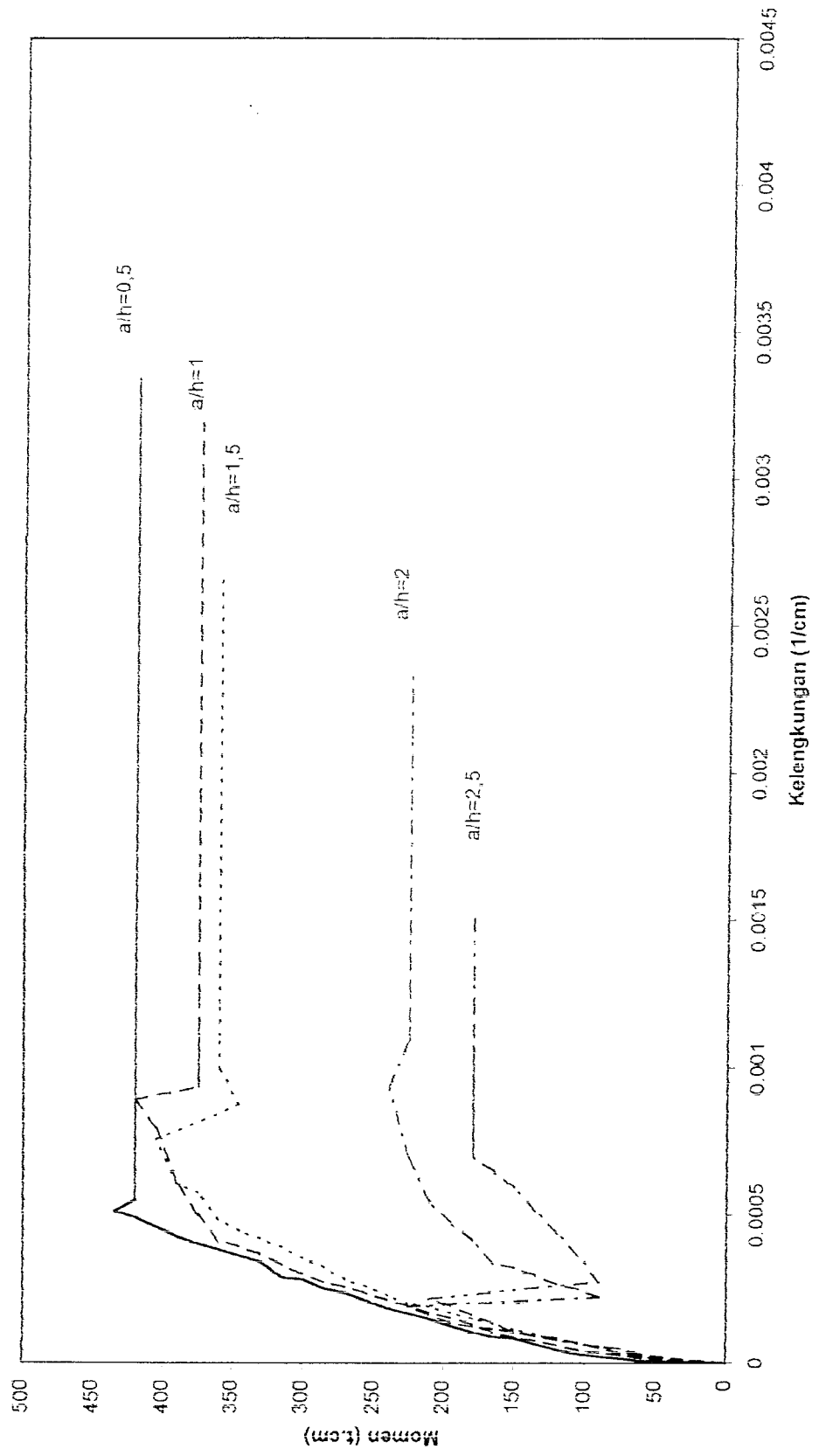
Tabel Hasil Sampel Uji  $a/h=2,5$ 

Beban (t)	Lendutan ( $\times 10^3$ cm)	Momen (t.cm)	Kelengkungan (1/cm)
0.00	0	0	0.000000
0.25	85	15	0.000006
0.50	165	30	0.000010
0.75	229	45	0.000017
1.00	288	60	0.000022
1.25	377	75	0.000033
1.50	460	90	0.000048
1.75	558	105	0.000067
2.00	657	120	0.000084
2.25	720	135	0.000090
2.50	768	150	0.000104
2.75	839	165	0.000133
3.00	940	180	0.000161
3.25	1036	195	0.000193
3.50	1185	210	0.000217
1.50	1315	90	0.000273
1.75	1421	105	0.000363
2.00	1525	120	0.000437
2.25	1622	135	0.000516
2.50	1727	150	0.000593
2.75	1899	165	0.000648
3.00	2293	180	0.000696
3.00	2434	180	0.000747
3.00	2638	180	0.000789
3.00	2780	180	0.000837
3.00	2922	180	0.000888
3.00	3064	180	0.000933
3.00	3210	180	0.000986
3.00	3361	180	0.001030
3.00	3520	180	0.001102
3.00	3710	180	0.001191
3.00	3810	180	0.001297
3.00	4160	180	0.001519

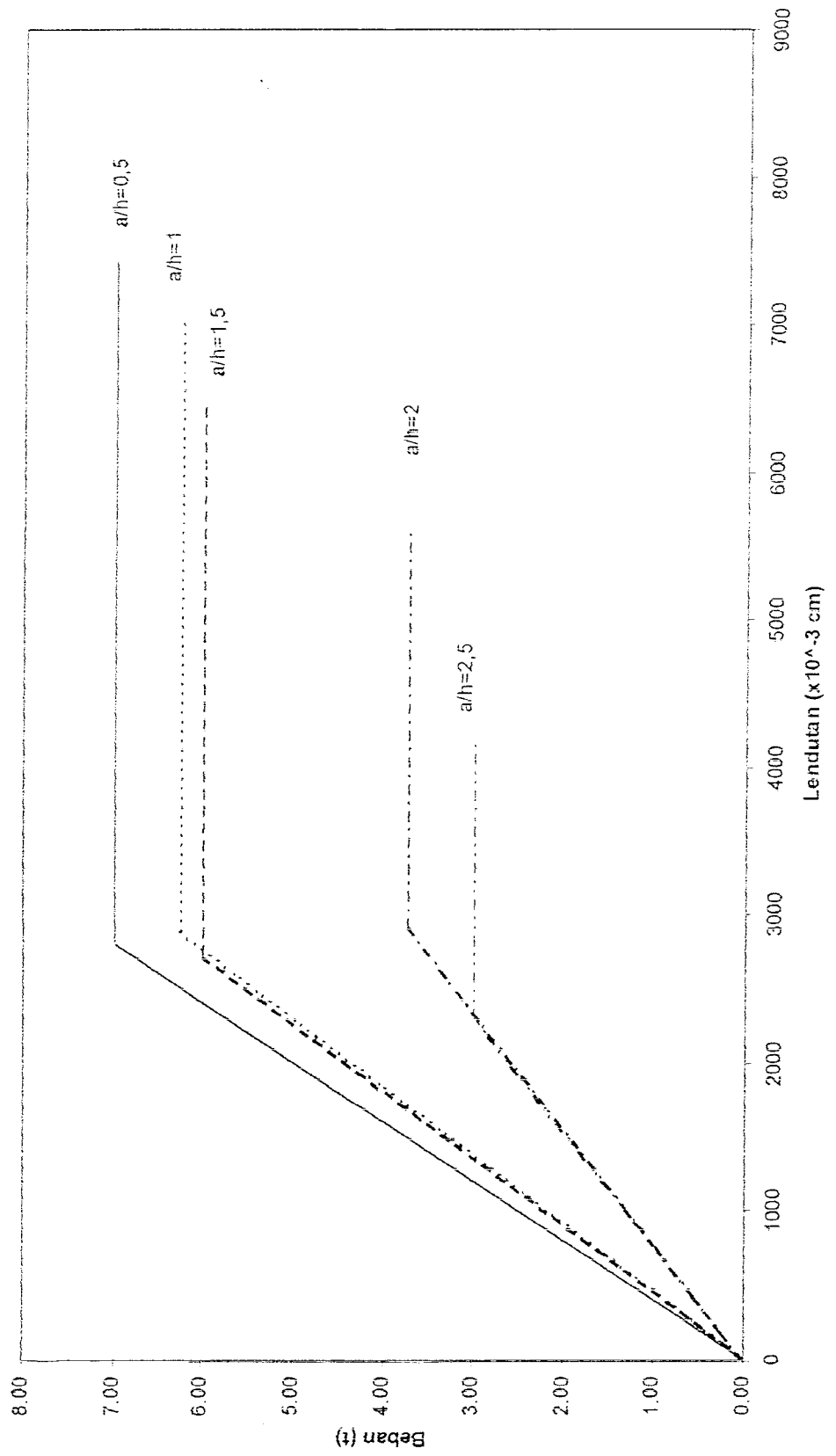
Grafik Beban-Lendutan



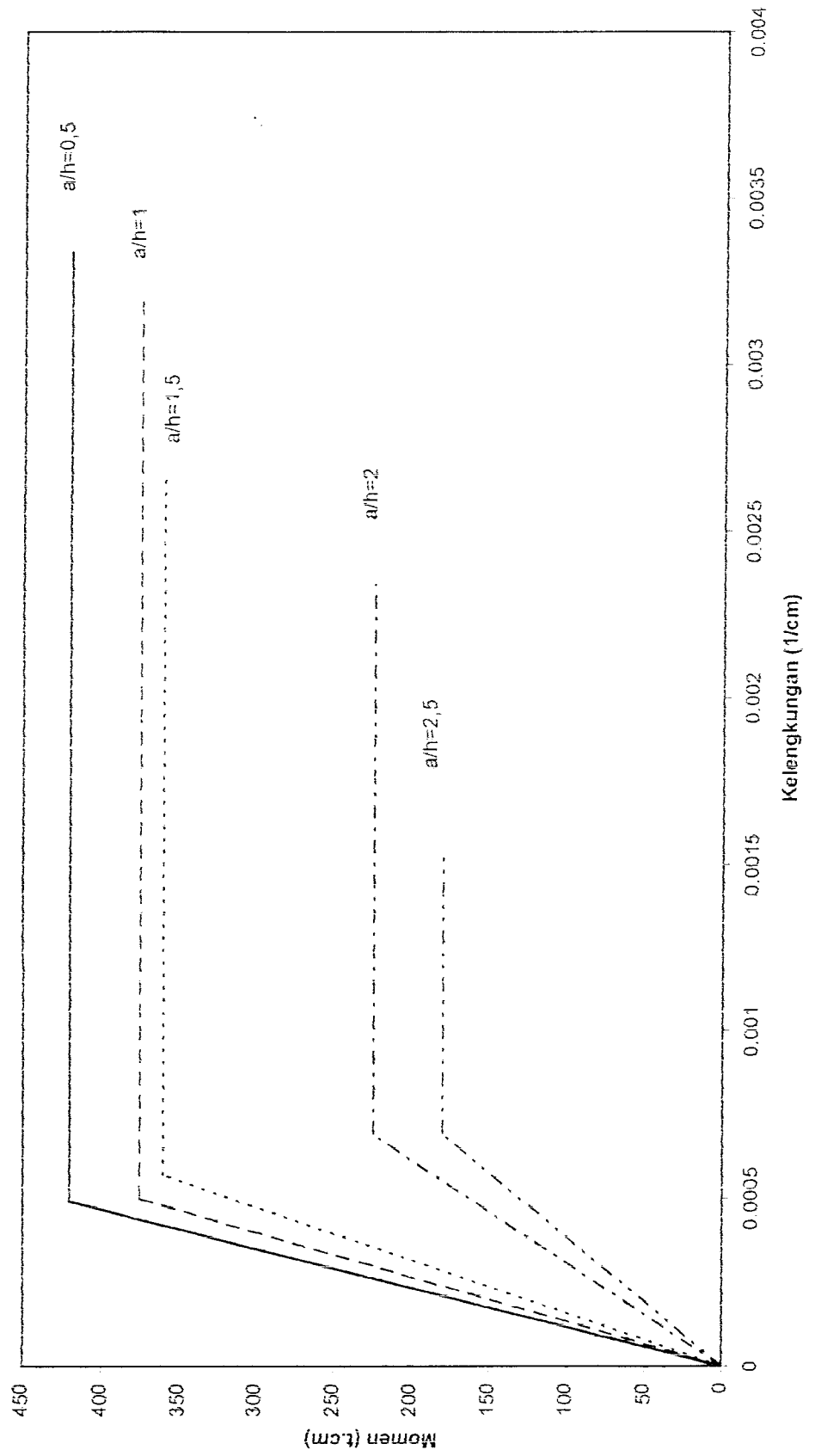
Grafik Momen-Kelengkungan



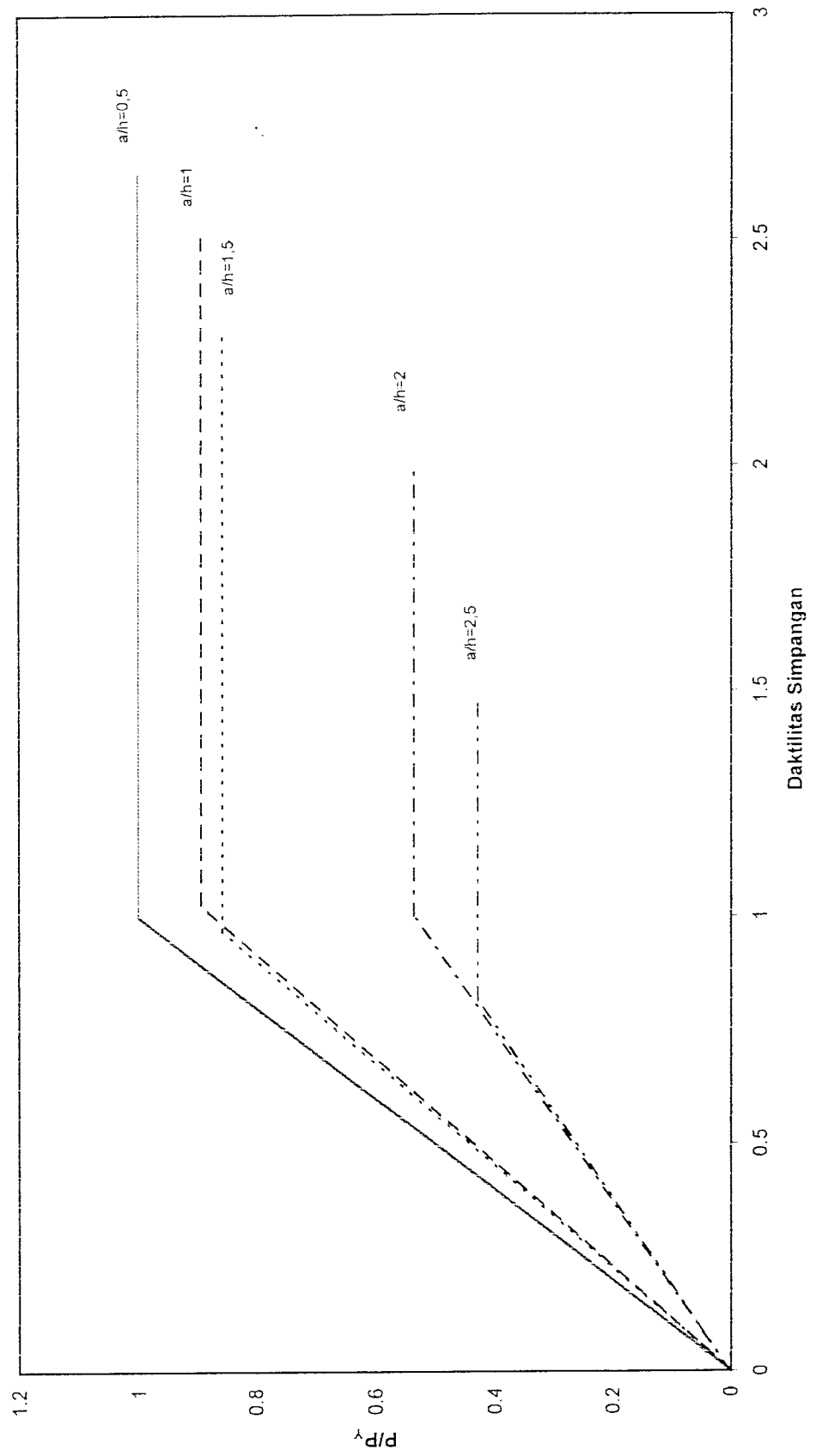
Grafik Idealisasi Beban-lendutan



Grafik Idealisir Momen-Kelengkungan

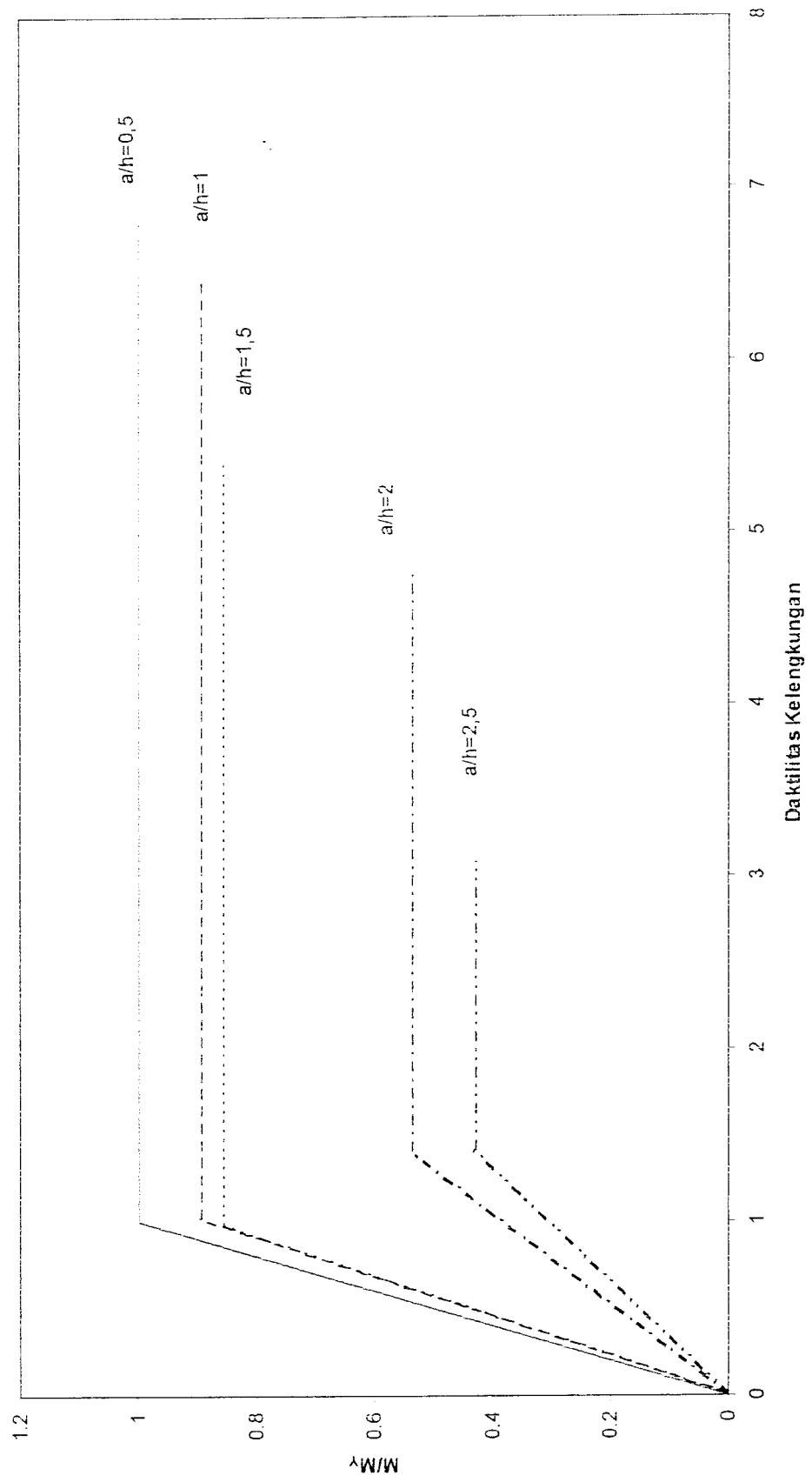


Grafik Non Dimensional Beban-Daktilitas Simpangan

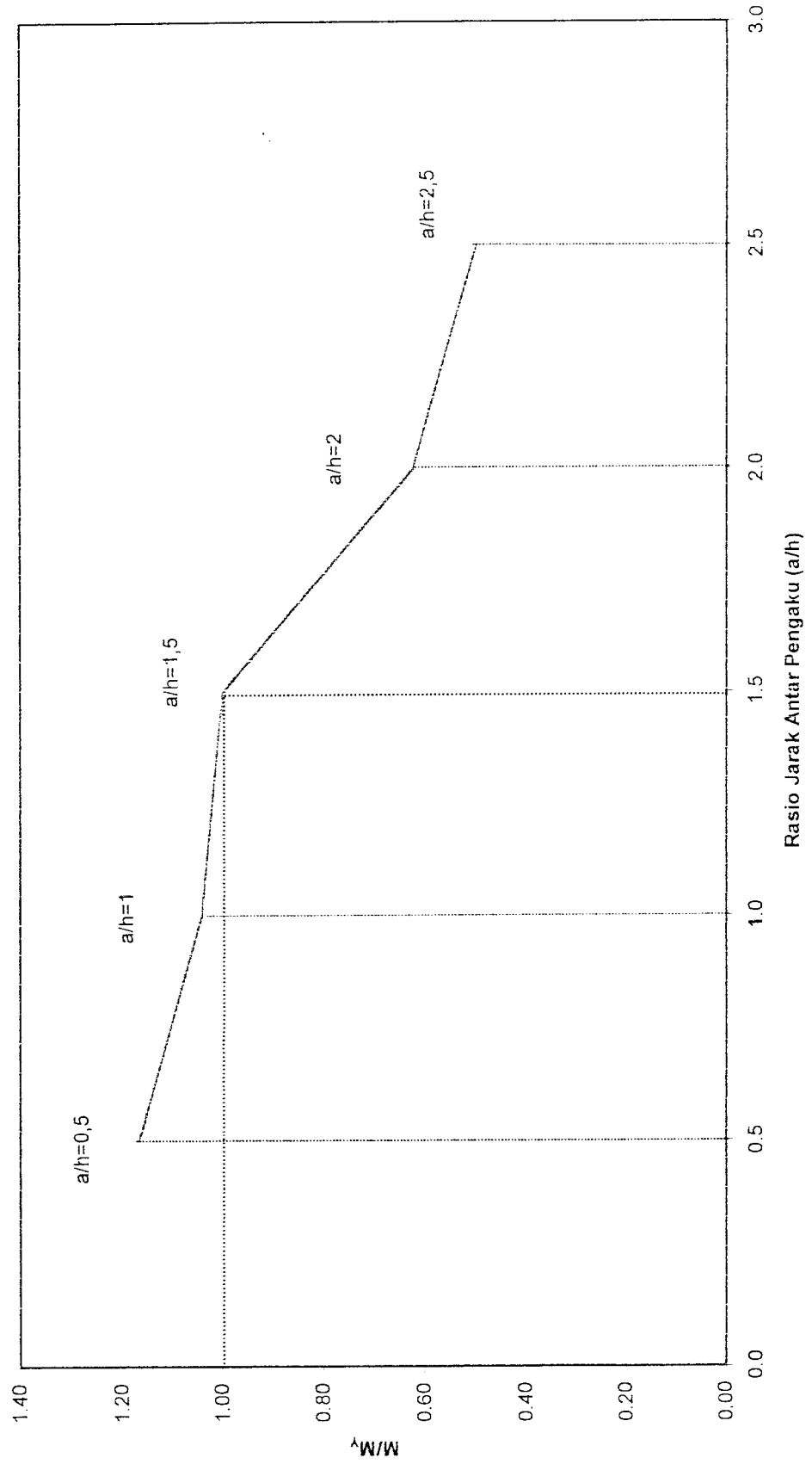




Grafik Non Dimensional Momen-DaktalitasKelengkungan



Grafik Non Dimensional Momen-Rasio Jarak Antar Pengaku

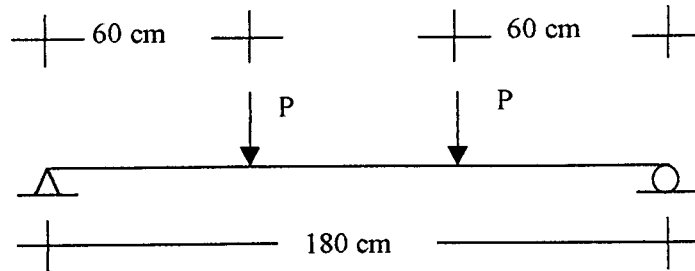


**Tabel Hasil Perhitungan Secara Teoritis**

<b>P (t)</b>	<b>Lendutan (x10<sup>-3</sup> cm)</b>	<b>Momen (t cm)</b>	<b>Kelengkungan (1/cm)</b>
0.00	0	0	0.000000
0.25	76.46	15	0.000022
0.50	152.93	30	0.000044
0.75	229.39	45	0.000066
1.00	305.85	60	0.000089
1.25	382.31	75	0.000111
1.50	458.78	90	0.000133
1.75	535.24	105	0.000155
2.00	611.70	120	0.000177
2.25	688.16	135	0.000199
2.50	764.63	150	0.000222
2.75	841.09	165	0.000244
3.00	917.55	180	0.000266
3.25	994.02	195	0.000288
3.50	1070.48	210	0.000310
3.75	1146.94	225	0.000332
4.00	1223.40	240	0.000355
4.25	1299.87	255	0.000377
4.50	1376.33	270	0.000399
4.75	1452.79	285	0.000421
5.00	1529.26	300	0.000443
5.25	1605.72	315	0.000465
5.50	1682.18	330	0.000488
5.75	1758.64	345	0.000510
6.00	1835.11	360	0.000532
6.25	1911.57	375	0.000554
6.50	1988.03	390	0.000576
6.75	2064.49	405	0.000598
7.00	2140.96	420	0.000621

## Lampiran 16

### Perhitungan Momen-Kelengkungan secara Teoritis



#### ➤ Perhitungan Lendutan

Rumus yang digunakan,

$$\Delta = \frac{23.P.L^3}{648.E.I}$$

untuk nilai : **P = 6 ton**

$$E = 60 \text{ t/cm}^2$$

$$I = 11280 \text{ cm}^4$$

maka,

$$\Delta = \frac{23.6.180^3}{648.60.11280} = 1,8351 \text{ cm}$$

#### ➤ Perhitungan Momen

Perhitungan momen pada tabel lampiran 15 menggunakan rumus :

$$M = \frac{1}{3} P.L$$

untuk nilai: **P = 6 ton**

maka,

$$M = \frac{6.180}{3} = 360 \text{ t.cm}$$

## Lampiran 16

### ➤ Perhitungan Kelengkungan

Perhitungan kelengkungan pada tabel lampiran 15 menggunakan rumus :

$$\phi = \frac{M}{E.I}$$

untuk nilai: **M = 360 t.cm**

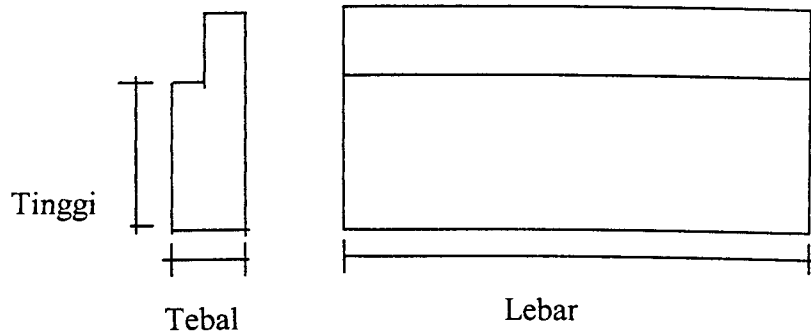
$$\mathbf{E = 60 t/cm^2}$$

$$\mathbf{I = 11280 cm^2}$$

maka,

$$\phi = \frac{360}{60.11280} = 0,000532 \text{ 1/cm}$$

### Uji Geser Kayu



Sampel I			Sampel II		
Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Tebal (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Tebal (cm)
10.45	3.84	1.88	10.29	3.97	1.93

#### Sampel I

$$P_{\max} = 4030 \text{ kg}$$

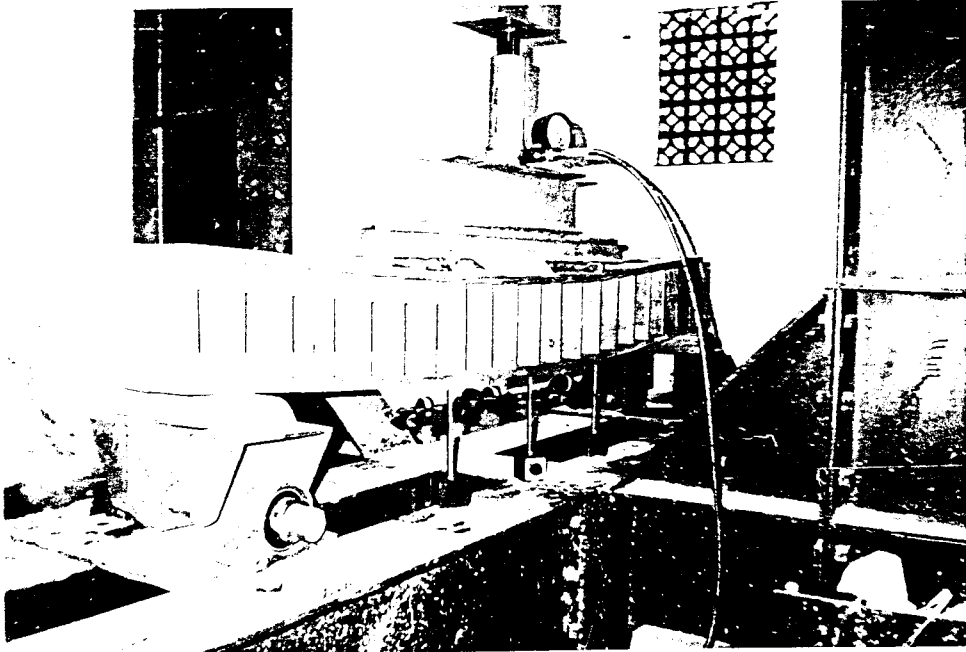
$$\tau_{\max} = \frac{P_{\max}}{A} = \frac{4030}{10.45 \times 3.84} = 100.429 \text{ kg/cm}^2$$

#### Sampel II

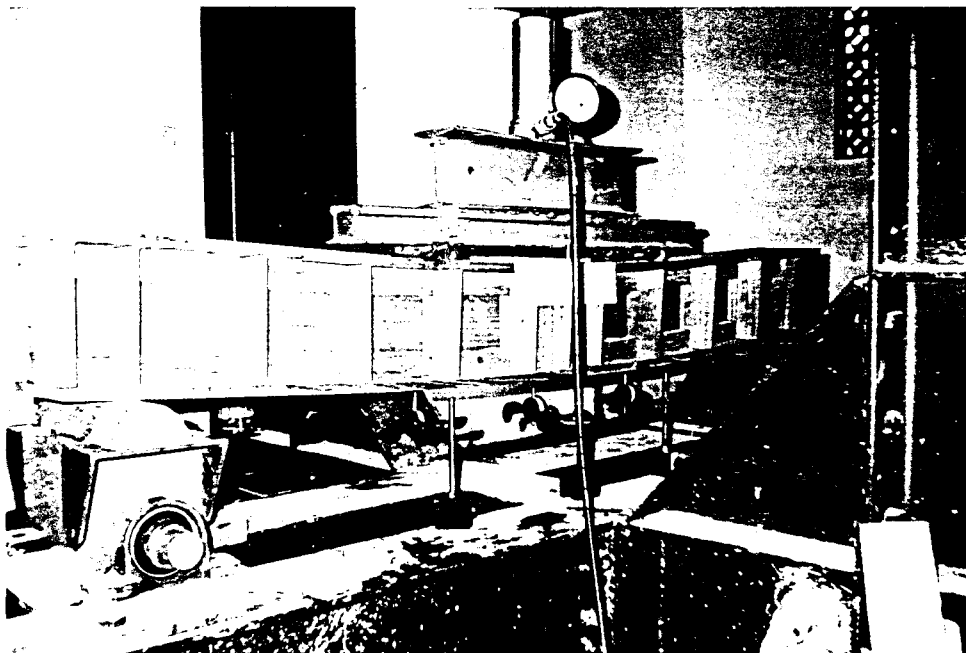
$$P_{\max} = 3980 \text{ kg}$$

$$\tau_{\max} = \frac{P_{\max}}{A} = \frac{3980}{(10.39 \times 3.97)} = 96.488 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{\max \text{ rata-rata}} = \frac{(100.429 + 96.488)}{2} = 98.459 \text{ kg/cm}^2$$



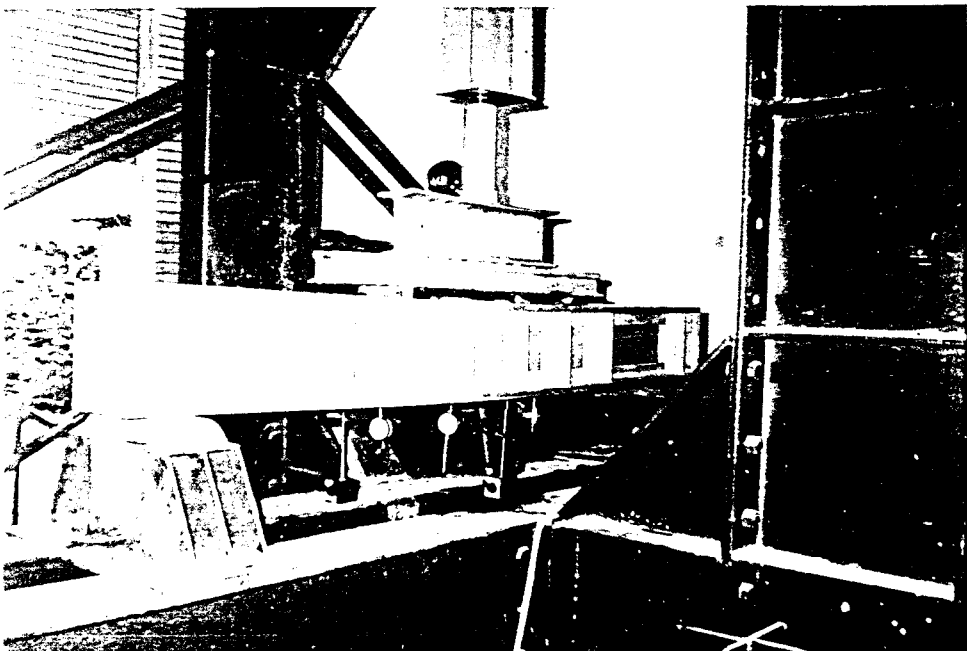
Gambar Pelaksanaan Pengujian Kuat Lentur Balok dengan  $a/h = 0.5$



Gambar Pelaksanaan Pengujian Kuat Lentur Balok dengan  $a/h = 1.0$

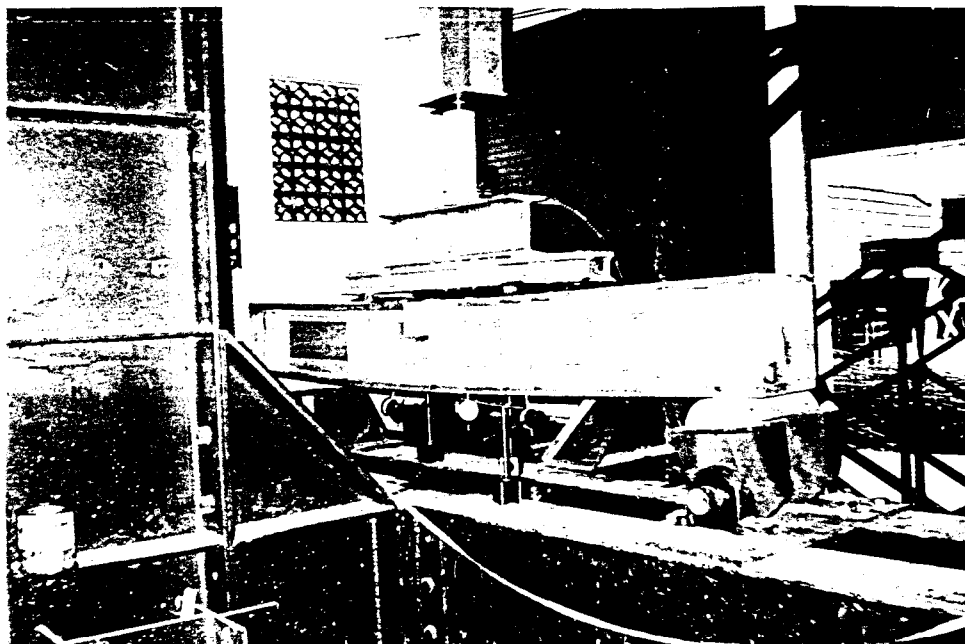


Gambar Pelaksanaan Pengujian Kuat Lentur Balok dengan  $a/h = 1.5$



Gambar Pelaksanaan Pengujian Kuat Lentur Balok dengan  $a/h = 2.0$





Gambar Pelaksanaan Pengujian Kuat Lentur Balok dengan  $a/h = 2.5$