

PERPUSTAKAAN FTSP UII

HADIAH/BELI

TGL. TERIMA : 28 03 2003  
NO. JUDUL : 000388  
NO. INV. : 512 0000388001  
NO. INDIK. :

**TUGAS AKHIR  
STUDI EKSPERIMENTAL**

**PERILAKU LENTUR GELAGAR PLAT PENAMPANG  
KOTAK DENGAN VARIASI JARAK PENGAKU**

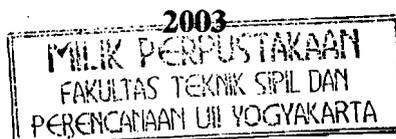


Disusun oleh :

Nama : EMI SUSANTI  
No. Mhs : 98 511 003

Nama : SETYAWATI  
No. Mhs : 98 511 040

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
JOGJAKARTA**



**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**PERILAKU LENTUR GELAGAR PLAT PENAMPANG  
KOTAK DENGAN VARIASI JARAK PENGAKU**

**Diajukan Sebagai Persyaratan Memperoleh  
Derajat Sarjana Teknik Sipil Pada Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia  
Jogjakarta**

**Disusun oleh :**

**Nama : Emi Susanti**

**No. Mhs : 98 511 003**

**Nama : Setyawati**

**No. Mhs : 98 511 040**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

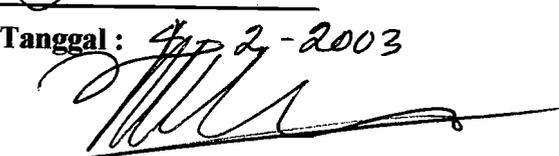
**Ir. H. Susastrawan, MS**

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Fatkhurrohman NS, MT**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Tanggal : 27/2-2003**

  
**Tanggal : 27/02-2003**

---

---

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Tugas Akhir ini kami persembahkan untuk :*

- Almamater tercinta Universitas Islam Indonesia*
- Teman-teman Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia*

---

*Semoga tugas akhir ini bermanfaat dikemudian hari*

---

---

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu 'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Puji syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, khususnya kepada kami sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa sholawat serta salam kami panjatkan kehadiran Rasulullah SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas akhir dengan judul **PERILAKU LENTUR GELAGAR PLAT PENAMPANG KOTAK DENGAN VARIASI JARAK PENGAKU** diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari sumbangan pemikiran dari berbagai pihak yang sangat membantu, sehingga penulis dapat menyelesaikan semua hambatan yang terjadi selama penyusunan hingga selesainya tugas akhir ini. Maka pada kesempatan ini dengan penuh hormat dan kerendahan hati penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, yaitu:

- 
1. Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
  2. Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan juga selaku Kepala Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan ide-ide dasar dan bimbingannya hingga selesainya tugas akhir ini.
  3. Dr. Ir. H. Luthfi Hasan, MS, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.
  4. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
  5. Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
  6. Staf Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
  7. Ibu dan Ayah tercinta yang telah membimbing sejak kecil hingga kini dan selalu memberi dorongan baik moral maupun material selama pelaksanaan pendidikan, penelitian dan penulisan tugas akhir ini.
  8. Teman-teman dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu kami dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan ilmu, kemampuan dan pengalaman kami dalam penelitian dan penulisan. Untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat kami harapkan guna perbaikan dan pengembangan selanjutnya.

---

Tidak ada yang dapat kami berikan selain ucapan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan semoga dapat diterima sebagai amal baik disisi Allah SWT.

Akhir kata, penyusun berharap semoga tugas akhir ini bermanfaat dan memberikan tambahan ilmu bagi kita semua. Semoga Allah SWT meridhoi kita semua, amin.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Jogjakarta, Desember 2002

Penulis

---

---

## DAFTAR ISI

	Hal
<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b>	
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR SIMBOL.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>INTISARI.....</b>	<b>xv</b>
<hr/>	
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Lokasi Penelitian.....	4

---

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
-------------------------------------	----------

---

<b>BAB III LANDASAN TEORI.....</b>	<b>8</b>
3.1 Umum.....	8
3.1.1 Gelagar Plat.....	8
3.1.2 Stabilitas Plat.....	9
3.1.3 Balok Tekuk Lokal.....	10
3.1.4 Balok lentur.....	12
3.2 Tekuk Vertikal Pada Sayap.....	14
3.3 Tekuk Pada Bidang Badan.....	17
3.3.1 Tekuk Pada Badan Akibat Lentur.....	17
3.3.2 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni.....	18
3.3.3 Tekuk Elastis Pada Plat Sayap.....	21
3.4 Kekuatan Lentur batas Pada Gelagar.....	23
3.5 Kekuatan Geser Nominal-Termasuk Aksi Medan Tarik.....	25
3.6 Hubungan Momen-Kelengkungan.....	26
3.7 Hubungan Beban-Lendutan.....	31
<b>BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Bahan Penelitian.....	33
4.2 Model Benda Uji.....	33
4.3 Peralatan Penelitian.....	33
4.4 Benda Uji.....	37

4.5	Pembuatan Benda Uji.....	37
4.6	Jumlah Benda Uji.....	38
4.7	Pengujian Benda Uji.....	39
4.7.1	Pengujian Kuat Lentur.....	3.9
4.7.2	Pengujian Kuat Tarik.....	40
<b>BAB V</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
5.1	Hasil Penelitian.....	41
5.1.1	Kualitas Plat Baja.....	41
5.1.2	Hubungan Beban-Lendutan.....	41
1.	Hubungan Beban-Lendutan Teoritis.....	41
2.	Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian.....	42
3.	Grafik Hubungan Beban-Lendutan.....	43
4.	Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan.....	44
5.1.3	Hubungan Momen-Kelengkungan.....	45
1.	Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis.....	45
2.	Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Penelitian.....	45
3.	Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan.....	46
5.1.4	Hubungan Aspect Rasio ( $a/h$ ) Dengan Koefisien Tekuk ( $k$ ).....	47
1.	Hubungan ( $a/h$ ) Dengan Koefisien Tekuk ( $k$ ) pada sayap dan badan.....	47

---

---

## 2. Analisa Data Hubungan ( $a/h$ ) Dengan

Tegangan Kritis Pada Sayap Dan Badan.....	48
5.1.5 Analisa Kerusakan Pada Benda Uji.....	48
5.2 Pembahasan.....	49
5.2.1 Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan.....	50
5.2.2 Daktilitas Simpangan Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan.....	51
5.2.3 Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Momen-Kelengkungan.....	52
5.2.4 Daktilitas Lengkung Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Momen-Kelengkungan.....	53
5.2.5 Kuat Geser Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Aspect Rasio ( $a/h$ ) Dengan Koefisien Tekuk ( $k$ ).....	54

---

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**..... 56

6.1 Kesimpulan.....	56
6.2 Saran.....	57

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

---

---

## DAFTAR SIMBOL

$a$	=	Jarak antar pengaku
$A_f$	=	Luas bruto sebuah sayap
$A_w$	=	Luas badan
$b$	=	Lebar sayap
$C_v$	=	$\tau_{cr}/\tau_y$ = Stabilitas elastis
$d$	=	Tinggi keseluruhan penampang baja
$E$	=	Modulus elastisitas tarik tekan
$f_b$	=	Tegangan lentur beban layanan
$f_c$	=	Tegangan tekan
$F_{cr}$	=	Tegangan kritis
$F_y$	=	Tegangan leleh
<hr/>		
$h$	=	Tinggi badan
$I$	=	Momen inersia tampang
$k$	=	Koefisien tekuk tekan plat
$L$	=	Panjang ; Bentangan
$m$	=	Jumlah setengah gelombang yang terjadi pada arah x pada saat tertekuk
$M$	=	Momen lentur
$M_{cr}$	=	Kekuatan momen tekuk puntir lateral elastis
$M_n$	=	Kekuatan momen nominal

---

$M_u$  = Momen layanan terfaktor

---

$M_y$  = Kekuatan momen nominal  $M_n$  bila serat terluar mencapai  $F_y$

$P$  = Beban aksial layanan

$P_y$  = Beban leleh

$r_y$  = Radius girasi

$S$  = Modulus penampang elastis

$S_x$  = Modulus penampang elastis menurut sumbu  $x$

$t_f$  = Tebal sayap

$t_w$  = Tebal badan

$V_n$  = Kekuatan geser nominal

$Y$  = Jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral

$y$  = Defleksi pada suatu lokasi  $z$  sepanjang batang

$z$  = Modulus plastis

$\epsilon_f$  = Regangan sayap

$\rho$  = Jari-jari kelengkungan

---

$\mu$  = Rasio Poisson = 0,03 ; daktilitas

$\sigma$  = Tegangan

$\Delta$  = Defleksi

$\Phi$  = Kelengkungan

$\tau$  = Tegangan geser

$\pi$  = 3,14

---

---

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 3.1	Penampang melintang gelagar box..... 9
Gambar 3.2	Koefisien tekuk lokal pada plat tipis penampang kotak..... 12
Gambar 3.3	Balok statis tertentu dengan beban terdistribusi merata..... 13
Gambar 3.4	Gaya sayap akibat lengkungan gelagar..... 14
Gambar 3.5	Pengaruh komponen gaya sayap yang tegak lurus plat sayap... 15
Gambar 3.6	Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni..... 17
Gambar 3.7	Dua keadaan dari jarak pengaku antara..... 19
Gambar 3.8	Kapasitas geser yang tersedia dengan menyertakan kekuatan purna tekuk..... 21
Gambar 3.9	Plat yang ditekan merata..... 22
Gambar 3.10	Koefisien tekuk elastis pada plat segi empat datar..... 22
Gambar 3.11	Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan..... 24
Gambar 3.12	Aksi medan tarik..... 25
Gambar 3.13	Deformasi sekmen balok dalam lenturan..... 27
Gambar 3.14	Momen-kelengkungan..... 29
Gambar 3.15	Grafik momen kelengkungan..... 31
Gambar 3.16	Lendutan balok..... 31

Gambar 3.17	Diagram momen.....	31
Gambar 3.18	Diagram geser.....	32
Gambar 3.19	Hubungan beban dan lendutan pada balok.....	32
Gambar 4.1	<i>Loading Frame</i> .....	34
Gambar 4.2	<i>Dial Gauge</i> .....	35
Gambar 4.3	<i>Hydraulic Jack</i> .....	36
Gambar 4.4	Dukungan sendi rol.....	36
Gambar 4.5	Model benda uji.....	37
Gambar 4.6	Perletakkan benda uji.....	40
Gambar 5.1	Grafik hubungan beban-lendutan hasil penelitian dan teoritis.....	43
Gambar 5.2	Grafik hubungan momen-kelengkungan hasil penelitian dan teoritis.....	46
Gambar 5.3	Hubungan koefisien tekuk ( $k$ ) dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) pada sayap.....	48
Gambar 5.4	Hubungan koefisien tekuk ( $k$ ) dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) pada badan.....	48

## DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 4.1 Variasi rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/t_w$ ).....	37
Tabel 5.1 Hasil uji tarik baja.....	41
Tabel 5.2 Hasil perhitungan beban-lendutan secara teoritis.....	42
Tabel 5.3 Perhitungan beban-lendutan hasil penelitian dengan $a/h = 0.48$ .....	42
Tabel 5.4 Kekuatan maksimum gelagar plat dengan berbagai variasi.....	43
Tabel 5.5 Analisa kekakuan dari data hubungan beban-lendutan.....	44
Tabel 5.6 Analisa daktilitas lendutan dari data hubungan beban-lendutan.....	44
Tabel 5.7 Perhitungan momen kelengkungan hasil penenelitian dengan $a/h = 0.48$ .....	46
Tabel 5.8 Analisa kekakuan dari data hubungan momen-kelengkungan.....	47
Tabel 5.9 Analisa daktilitas kelengkungan dari data hubungan momen-kelengkungan.....	47
Tabel 5.10 Analisa koefisien tekuk ( $k$ ) hubungan aspect rasio ( $a/h$ ) dan tegangan kritis ( $\tau_{cr}$ ) untuk sayap .....	49
Tabel 5.11 Analisa koefisien tekuk ( $k$ ) hubungan aspect rasio ( $a/h$ ) dan tegangan kritis ( $\tau_{cr}$ ) untuk badan .....	49

---

---

## DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1	Perhitungan Benda Uji.....58
Lampiran 2	Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 1 ( $a/h = 0.48$ ).....63
Lampiran 3	Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 2 ( $a/h = 1.00$ ).....65
Lampiran 4	Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 3 ( $a/h = 2.00$ ).....67

---

---

## INTISARI

---

Gelagar plat penampang kotak adalah elemen struktur lentur tersusun yang didesain dan difabrikasi untuk memenuhi kebutuhan profil yang tidak dapat dipenuhi oleh penampang giras biasa. Gelagar plat penampang kotak penampangnya terdiri dari sayap atas, sayap bawah, dan badan. Kedua sayap berfungsi menahan momen dan gaya tekan sebagai manifestasi dari momen yang terjadi sedangkan badan berfungsi menahan gaya geser dan sebagian momen serta menghubungkan kedua sayap agar bekerja sebagai satu kesatuan. Gelagar plat penampang kotak yang efisien kedua sayapnya diletakkan saling berjauhan sehingga menghasilkan gelagar plat dengan badan yang langsing. Hal ini menyebabkan gelagar plat rawan akan bahaya tekuk. Untuk menghindari tekuk pada badan diperlukan pengaku antara maupun pengaku landasan sehingga dapat dihasilkan kekuatan puna tekuk. Gelagar plat mempunyai nilai momen inersia yang cukup besar sehingga diharapkan memiliki kapasitas momen lentur yang besar namun rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/t_w$ ) gelagar yang besar akan menyebabkan penampang tidak kompak sehingga dapat mengalami keruntuhan dini di bawah tegangan leleh dan tekuk lokal pada badannya.

Ketidakstabilan batang-batang yang mengalami lentur dibatasi oleh tekuk setempat pada sayap, tekuk setempat pada badan dan tekuk puntir lateral. Pada gelagar plat elemen sayap maupun badannya relatif langsing sehingga tegangan kritisnya dipengaruhi oleh rasio kelangsingan sayap ( $b/t_f$ ), rasio kelangsingan badan ( $h/t_w$ ), dan jarak antar pengaku. Kapasitas momen batas gelagar plat yang tinggi merupakan fungsi dari  $h/t_w$  (menentukan ketidak-stabilan badan/tekuk lentur),  $L/r_y$  (menentukan ketidak-stabilan lateral pada sayap/tekuk puntir lateral),  $b/t_f$  (menentukan tekuk setempat/tekuk puntir pada sayap) dan  $A_w/A_f$  (menentukan pengaruh puna tekuk badan pada sayap). Dengan menganggap bahwa tekuk puntir lateral dan tekuk setempat dicegah maka variabel dari fungsi tersebut menjadi  $h/t_w$  dan  $A_w/A_f$ .

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku lentur gelagar plat penampang kotak dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ), mengetahui hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ) dan kekakuan gelagar ( $k$ ), mengetahui hubungan momen-kelengkungan ( $M-\Phi$ ) dan faktor kekakuan lentur ( $EI$ ), mengetahui hubungan tanpa dimensi antara rasio momen lentur hasil pengujian terhadap momen lentur teoritis ( $M_u/M_y$ ) dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa : 1) Semakin kecil  $a/h$  maka semakin besar kekakuan, kekuatan dan momen yang dapat ditahan oleh gelagar plat. 2) Semakin kecil  $a/h$  maka kekakuan ( $k$ ) gelagar plat semakin besar. 3) Semakin kecil  $a/h$  maka faktor kekakuan lentur ( $EI$ ) gelagar plat semakin besar. 4) Semakin kecil  $a/h$  maka semakin besar nilai koefisien tekuk. 5) Semakin kecil nilai  $a/h$  maka nilai  $M_u/M_y$  semakin besar.

---

---

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Untuk mendapatkan gelagar plat yang ekonomis diperlukan inovasi tatanan elemen plat berbentuk penampang yang lebih baik dan kaku yaitu penampang kotak (*box girder*). Karena gelagar plat disusun dari elemen-elemen plat maka perilaku gelagar plat dipengaruhi oleh perilaku elemen plat. Perilaku gelagar plat penampang kotak menarik untuk diteliti karena disatu sisi mempunyai momen inersia yang cukup besar sehingga diharapkan memiliki kapasitas momen lentur yang besar. Penampang gelagar plat biasanya mempunyai rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/t_w$ ) cukup besar sehingga penampang gelagar plat tidak kompak. Kapasitas lentur gelagar plat dibatasi oleh masalah instabilitas (tekuk) yang dapat menyebabkan (*Premature Collapse*) yaitu keruntuhan dibawah tegangan leleh yang berupa tekuk lokal badan dan atau sayap. Disini yang menjadi masalah adalah bagaimana cara meningkatkan nilai kekakuan dari elemen-elemen plat badan maupun sayap.

Gelagar plat berbentuk kotak dengan pengaku transversal merupakan pilihan yang tepat untuk mengatasi masalah tekuk karena keempat sisi elemen plat dihubungkan secara menerus sehingga akan memperbesar nilai koefisien tekuk plat ( $k$ ), baik pada tekuk lentur maupun tekuk geser. Nilai koefisien tekuk yang besar

---

menyebabkan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) gelagar plat akan menjadi lebih besar. Teoritis, nilai koefisien tekuk tekan sayap penampang kotak 10 kali penampang I yaitu dari 0,425 menjadi 4 karena tumpuan semua sisi elemen penyusun gelagar plat menjadi jepit-jepit. Sedangkan pada badan dengan memberi pengaku maka koefisien tekuk plat pada geser akan menjadi besar. Nilai rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) sangat mempengaruhi nilai kapasitas geser, dengan memperkecil nilai ( $a/h$ ) maka kapasitas geser akan meningkat.

Melihat kondisi tersebut, timbul pemikiran untuk melakukan penelitian tentang perilaku gelagar plat penampang kotak dengan pengaku yang dibebani momen dengan cara memberi beban transversal pada gelagar tersebut sehingga dapat diketahui hubungan antara tegangan kritis geser ( $F_{cr}$ ) dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ), beban-deformasi, momen-kelengkungan, selain itu dapat pula dicari koefisien kekakuan plat.

## 1.2 Tujuan Penelitian

---

Penelitian dilakukan dengan tujuan mempelajari perilaku gelagar plat penampang/bentuk kotak dengan pengaku, yaitu :

1. Mendapatkan hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ) dan kekakuan ( $k$ ) gelagar plat dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ).
2. Memperoleh hubungan momen-kelengkungan ( $M-\Phi$ ) dan faktor kekakuan lentur ( $EI$ ) gelagar plat dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ).
3. Memperoleh kapasitas lentur gelagar plat.
4. Memperoleh koefisien tekuk plat ( $k$ ) gelagar plat penampang kotak.

---

### 1.3 Manfaat Penelitian

---

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui :

1. Tegangan kritis geser ( $F_{cr}$ ) element pelat gelagar plat penampang kotak dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) dapat digunakan sebagai dasar perencanaan.
2. Memberikan alternatif lain sebagai bahan pertimbangan, jika ditemukan permasalahan-permasalahan yang identik dengan penelitian ini, sehingga kebijaksanaan yang diambil dapat lebih optimal.
3. Memberikan masukan kepada pembaca sebagai pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan bangunan struktur baja.

### 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat terarah sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian maka perlu adanya batasan sebagai berikut :

1. Baja yang digunakan penampang kotak (*box*).
2. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung las.
3. Badan dan sayap dihubungkan dengan las secara menerus.
4. Pengujian hanya pada kuat lentur gelagar plat dengan pembebanan statis secara bertahap.
5. Bentang gelagar boks (L) konstan yaitu : 4650 mm.
6. Rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) bervariasi.

---

## **1.5 Lokasi Penelitian**

---

Lokasi penelitian dan pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Mekanika  
Rekayasa Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

---

---

---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Gelagar plat adalah elemen struktur lentur tersusun yang didesain dan difabrikasi untuk memenuhi kebutuhan yang tidak dapat dipenuhi oleh penampang gelas biasa (Spiegel dan Limbrunner, 1991).

Salmon dan Johnson (1996) mengemukakan tiga tipe desain gelagar plat yaitu :

1. Gelagar boks, memberikan gelagar puntir yang sempurna untuk jembatan berbentuk panjang.
2. Gelagar hibrida, memberikan kekuatan material yang bervariasi sesuai dengan tegangannya.
3. Gelagar delata, memberikan rigiditas lateral yang sempurna untuk bentang-bentang panjang yang tidak berpenumpu lateral.

Bagian konstruksi yang memikul beban transversal yang menghasilkan momen lentur dan gaya lintang dengan tahanan lentur sebagai parameter desain sering dijumpai pada balok atau gelagar (Bowles, 1980).

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

1. Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan

---

balok tersebut untuk memikul bagian elastis dan momen lentur.

---

2. Tekuk sayap tekan dalam arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah tekuk sedemikian rupa.
3. Tekuk karena geser (**Salmon dan Johnson, 1996**).

Tegangan kritis pada gelagar plat dipengaruhi oleh nilai konstanta ( $k$ ), modulus elastisitas bahan ( $E$ ) dan rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/t_w$ ) (**Salmon dan Johnson, 1996**).

Jika plat bisa dianggap terjepit sempurna (pengekangan sempurna terhadap rotasi tepi) sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan (yakni di tepi yang disambung dengan sayap), maka harga  $k$  minimum untuk sembarang rasio  $a/h$  menjadi 39,6. Jika sayap dianggap tidak mengekang rotasi tepi, maka harga  $k$  minimum menjadi 23,9 (**Timoshenko dan Woinowski, 1959**).

Lengkungan gelagar menimbulkan komponen gaya sayap yang mengakibatkan tegangan tekan pada tepi-tepi badan yang berhubungan dengan sayap. Bila badan stabil terhadap tegangan tekan akibat komponen transversal dari gaya sayap tersebut, sayap tidak dapat tertekuk vertikal (**Salmon dan Johnson, 1996**).

Penelitian yang dilakukan oleh **Basler (1961)** mengungkapkan bahwa gelagar plat dengan pengaku yang jaraknya dinyatakan dengan tepat memiliki kelakuan (setelah ketidak-stabilan terjadi) hampir mirip seperti rangka batang, dengan badan sebagai pemikul gaya tarik diagonal dan pengaku sebagai pemikul gaya tekan.

**Spiegel dan Limbrunner (1991)**, **Bowles (1980)**, **Salmon dan Johnson (1996)** mengemukakan bahwa sesudah panel badan tipis yang diperkaku menekuk

---

dalam geser, panel tersebut masih dapat menahan beban, jika ini terjadi badan yang menekuk mengalami tarik diagonal dan pengaku mengalami gaya tekan, perilaku ini disebut aksi medan tarik.

Pengaku antara dengan jarak yang teratur mampu memperbesar kekuatan badan balok untuk memikul geser. Parameter stabilitas yang berpengaruh adalah rasio kelangsingan elemen badan ( $h/t_w$ ) dan rasio jarak antar pengaku ( $a/h$ ) (Timoshenko dan Woinowski, 1959).

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 semakin besar.

---

---

---

## BAB III

### LANDASAN TEORI

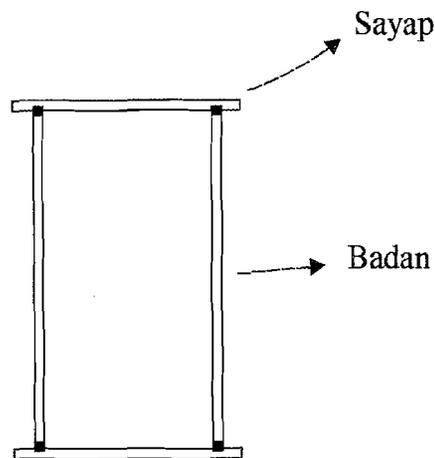
#### 3.1 Umum

##### 3.1.1 Gelagar Plat

Gelagar penampang kotak (*box girder*) akan memberikan kekakuan puntir yang sempurna pada jembatan berbentang panjang. Gelagar boks tersusun atau didesain dari dua sayap dan dua plat badan membentuk penampang kotak (gambar 3.1). Kedua sayap gelagar berfungsi untuk memikul momen dan gaya tekan sedangkan badan berfungsi untuk menahan gaya geser, sebagian kecil momen dan menghubungkan kedua sayap agar bekerja sebagai satu kesatuan.

Untuk mendapatkan gelagar plat yang ekonomis, kuat dan terhindar dari kegagalan dini (*premature collapse*) yang disebabkan oleh *instabilitas*, biasanya badan gelagar plat diberi pengaku transversal berupa pengaku landasan dan pengaku antara. Pengaku landasan dipasang pada tempat yang menerima beban terpusat dan reaksi untuk menyalurkan beban terpusat ke seluruh tinggi web. Pengaku antara transversal dipasang dalam jarak bervariasi di sepanjang bentang dan berfungsi untuk memperbesar kekuatan tekuk pelat badan. Pengaku akan memperbesar tahanan badan terhadap kombinasi geser dan momen. Untuk plat dengan badan yang lebih tinggi, khususnya pada lokasi yang momennya besar, pengaku badan longitudinal

mungkin juga diperlukan. Efisiensi menyeluruh biasanya diperoleh dengan menggunakan plat badan yang tebalnya cukup sehingga pengaku tidak diperlukan. (Spiegel dan Kriger, 1991).



Boks Girder

**Gambar 3.1** menggambarkan penampang melintang gelagar boks.

### 3.1.2 Stabilitas Plat

Stabilitas plat yang pendekatannya mengikuti uraian Timoshenko yang dimodifikasi oleh Gerstle, disamping suku umum  $q$  yang menyatakan komponen beban transversal akibat lenturan plat, komponen transversal dari gaya tekan  $N_x$  ketika plat melendut ke posisi tertekuk perlu ditinjau. Persamaan differensial untuk lenturan plat homogen yang diturunkan dari teori plat oleh Timoshenko (1959), yang ditunjukkan pada Persamaan 3.1.

$$D \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = q \dots \dots \dots (3.1)$$

$D$  = rigiditas fleksural per panjang satuan plat.

$q$  = beban pada bentang balok.

Jika persamaan Persamaan 3.1 dituliskan untuk balok dengan lebar  $b$ , persamaan diferensial untuk beban menjadi

$$EI \frac{d^4 w}{dx^4} = qb \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan  $qb$  adalah beban persatuan panjang bentang balok.

Persamaan diferensial, Persamaan 3.1 menjadi

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = - \frac{N_x}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \dots\dots\dots (3.3)$$

Karena  $N_x = F_{cr}t$  dan  $D = Et^3/[12(1-\mu^2)]$ , tegangan tekuk elastis dapat dituliskan sebagai

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \dots\dots\dots (3.4)$$

Untuk kasus khusus pada plat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana, harga  $k$  menurut **Salmon dan Johnson (1994)** adalah

$$k = \left[ \frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \dots\dots\dots (3.5)$$

Koefisien tekuk  $k$  merupakan fungsi dari jenis tegangan (dalam hal ini tekanan merata pada dua tepi yang berseberangan) dan kondisi tumpuan tepi (dalam hal ini keempat tepi merupakan tumpuan sederhana, disamping aspek rasio  $a/b$  yang terdapat langsung dalam persamaan. Semakin besar nilai koefisien tekuk ( $k$ ) maka nilai tegangan kritis akan menjadi besar yaitu dengan cara mengubah tumpuan tepi menjadi jepit-jepit.

### 3.1.3 Balok Tekuk Lokal

Salmon dan Johnson (1992) menyatakan bahwa bila balok memiliki stabilitas lateral yang cukup pada flens tekannya, satu-satunya keadaan batas yang mungkin membatasi kekuatan momen adalah tekuk lokal pada tekan flens dan atau elemen pelat yang membentuk penampang lintang balok itu.

Menurut Salmon dan Johnson (1992) tekuk lokal dipengaruhi oleh nilai  $b/t$ . Bila nilai  $b/t$  rendah, pengerasan regangan dapat tercapai tanpa terjadinya tekuk; sedang untuk harga  $b/t$  menengah, tegangan sisa dan ketidak sempurnaan menyebabkan tekuk tak elastik atau masa transisi dan untuk  $b/t$  besar maka akan melampaui kekuatan tekuk yakni pelat itu akan menunjukkan terjadinya kekuatan pasca tekuk.

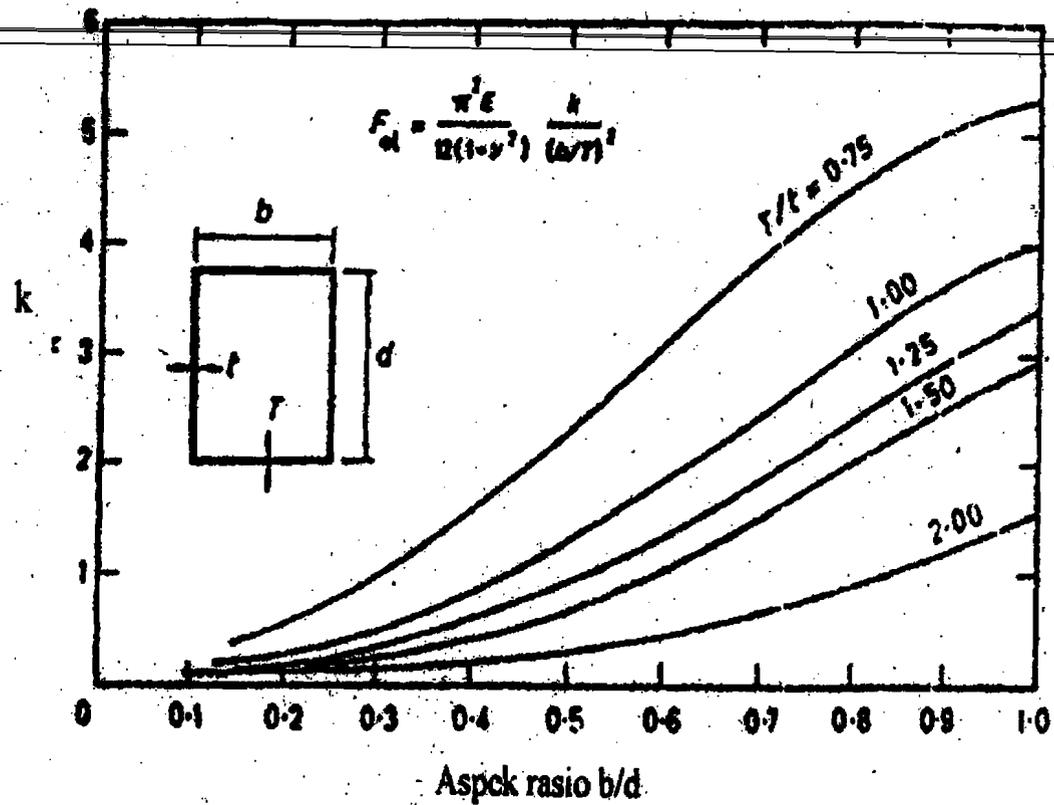
Tekuk lokal selain dipengaruhi oleh nilai  $b/t$  juga dipengaruhi oleh nilai koefisien tekuk ( $k$ ) yaitu semakin besar nilai koefisien tekuk maka semakin besar pula nilai tegangan kritis tekuk yang terjadi.

Persyaratan untuk mencapai tegangan leleh tanpa tekuk lokal adalah :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \geq F_y \dots\dots\dots (3.6)$$

dengan  $k$  adalah konstanta tekuk merupakan fungsi distribusi tegangan dan kondisi di tepi pelat.

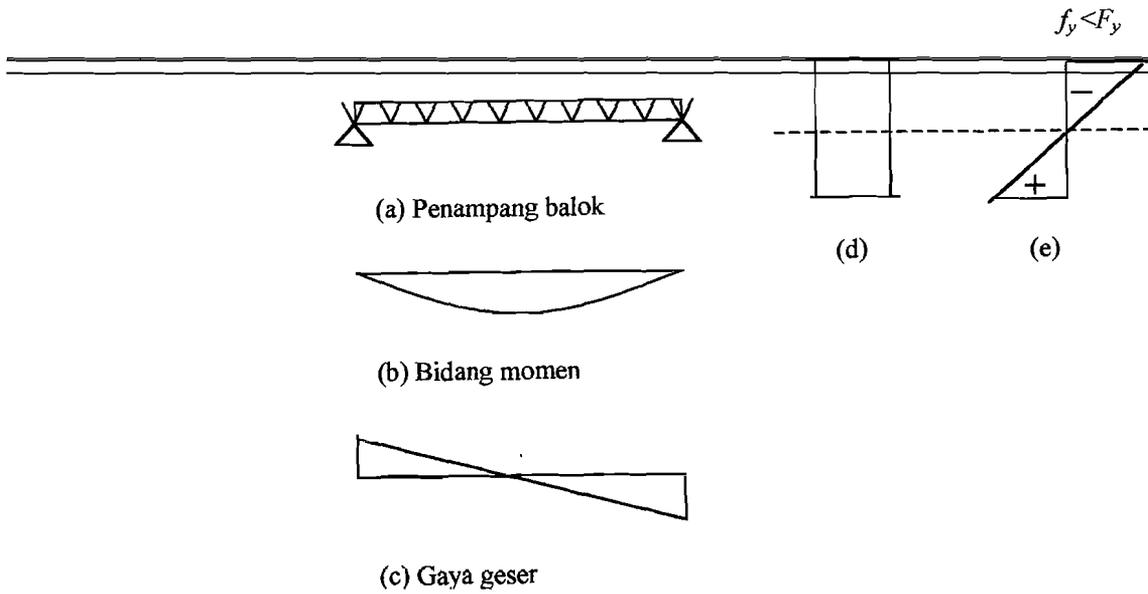
Pada Gambar 3.2 menunjukkan nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak yang dipengaruhi oleh rasio lebar sayap terhadap tinggi badan ( $b/d$ ) (0-1) dan  $T/t$  (0.75; 1.00; 1.25; 1.50; 2.00), nilai  $k$  besar bila  $b/d$  besar  $T/t$  kecil.



Gambar 3.2 Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak  
(Trahair dan Bradford, 1998)

### 3.1.4 Balok Lentur

Menurut Bowles (1980) 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 kotak menerima beban terdistribusi (Gambar 3.3a), akibat beban tersebut balok menerima momen lentur (Gambar 3.3b) dan gaya geser (Gambar 3.3c). Akibat momen, penampang balok mengalami tegangan lentur (*bending stress*) (Gambar 3.3e), sedangkan gaya geser menimbulkan tegangan geser. Dalam keadaan penampang masih elastis, distribusi tegangan pada penampang balok linier.



**Gambar 3.4** Balok statis tertentu dengan beban terdistribusi merata

Tegangan pada serat yang letaknya  $y$  dari sumbu netral (**Bowles, 1980**) adalah :

$$f_b = \pm \frac{M \cdot y}{I} \dots\dots\dots (3.8)$$

$M$  = momen pada penampang yang ditinjau

$Y$  = jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral

$I$  = momen inersia.

Tegangan maksimum akibat momen yang 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 :

$$f_b = \pm \frac{M \cdot C}{I} \dots\dots\dots (3.9)$$

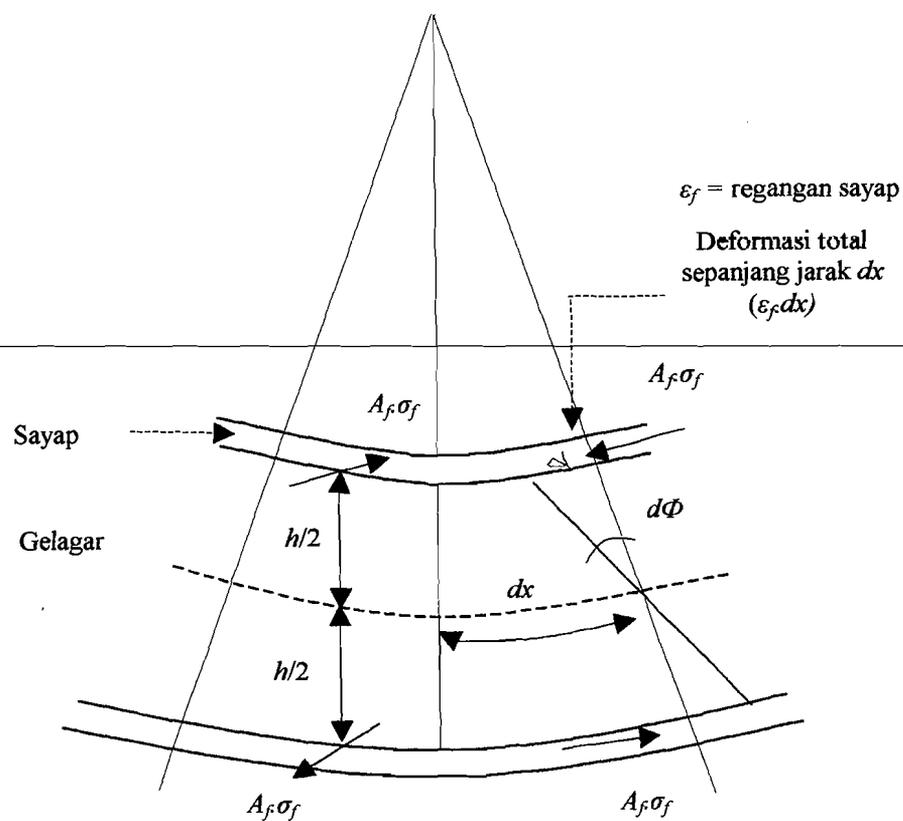
Karena  $\frac{I}{C} = S$ , Persamaan 3.9 dapat ditulis kembali dalam bentuk :

$$f_b = \pm \frac{M}{S} \dots \dots \dots (3.10)$$

Dimana S adalah modulus potongan (*section modulus*).

### 3.2 Tekuk Vertikal Pada Sayap

Gelagar yang melengkung, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4, kurvatur tersebut memperbesar komponen-komponen gaya flens yang mengakibatkan tegangan tekan pada tepi-tepi badan yang berhubungan dengan flens tersebut. Apabila badan balok tetap stabil terhadap tegangan tekan akibat komponen-komponen gaya tersebut, berarti sayap tidak dapat tertekuk vertikal (Salmon dan Johnson, 1996).



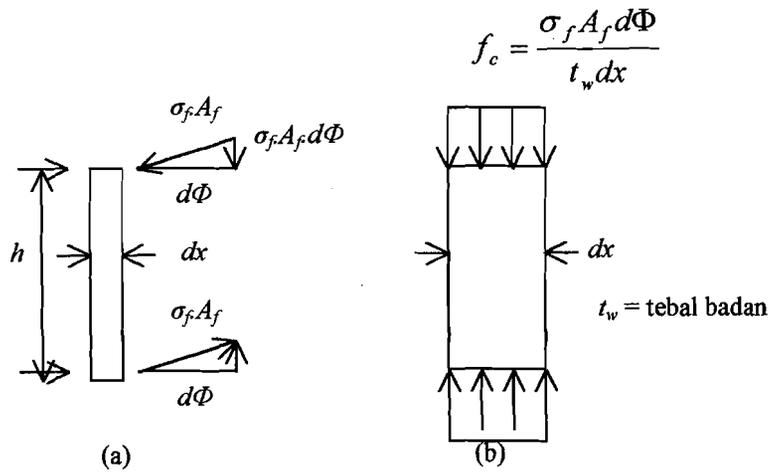
Gambar 3.4 Gaya sayap akibat lengkungan gelagar

Berdasarkan Gambar 3.4 deformasi total  $\epsilon_f dx$  sepanjang jarak  $dx$  adalah :

$$\epsilon_f dx = d\Phi \frac{h}{2} \dots\dots\dots (3.11)$$

$$d\Phi = \frac{2\epsilon_f}{h} dx \dots\dots\dots (3.12)$$

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5a komponen vertikal yang menimbulkan tegangan tekan adalah  $\sigma_f A_f d\Phi$ . Setelah dibagi dengan  $t_w dx$  untuk memperoleh tegangan tekan  $f_c$  yang diperlihatkan Gambar 3.5b.



**Gambar 3.5** Pengaruh komponen gaya sayap yang tegak lurus plat sayap

Persamaan 3.12 untuk  $d\Phi$  dimasukkan sehingga :

$$f_c = \frac{\sigma_f A_f d\Phi}{t_w dx} = \frac{2\sigma_f A_f \epsilon_f}{t_w h} \dots\dots\dots (3.13)$$

Tegangan tekuk elastis untuk suatu plat menurut **Salmon dan Johnson (1996)** :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \dots\dots\dots (3.14)$$

di mana  $b = h$ ,  $t = t_w$ , dan  $k = 1$  untuk kasus plat Euler yang diasumsikan bebas di sepanjang pinggi-pinggir yang sejajar dengan pembebanan dan dijepit pada atas dan

bawahnya. Dengan demikian :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t_w)^2} \dots\dots\dots (3.15)$$

Bila tegangan yang dikenakan, Persamaan 3.13, disamakan dengan tegangan kritis, Persamaan 3.15, akan diperoleh :

$$\frac{2\sigma_f A_f \epsilon_f}{t_w h} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t_w)^2} \dots\dots\dots (3.16)$$

dengan memisalkan  $t_w h = A_w$  akan memberikan :

$$\frac{h}{t_w} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{24(1-\mu^2)} \left( \frac{A_w}{A_f} \right) \left( \frac{1}{\sigma_f \epsilon_f} \right)} \dots\dots\dots (3.17)$$

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

$\sigma_f$  secara konservatif dianggap harus mencapai tegangan leleh  $F_{yf}$  agar kapasitas batas sayap tercapai. Jika tegangan residu  $F_r$  bekerja pada sayap maka regangan sayap total akan sama dengan jumlah tegangan residu ditambah tegangan leleh dengan demikian :

$$\epsilon = (F_r + F_{yf}) / E \dots\dots\dots (3.18)$$

Regangan ini adalah regangan sayap di dekat badan yang diperlukan.

Substitusi  $\sigma_y = F_{yf}$ ,  $\epsilon_f =$  Persamaan 3.18,  $E = 200.000$  MPa, dan  $\mu = 0,3$

sehingga Persamaan 3.17 menghasilkan

$$\frac{h}{t} = \frac{135.000 \sqrt{A_w / A_f}}{\sqrt{F_{yf} (F_{yf} + F_r)}} \dots\dots\dots (3.19)$$

yang merupakan harga  $h/t_w$  maksimum yang konservatif untuk mencegah tekuk

vertikal.  $A_w/A_f$  jarang sekali kurang dari 0,5 dan  $F_r = 114$  MPa merupakan harga yang realistik. Jika harga-harga tersebut dimasukkan, maka :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{96500}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf} + 114)}} \dots\dots\dots (3.20)$$

bila  $a/h$  tidak melebihi 1,5 maka Persamaan 3.11 menjadi :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{5250}{\sqrt{F_{yf}}} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (3.11)$$

### 3.3 Tekuk Pada Bidang Badan

#### 3.3.1 Tekuk Pada Badan Akibat Lentur

Menurut **Salmon dan Johnson (1996)**, tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritis plat yang tertekan dapat dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \dots\dots\dots (3.22)$$

$F_{cr}$  = tegangan kritis,  $k$  = koefisien tekuk,  $\pi = 3,14$ ,  $E$  = modulus elastis,  $\mu$  = rasio Poisson = 0,30,  $b$  = lebar sayap,  $t$  = tebal sayap, dalam hal ini  $b = h$ .

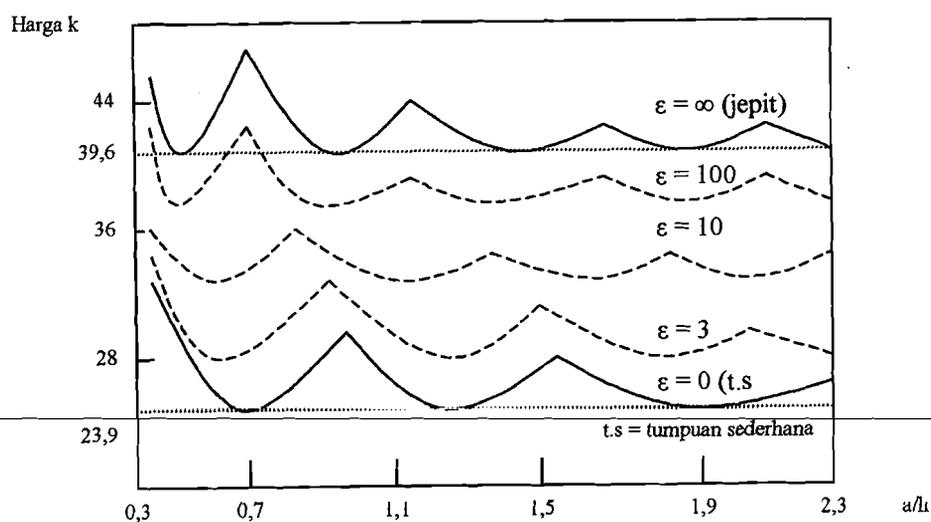
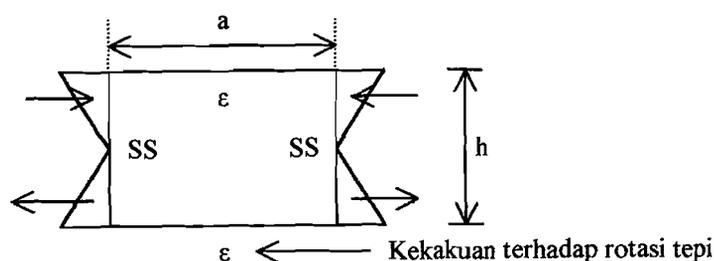
Penurunan harga  $k$  secara teoritis untuk lentur pada bidang plat dijabarkan oleh **Timoshenko dan Krieger (1959)**. Untuk sembarang jenis pembebanan nilai,  $k$  bergantung pada rasio bentuk  $a/h$  dan kondisi tumpuan sepanjang tepi. Variasi nilai  $k$  terhadap rasio  $a/h$  ditunjukkan pada Gambar 3.6. Penurunan harga  $k$  secara teoritis untuk lentur pada bidang plat dijabarkan oleh **Timoshenko dan Krieger (1959)**.

Tegangan kritis (dengan  $E = 200.000$  MPa) bisa dikatakan terletak antara :

$$F_{cr} = \frac{4320000}{(h/t_w)^2} \text{ MPa untuk } k = 23,9 \text{ (tumpuan sederhana di sayap)}$$

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/l_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna di sayap)}$$

Apabila masing-masing gelagar tertentu akan memiliki derajat kekangan flens ( $k$ ) yang berlainan, flens yang di las secara penuh ke sambungan badan tertentu akan mendekati kasus jepit penuh. Maka akan dipilih suatu harga  $k$  yang lebih dekat dengan 39,6



**Gambar 3.6** Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni

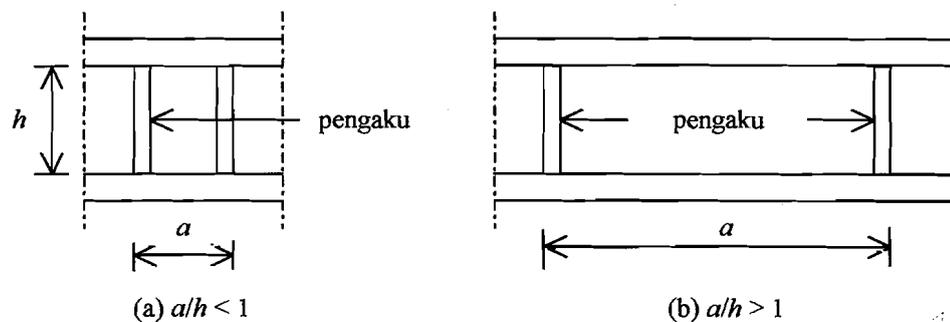
### 3.3.2 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut Timoshenko dan Kriger (1959) bahwa tipikal untuk kasus geser murni :

$$\tau_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(sisi.pendek / t)^2} \dots \dots \dots (3.23)$$

di mana untuk kasus tepi bertumpuan sederhana (yakni perpindahan dicegah tetapi rotasi terhadap tepi tidak dikekang) :

$$k = 5,34 + 4,0 \left( \frac{\text{sisi.pendek}}{\text{sisi.panjang}} \right)^2 \dots\dots\dots (3.24)$$



**Gambar 3.7** Dua keadaan dari jarak pengaku antara

Untuk perencanaan, Persamaan 3.23 dan 3.24 biasanya dinyatakan dalam  $h$  (tinggi badan tanpa sokongan) dan  $a$  (jarak antara pengaku). Bila hal ini dilakukan maka ada dua kasus yang harus ditinjau :

1. Jika  $a/h \leq 1$  (lihat Gambar 3.7a), maka Persamaan 3.22 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(a/h)^2] (h/a)^2}{12(1 - \mu^2)(a/t)^2 (h/a)^2} \dots\dots\dots (3.25)$$

2. Jika  $a/h \geq 1$  (lihat Gambar 3.7b), maka Persamaan 3.24 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(h/a)^2]}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \dots\dots\dots (3.26)$$

Jelaslah dari Persamaan 3.25 dan 3.26 bahwa jika kita hendak memakai  $h/t$  sebagai rasio stabilitas pada penyebut, maka dua persamaan untuk  $k$  diperlukan. Untuk semua harga  $a/h$ , Persamaan 3.25 dan 3.26 bisa dituliskan sebagai :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 Ek}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.27)$$

dengan :

$$k = 4,0 + 5,34/(a/h)^2, \text{ untuk } a/h \leq 1 \quad (3.28)$$

$$k = 4,0/(a/h)^2 + 5,34, \text{ untuk } a/h \geq 1 \quad (3.29)$$

Dari persamaan 3.23 dan 3.29 tampak bahwa semakin kecil nilai  $a/h$  maka nilai koefisien tekuk geser plat ( $k$ ) akan menjadi besar, dengan meningkatnya nilai koefisien tekuk geser plat maka nilai kapasitas geser plat akan meningkat.

Dalam AISC-1.10.5, persamaan 3.27 ditulis dalam bentuk tanpa dimensi, dengan mendefinisikan koefisien  $C_v$  sebagai perbandingan antara tegangan geser pada saat tertekuk dan tegangan leleh geser,

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 Ek}{\tau_y (12)(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.30)$$

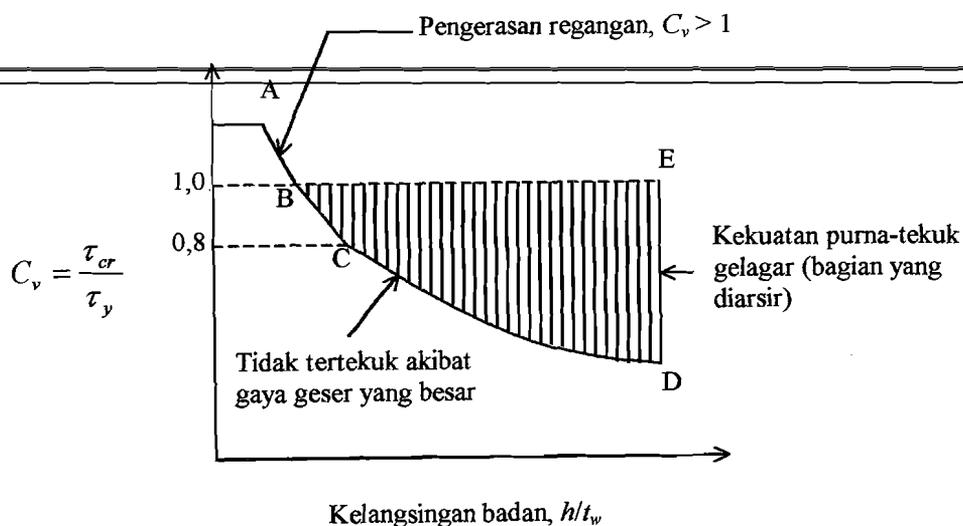
di mana merupakan  $C_v$  untuk stabilitas elastis.

Substitusi dari  $E = 200000 \text{ MPa}$ ,  $\mu = 0,3$ ,  $\tau_y = 0,6 F_{yw}$  maka persamaaan 3.30

menjadi:

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t)^2 F_{yw}} \quad (3.31)$$

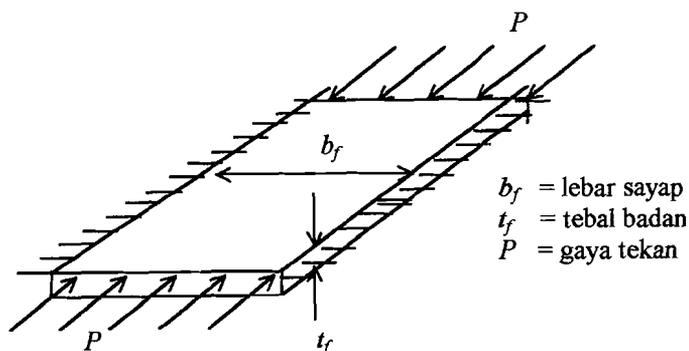
Tampak pada Gambar 3.8 bahwa nilai  $C_v$  semakin kecil pada nilai  $h/t$  semakin besar. Tekuk plat akibat geser murni baik elastis maupun inelastis menimbulkan tegangan kritis seperti yang ditunjukkan oleh garis ABCD pada gambar 3.8. Garis ABCD merupakan rasio tegangan kritis terhadap tegangan leleh geser.



**Gambar 3.8** Kapasitas geser yang tersedia dengan menyertakan kekuatan purna tekuk

Plat yang diperkuat oleh sayap dan pengaku memiliki kekuatan purna tekuk yang cukup besar. Agar pemakaian bahan plat badan pada gelagar plat penampang kotak efisien, badan harus tipis sehingga tekuk terjadi pada tegangan geser yang ada. Dengan adanya pengaku kekuatan geser dapat dinaikan dari kekuatan berdasarkan tekuk (ABCD pada Gambar 3.8) mendekati kondisi yang selaras dengan leleh geser pada balok klasik (ABE Gambar 3.8).

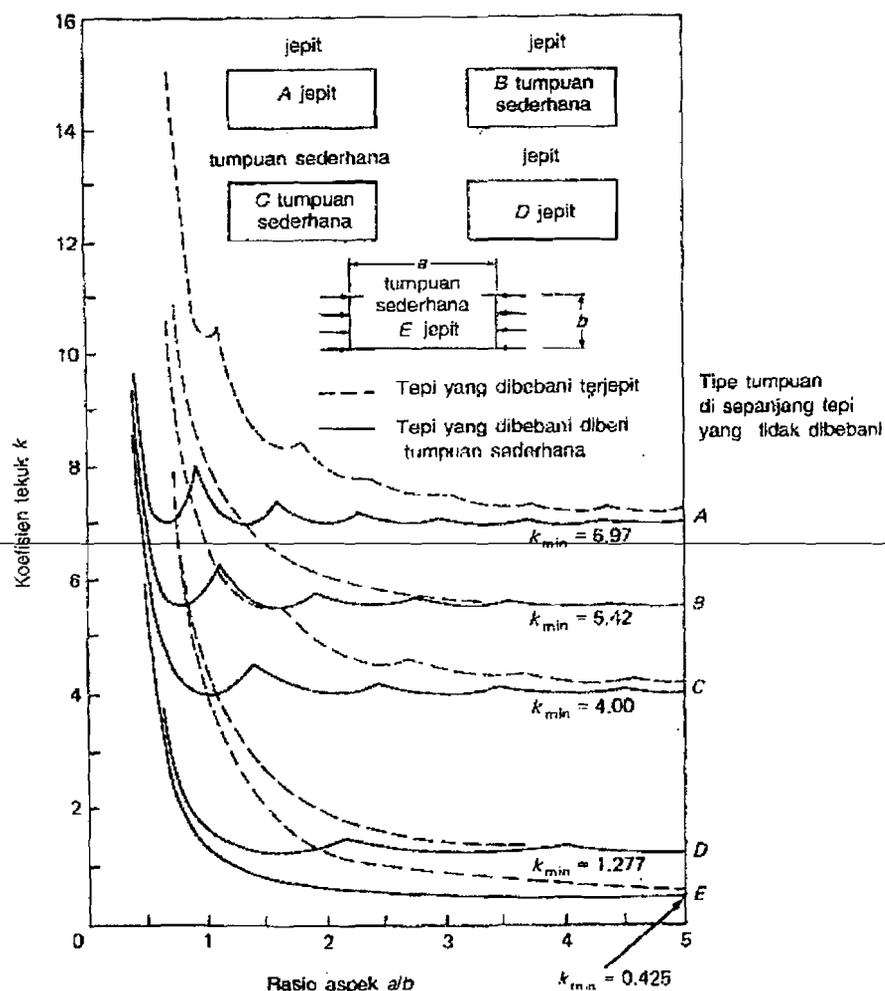
### 3.3.3 Tekuk Elastis Pada Plat Sayap



**Gambar 3.9** Plat yang ditekan merata

Pada dasarnya, plat yang mengalami tekanan, seperti pada elemen sayap tekan, perilakunya sama dengan kolom. Tekuk plat yang mengalami tekanan merata ditunjukkan pada Gambar 3.9. Tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritis plat yang tertekan dinyatakan pada Persamaan 3.22.

Nilai  $k$  tergantung pada tipe tegangan, kondisi tumpuan tepi, dan rasio panjang terhadap lebar (rasio aspek) dari plat yang bersangkutan. Gambar 3.10 menunjukkan variasi  $k$  terhadap rasio aspek  $a/b$  untuk berbagai kondisi tumpuan tepi ideal (Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1996).



**Gambar 3.10** Koefesien tekuk elastis untuk tekuk pada plat segi empat datar  
(Diambil dari George Gerard dan Herbert Becker, 1957)

Tampak bahwa untuk plat dengan kondisi tumpuan jepi-jepit (A) nilai  $k_{min} =$

6,97. 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 dengan tumpuan jepit-bebas, nilai  $k_{min} = 1,277$ , serta untuk plat dengan tumpuan sederhana-bebas  $k_{min} = 0,425$ . Dalam penelitian ini dipakai plat dengan tumpuan jepit-bebas dengan nilai  $k_{min} = 0,425$ .

### 3.4 Kekuatan Lentur Batas Pada Gelagar

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Salmon dan Johnson (1996) dengan bahan penelitiannya adalah baja profil I dengan mutu baja A36, badan akan tertekuk akibat adanya tegangan lentur. Tekuk seperti ini tidak menyebabkan gelagar kehilangan daya gunanya. Kapasitas momen batas gelagar yang tinggi merupakan fungsi dari :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \dots \dots \dots (3.32)$$

$h/t$  = menentukan ketidak-stabilan 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

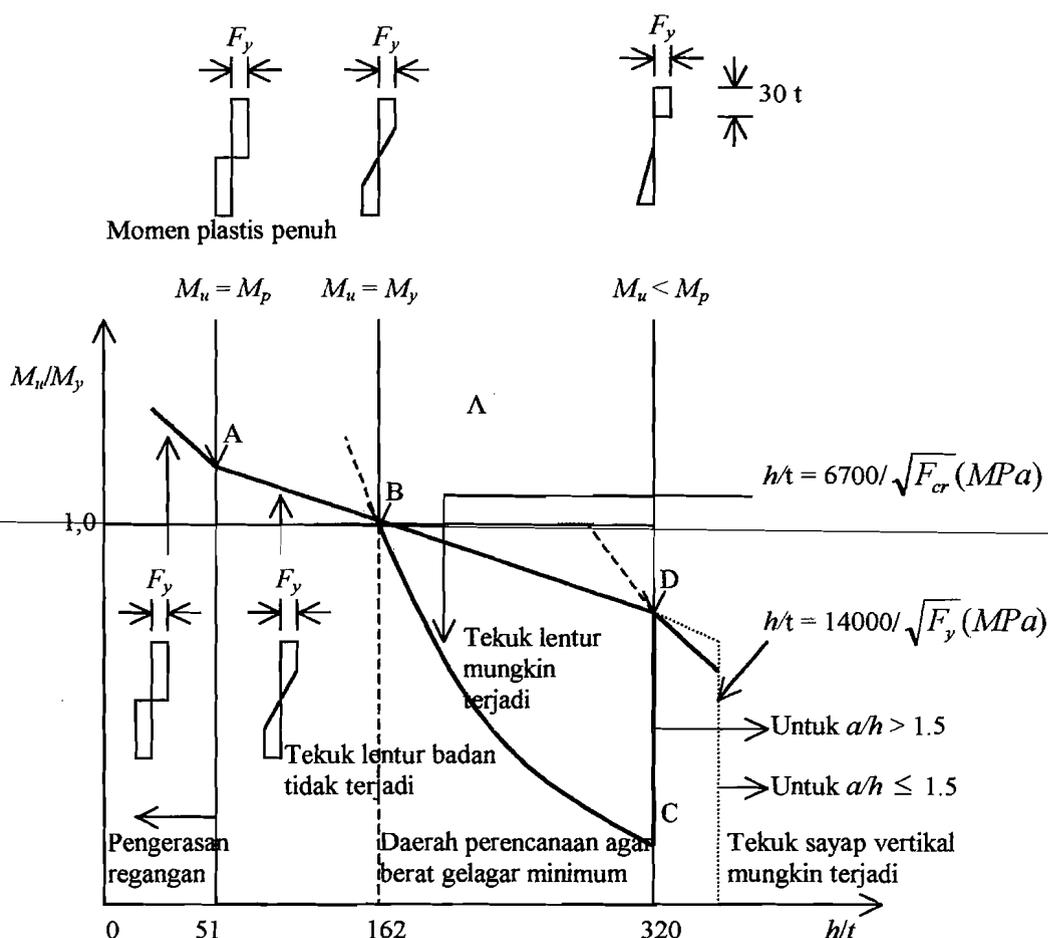
$A_w/A_f$  = menentukan pengaruh purna tekuk badan pada sayap

Gambar 3.11 memperlihatkan hubungan antara kekuatan momen nominal  $M_n$  dan  $h/t_w$ . Gambar ini mengansumsikan bahwa keadaan batas tekuk puntir lateral dan tekuk flens lokal tidak menentukan. Dengan menganggap bahwa tekuk puntir lateral dan tekuk setempat dicegah seperti anggapan yang digunakan pada Gambar 3.11,

variabel dari fungsi diatas menjadi :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \dots \dots \dots (3.33)$$

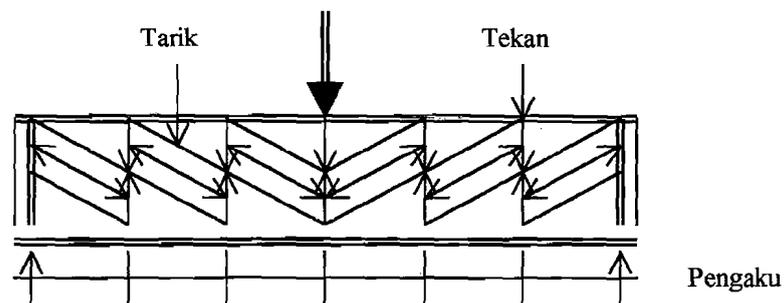
Dari gambar 3.11 tampak bahwa semakin besar nilai  $h/t_w$  maka nilai kapasitas momennya semakin menurun. Merujuk pada gambar 3.11 penurunan yang signifikan terjadi pada  $h/t_w$  lebih besar dari 162 yang ditunjukkan oleh kurva ABC, namun dengan memberi pengaku pada gelagar plat maka penurunan nilai kapasitas momennya tidak terlalu besar yang ditunjukkan oleh kurva ABD.



**Gambar 3.11** Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan : baja A36

### 3.5 Kekuatan Geser Nominal – Termasuk Aksi Medan Tarik

Gelagar plat dengan nilai  $h/t$  yang cukup kecil tidak mengalami tekuk geser dibawah tegangan luluh. Sebenarnya sebuah badan balok sebagai bagian dari bagian konstruksi lentur yang dipengaruhi oleh sebuah momen lentur pengangkut gaya geser tersebut di dalam sebuah ragam “medan tarik” di mana pengaku adalah bagian konstruksi desak dan segmen badan di antara pengaku adalah elemen tarik (Gambar 3.12)



Gambar 3.12 Aksi medan tarik

Kekuatan geser nominal  $V_n$  dapat dinyatakan sebagai jumlah dari kekuatan tekuk  $V_{cr}$  dan kekuatan pasca tekuk  $V_{tf}$  dari aksi tarik lapangan,

$$V_n = V_{cr} + V_{tf} \dots \dots \dots (3.34)$$

Kekuatan tekuk nominal dengan  $V_n = V_{cr}$ , maka :

$$V_{cr} = C_v \tau_y A_w \dots \dots \dots (3.35)$$

$$C_v = \tau_{cr} / \tau_y$$

Kekuatan geser  $V_{tf}$  yang berasal dari aksi medan tarik dalam badan gelagar menimbulkan suatu pita gaya-gaya tarik yang terjadi setelah badan itu mengalami tekuk akibat tekuk diagonal (tegangan-tegangan utama dalam teori balok biasa). Keseimbangan dipertahankan melalui transfer gaya ke pengaku vertikal. Dengan naiknya beban gelagar, sudut medan-tarik berubah untuk mengakomodasi kapasitas

menahan beban terbesar.

Menurut **Charles G. Salmon dan John E. Johnson (1996)** pada aksi medan tarik arah optimum, kontribusi  $\Delta V_{ff}$  maksimum dari aksi medan tarik sebesar :

$$\Delta V_{ff} = \sigma_1 \frac{h_{tw}}{2} \left[ \sqrt{1 + (a/h)^2} - a/h \right] \dots \dots \dots (3.36)$$

Sedangkan penyelesaian untuk  $V_{ff}$  pada kekuatan geser dari aksi medan tarik diberikan :

$$V_{ff} = \sigma_1 \frac{h_{tw}}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \dots \dots \dots (3.37)$$

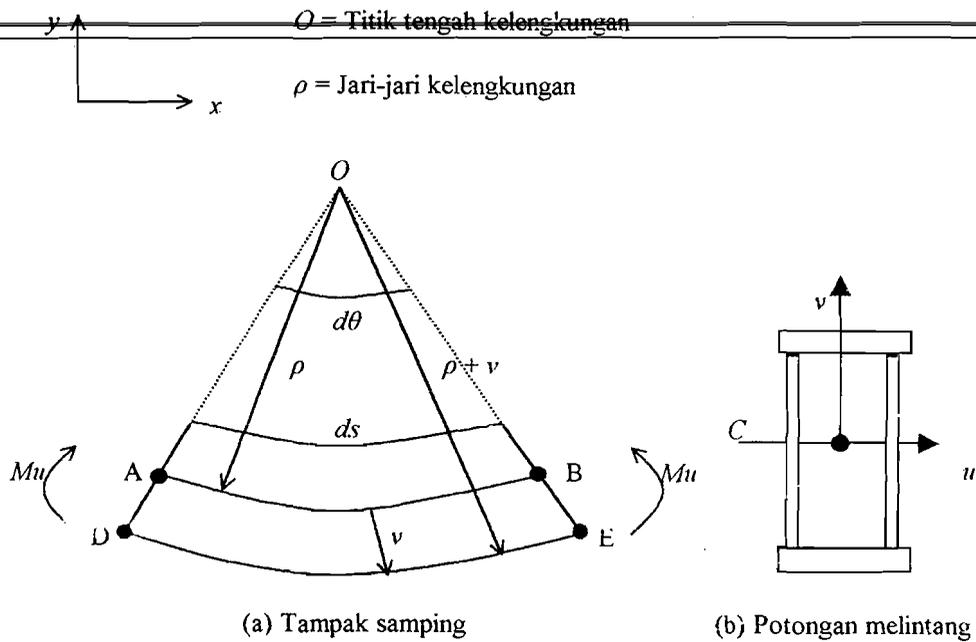
Bila kekuatan geser nominal  $V_n$  tercapai, termasuk aksi medan tarik dan tegangan leleh  $F_{yw}$  adalah tegangan pada badan gelagar maka gaya di dalam pengaku:

$$P_s = \frac{F_{yw}(1 - C_v)at_w}{2} \left[ 1 - \frac{a/h}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \dots \dots \dots (3.38)$$

### 3.6 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 3.13 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.



**Gambar 3.13** Deformasi segmen balok dalam lenturan

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 3.13. Sumbu  $u$  dan  $v$  pada potongan melintang, adalah sumbu utama yang ditunjukkan pada Gambar 3.13b.  $AB$  adalah garis netral, pada garis netral ini garis tidak memendek ataupun memanjang.

Regangan pada garis netral didapatkan dari persamaan :

$$\epsilon_x = \frac{\text{panjang akhir} - \text{panjang awal}}{\text{panjang awal}} \dots\dots\dots (3.39)$$

dengan substitusi didapat :

$$\epsilon_x = \frac{(\rho + v)d\theta - \rho.d\theta}{\rho.d\theta} = \frac{v}{\rho} \dots\dots\dots (3.40)$$

Hubungan dasar antara kurva elastis dengan regangan linier, didapat :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\varepsilon_x}{v} \dots\dots\dots (3.41)$$

Karena sifat beban tidak diperhitungkan maka hubungan ini digunakan untuk masalah-masalah elastis maupun tidak.

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x \dots\dots\dots (3.42)$$

sehingga :

$$\varepsilon_x = \frac{Muv}{Elu} \dots\dots\dots (3.43)$$

Substitusi Persamaan 3.41 ke Persamaan 3.42 akan diperoleh :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{Mu}{Elu} \dots\dots\dots (3.44)$$

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\pm d^2v/dx^2}{[1 + (dv/dx)^2]^{3/2}} \dots\dots\dots (3.45)$$

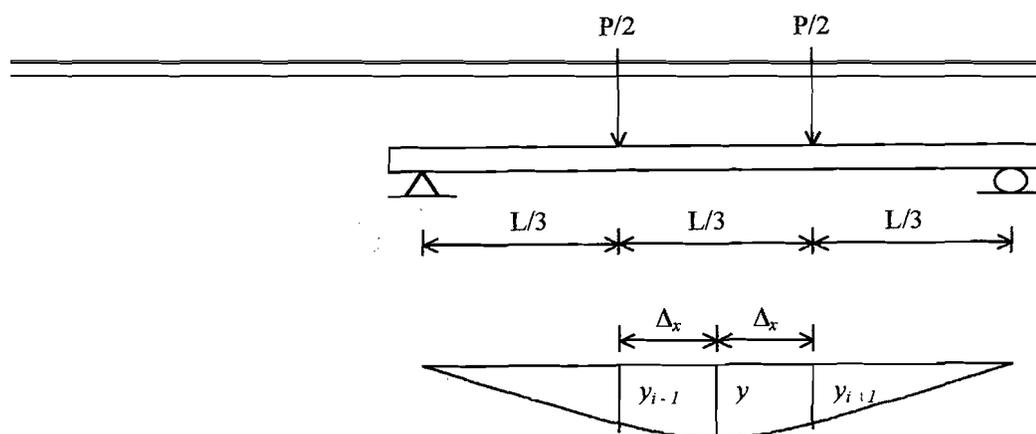
karena kemiringan  $dv/dx$  dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka :

$$(dv/dx)^2 \approx 0 \dots\dots\dots (3.46)$$

Persamaan 3.41 disubstitusi dengan Persamaan 3.43 menjadi :

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{El_u} \dots\dots\dots (3.47)$$

$$El_u = \frac{M}{(d^2v/dx^2)} \dots\dots\dots (3.48)$$



**Gambar 3.14** Momen-kelengkungan

Dari pengujian kuat lentur diperoleh defleksi pada titik-titik distrik. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Difference*. Mengacu pada Gambar 3.14  $dy/dx$  didekati dengan Persamaan 3.49.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta_x} \dots\dots\dots (3.49)$$

turunan kedua dari Persamaan 3.49 adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx} (2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots (3.50)$$

karena  $(2\Delta_x)$  adalah konstanta maka :

$$\frac{d}{dx} (2\Delta_x) = 0 \dots\dots\dots (3.51)$$

sehingga Persamaan 3.52 menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots (3.52)$$

selanjutnya dari Persamaan 3.52 didapatkan :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i - y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \dots \dots \dots (3.53)$$

kemudian persamaan 3.53 disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \dots \dots \dots (3.54)$$

dengan :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \dots \dots \dots (3.55)$$

$$M = EI \cdot \Phi \dots \dots \dots (3.56)$$

Mengacu kepada Gambar 3.14 didapat momen ( $M$ ) :

$$M = \frac{1}{6} PL \dots \dots \dots (3.57)$$

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 3.4. 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 ( $S_x$ ) kapasitas momennya disebut momen leleh ( $M_y$ ) dan dapat dihitung sebagai :

$$M_y = F_y \cdot S_x \dots \dots \dots (3.58)$$

Bila penampang berada dalam kondisi plastis, 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 momen disebut momen plastis ( $M_p$ ) dan besarnya :

$$M_p = f_b \int y \cdot dA \dots \dots \dots (3.59)$$

$z = \int y \cdot dA$  maka :

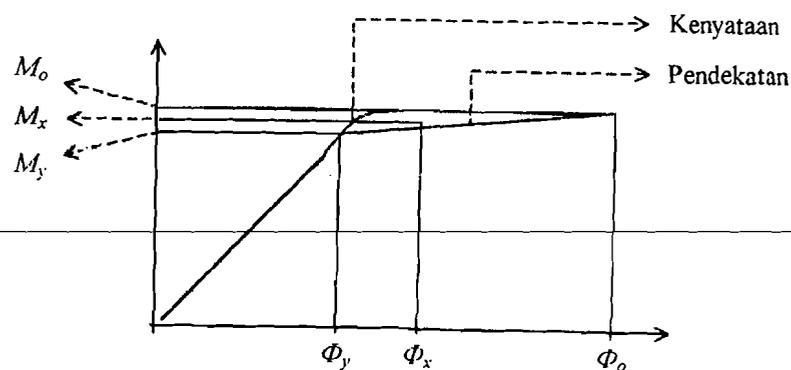
$$M_p = f_b \cdot z \dots \dots \dots (3.60)$$

$z =$  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  $f$

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{z}{S} \dots \dots \dots (3.61)$$

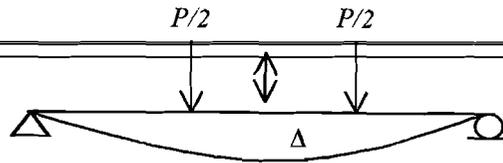
Hubungan Momen ( $M$ ) dengan kelengkungan ( $\Phi$ ) ditunjukkan pada Gambar 3.15.



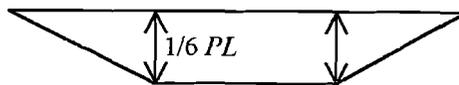
Gambar 3.15 Grafik momen-kelengkungan

### 3.7 Hubungan Beban-Lendutan

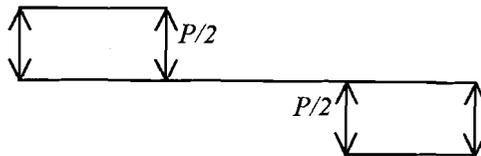
Lynn S. Beedle (1958) menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga semakin besar.



**Gambar 3.16** Lendutan balok



**Gambar 3.17** Diagram Momen



**Gambar 3.18** Diagram geser

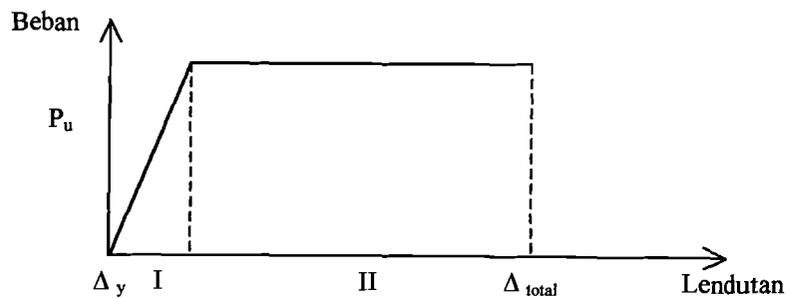
Hubungan beban-lendutan ditunjukkan :

$$\Delta = \frac{23P.L^3}{648EI} \dots\dots\dots (3.62)$$

$\Delta$  = 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 (**Popov**) seperti pada Gambar 3.19.



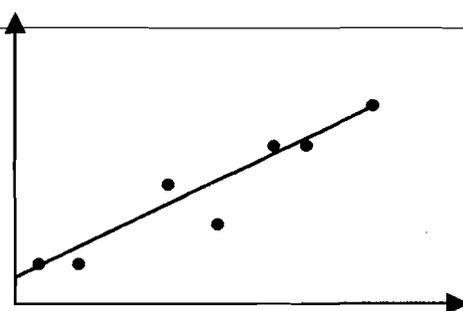
**Gambar 3.19** Hubungan beban dan lendutan pada balok

### 3.8 Analisis Regresi

Untuk mengolah data yang didapat dari pengujian laboratorium digunakan bantuan analisis numerik dalam hal ini adalah analisis regresi. Biasanya data hasil pengujian disajikan dalam bentuk diskret atau tabel. Dari data tersebut ada dua hal yang diharapkan, yaitu : mencari bentuk kurva yang dapat mewakili data diskret tersebut, dan mengestimasi nilai data tersebut pada titik-titik diantara nilai-nilai yang diketahui. Analisis ini disebut sebagai *curve fitting*.

Ada dua metode pendekatan didalam *curve fitting* yang didasarkan pada jumlah kesalahan yang terjadi pada data, yaitu : regresi kuadrat terkecil dan interpolasi. Untuk menganalisis data dalam penelitian ini digunakan metode analisis regresi kuadrat terkecil.

Gambar 3.20 menunjukkan sket kurva yang dibuat dari data yang sama dengan regresi kuadrat terkecil. Kurva pada gambar 3.20 tidak melalui semua titik pengukuran tetapi hanya mengikuti model dari data menurut garis lurus.



**Gambar 3.20** Analisis Regresi

---

---

## **BAB IV**

### **PELAKSANAAN PENELITIAN**

#### **4.1 Bahan Penelitian**

Bahan yang dipakai dalam penelitian berupa gelagar plat penampang kotak.

#### **4.2 Model Benda Uji**

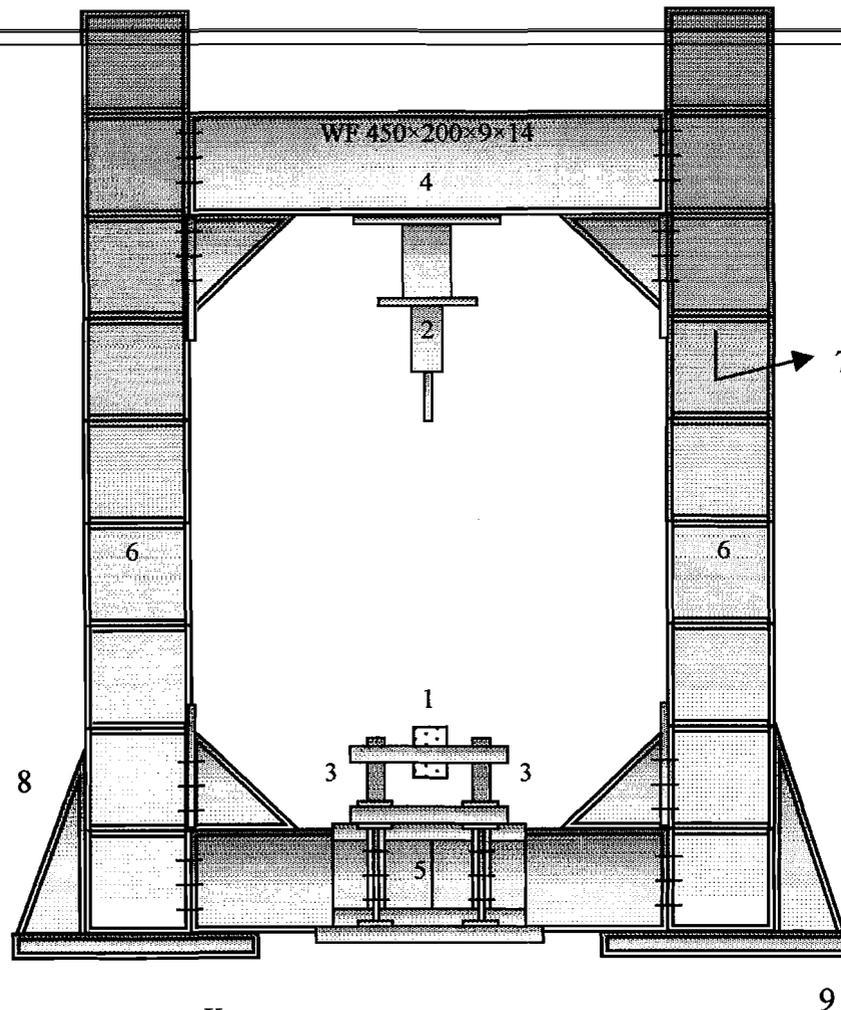
Model benda uji adalah gelagar plat penampang kotak dengan tebal plat badan ( $t$ ) = 2 mm, digunakan profil siku (30×30×3) mm sebagai pengaku yang terletak pada reaksi dukungan dan dibawah beban terpusat. Benda uji dibuat sebanyak tiga buah dengan perlakuan :

1. Gelagar plat dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 0.48
2. Gelagar plat dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 1.0
3. Gelagar plat dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 1.5

#### **4.3 Peralatan Penelitian**

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

1. *Loading Frame*



**Keterangan :**

1. Model Balok
2. Hydraulic Jack
3. Dukungan
4. Balok Portal (bisa digeser)
5. Balok Lintang
6. Kolom
7. Pengaku
8. Angkur
9. Plat Dasar

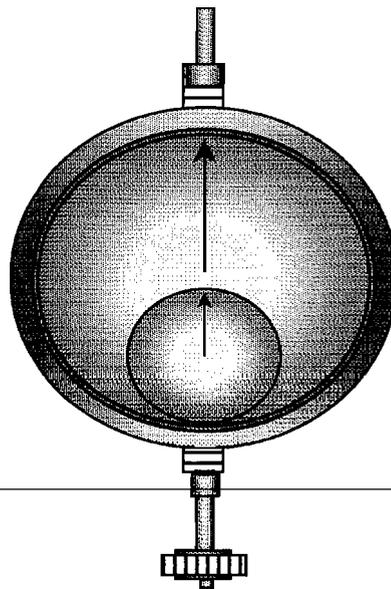
**Gambar 4.1 Loading Frame**

Untuk keperluan penelitian ini telah dibuat *Loading Frame* dari bahan baja profil WF 450×200×9×14 mm (Gambar 4.1). Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara plat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap stabil, plat dasar

dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450×200×9×14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut.

## 2. *Dial Gauge*

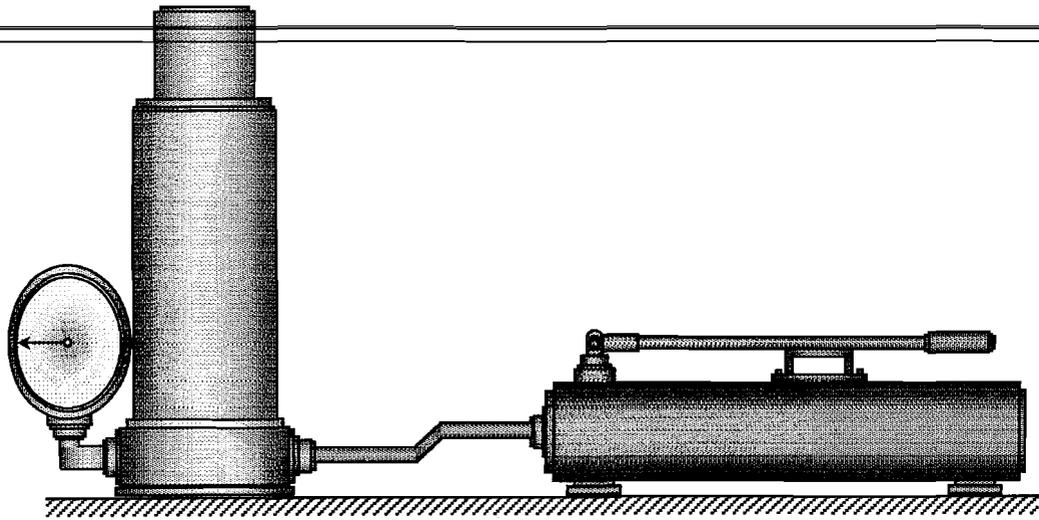
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi (Gambar 4.2). Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm.



**Gambar 4.2** *Dial Gauge*

## 3. *Hydraulic Jack*

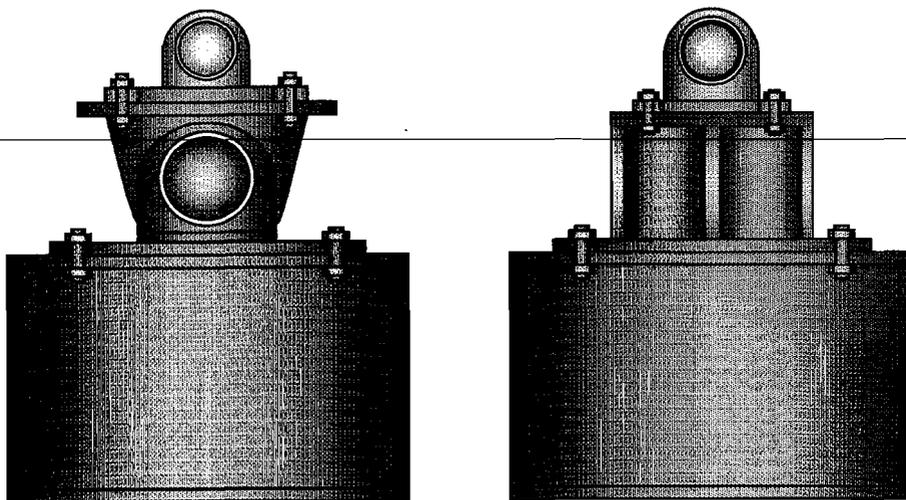
Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur balok skala penuh (Gambar 4.3). Dalam penelitian ini digunakan *hydraulic jack* dengan kapasitas maksimum yang dimiliki adalah 25 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0.5 ton.



**Gambar 4.3** *Hydraulic Jack*

### 3. Dukungan Sendi dan Rol

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 (Gambar 4.4).

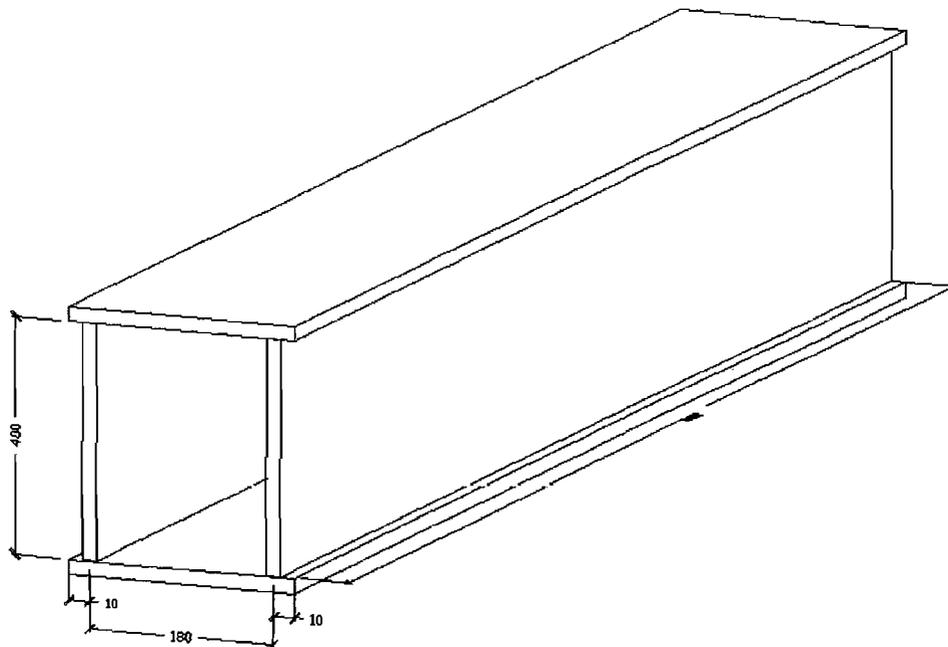


(a) Dukungan rol

(b) Dukungan sendi

**Gambar 4.4** Dukungan sendi dan rol

#### 4.4 Benda Uji



**Gambar 4.5 Model benda uji**

**Tabel 4.1 Variasi rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/t_w$ )**

Variasi	Rasio Jarak Pengaku Terhadap Tinggi Badan ( $a/h$ )
1	0.48
2	1.00
3	1.05

#### 4.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji penelitian dilakukan di bengkel daerah Jl. Kaliurang Km 13 Sleman, Jogjakarta. Setelah perhitungan proporsi dimensi badan, sayap, panjang dan jarak pengaku benda uji didapat, maka selanjutnya 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 plateser untuk badan dan

---

plat sambung serta plat siku untuk plat sayap dan pengaku sesuai dengan ukuran

---

yang telah direncanakan. Pemotongan bahan uji dilakukan secara manual menggunakan gergaji besi.

2. Plateser untuk plat badan disambung lebih dahulu menggunakan plat sambung dengan alat sambung las, kemudian dipasang pengaku pada bagian dalam sayap dan badan yang disesuaikan dengan perhitungan perencanaan.
3. Plat badan dan sayap yang sudah diberi pengaku disatukan dengan menggunakan alat sambung berupa las sehingga membentuk kotak.

#### 4.6 Jumlah Benda Uji

Setelah gelagar benda uji telah selesai dibuat, maka dilakukan pengujian lentur di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Banyaknya benda uji yang dibuat dalam penelitian ini adalah :

1. Variasi 1 : 1 buah gelagar plat dengan panjang ( $L$ ) = 4800 mm, tebal sayap ( $t_s$ ) = 2 mm, lebar sayap ( $b$ ) = 200 mm, tebal badan ( $t_w$ ) = 2 mm, tinggi badan ( $h$ ) = 400 mm, rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 0,48.
2. Variasi 2 : 1 buah gelagar plat dengan panjang ( $L$ ) = 4800 mm, tebal sayap ( $t_s$ ) = 2 mm, lebar sayap ( $b$ ) = 200 mm, tebal badan ( $t_w$ ) = 2 mm, tinggi badan ( $h$ ) = 400 mm, rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 1,00.
3. Variasi 3 : 1 buah gelagar plat dengan panjang ( $L$ ) = 4800 mm, tebal sayap ( $t_s$ ) = 2 mm, lebar sayap ( $b$ ) = 200 mm, tebal badan ( $t_w$ ) = 2 mm, tinggi

badan ( $h$ ) = 400 mm, rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan

$$(a/h) = 1,50.$$

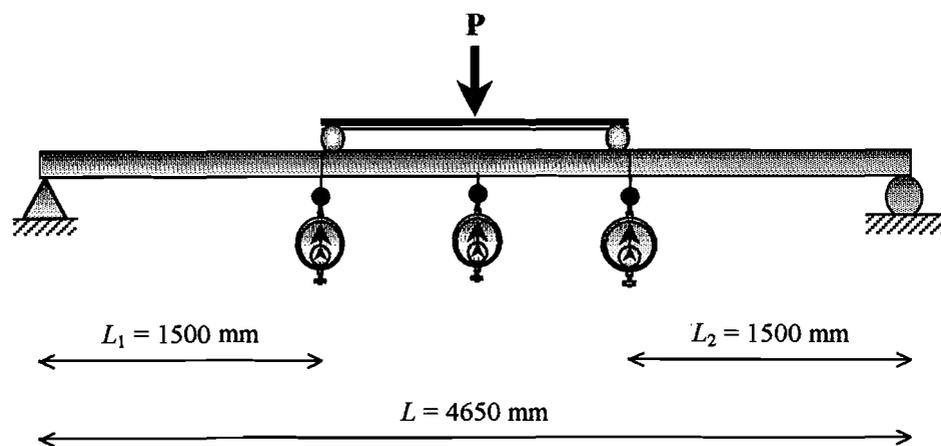
#### 4.7 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilakukan secara bertahap sesuai dengan banyaknya benda uji.

##### 4.7.1 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 diletakkan pada tumpuan sesuai dengan tanda yang telah diberikan serta letak bebannya. Di bawah 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 4.6.



**Gambar 4.6** Perletakkan benda uji

---

2. Benda uji siap diuji. *Hiraulic Jack* dipompa guna melakukan pembebanan secara perlahan-lahan, beban konstan dan dinaikkan secara berangsur-angsur sampai beban maksimum sehingga benda uji akan mengalami tekuk.

#### **4.7.2 Pengujian Kuat Tarik baja**

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian tarik baja adalah beban maksimum. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan membagi beban maksimum dengan luas rata-rata. Dalam pengujian tarik baja digunakan benda uji sebanyak tiga buah.

---

---

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

##### 5.1.1 Kualitas Plat Baja

Untuk mengetahui kualitas plat baja yang dipakai untuk benda uji, dilakukan uji tarik baja, hasil uji tarik baja ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil uji tarik baja

P Luluh (kN)	P Max (kN)	P Patah (kN)	Fy (kg/cm <sup>2</sup> )
1705	2075	1600	2964
1720	2130	1550	3043
1695	2080	2080	2971

Berdasarkan data diatas maka kuat tarik rata-rata dari ketiga sampel uji tarik baja adalah sebesar 290 Mpa.

##### 5.1.2 Hubungan Beban-Lendutan

###### 1. Hubungan Beban-Lendutan Teoritis

Nilai hasil perhitungan beban-lendutan secara teori menggunakan *Central Difference Method* ditampilkan dalam Tabel 5.2. Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian sedangkan besar lendutannya dihitung dengan Persamaan 3.62.

**Tabel 5.2** Perhitungan beban-lendutan secara teoritis

P (kN)	EI (kNmm <sup>2</sup> )	L (mm)	$\Delta$ (mm)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	1.073E+10	4650	0	0	0
3	1.073E+10	4650	9.98E+01	2325	2.167E-07
6	1.073E+10	4650	2.00E+02	4650	4.333E-07
9	1.073E+10	4650	2.99E+02	6975	6.500E-07
12	1.073E+10	4650	3.99E+02	9300	8.667E-07
15	1.073E+10	4650	4.99E+02	11625	1.083E-06
18	1.073E+10	4650	5.99E+02	13950	1.300E-06

## 2. Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian

Pengujian lentur gelagar plat penampang kotak (*box girder*) dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada sampel *box girder* tersebut diberi pembebanan di dua titik secara bertahap dengan interval pembebanan 3 KN pada setiap tahap pembebanan, kemudian dipasang *dial gauge* sebanyak tiga buah yang diletakkan di bawah model benda uji untuk mengetahui lendutannya. Lendutan yang terjadi dicatat, yang hasilnya disajikan pada Tabel 5.3. Untuk hasil selengkapnya disajikan dalam lampiran. Selain itu Tabel 5.4 menunjukkan beban maksimum yang dicapai untuk model uji gelagar plat dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) dengan rasio tinggi terhadap tebal konstan ( $h/t_w$ ) yang diuji dalam penelitian ini.

**Tabel 5.3** Perhitungan beban-lendutan hasil penelitian  
dengan  $a/h = 0.48$

Dial 1 ( $\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ( $\times 10^{-2}$ mm)	Beban (kN)	Momen (kNmm)
0	0	0	0	0
136	132	81	3	2325
385	451	366	6	4650

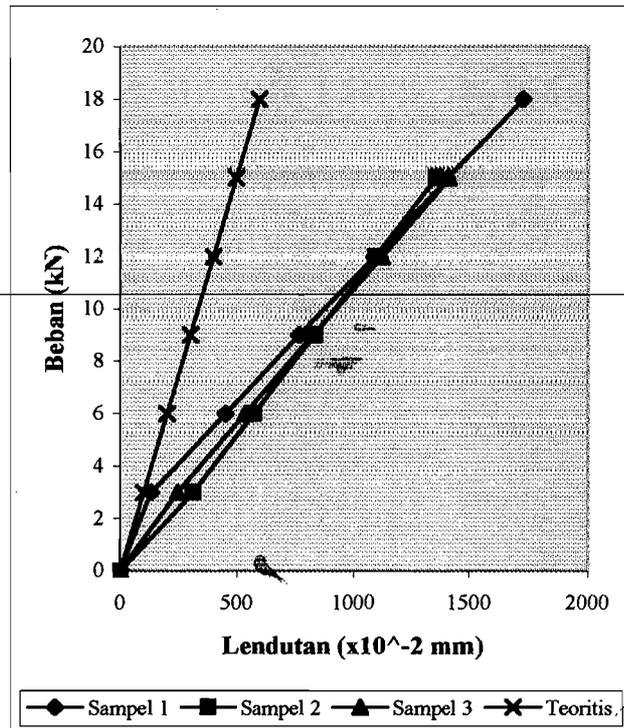
635	770	650	9	6975
884	1089	935	12	9300
1134	1409	1220	15	11625
1383	1728	1504	18	13950

**Tabel 5.4** Kekuatan maksimum gelagar plat dengan berbagai variasi

No	Variasi Rasio Jarak Pengaku Terhadap Tinggi Badan	P Max (kN)	P Max (%)
1	$a/h = 0.48$	18	100.000
2	$a/h = 1.00$	15	83.333
3	$a/h = 1.50$	15	83.333

### 3. Grafik Hubungan Beban-Lendutan

Dari hasil perhitungan secara teoritis dan hasil pengujian ketiga sampel gelagar plat dengan variasi  $a/h$  maka dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan.



**Gambar 5.1** Grafik hubungan beban-lendutan hasil penelitian dan teoritis

Dari grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian yang ditunjukkan pada

Gambar 5.1, mulai titik awal pembebanan sampai terjadi kerusakan (tekuk), balok gelagar uji berperilaku elastis dan berbentuk linear. Setelah mengalami sedikit kerusakan, gelagar 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.

#### 4. Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar 5.1 dapat disimpulkan tentang kekakuan gelagar pada beban ultimit disajikan dalam Tabel 5.5.

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

Nama Gelagar	P (kN)	Lendutan ( $\times 10^{-2}$ mm)	Kekakuan (kN/mm)	Kekakuan (%)
a/h = 0.48	18	1504	1.197	100.00
a/h = 1.00	15	1255	1.195	99.87
a/h = 1.50	15	1255	1.195	99.87

Dari Tabel 5.5 dapat diamati dan diteliti pengaruh rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) pada kekuatan lentur gelagar plat penampang kotak (*box girder*) dan perilaku lendutan yang terjadi pada benda uji. Selain itu, dari Gambar 5.1 dapat disimpulkan tentang daktilitas lendutan yang disajikan dalam Tabel 5.6.

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

Nama Gelagar	P (kN)	$\Delta y$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	$\Delta_{total}$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	Daktilitas	Daktilitas (%)
a/h = 0.48	18	1560	1560	1	100
a/h = 1.00	15	1238	1238	1	100
a/h = 1.50	15	1322	1322	1	100



---

### 5.1.3 Hubungan Momen-Kelengkungan

---

#### 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 5.7 dan grafiknya pada Gambar 5.2.

Dari data perhitungan momen-kelengkungan teoritis dapat digambarkan grafiknya. Grafik tersebut akan dibandingkan dengan grafik hasil pengamatan yang diperoleh dari hasil pengujian model uji gelagar plat penampang kotak dengan tiga variasi rasio jarak pengaku dengan tinggi badan ( $a/h$ ).

#### 2. Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Penelitian

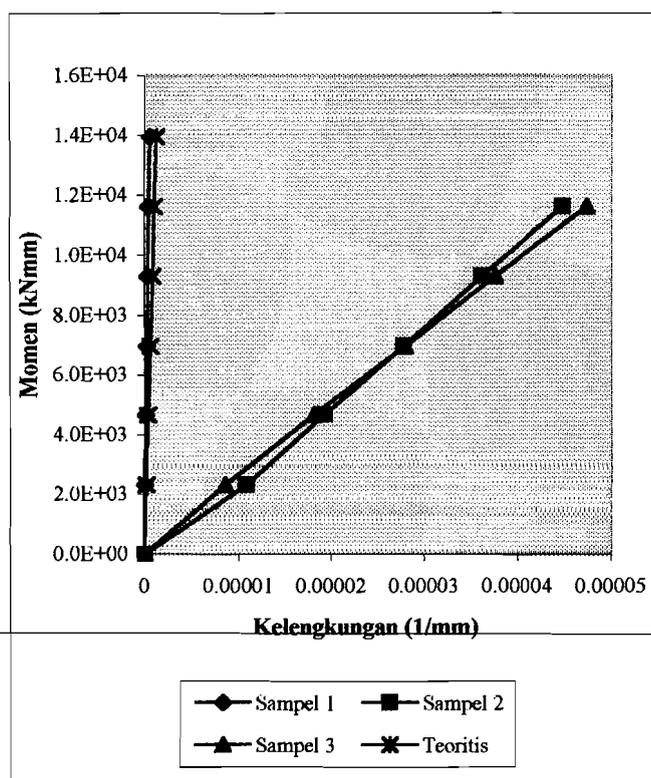
Dari hasil uji lentur didapat data berupa beban dan lendutan, dari data tersebut dapat diketahui momen dan kelengkungan. Hubungan momen-kelengkungan dapat dilihat pada Persamaan 3.54.

Peningkatan kelengkungan terjadi bila momen bertambah besar atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat lentur gelagar. Kelengkungan gelagar diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan *Central Difference Method*, dari data pembacaan dial dapat dicari momen dan kelengkungan seperti yang terlihat pada Tabel 5.7, untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Dari Tabel 5.7 dapat digambarkan grafik momen-kelengkungan seperti yang terlihat pada Gambar 5.2, dan untuk hasil grafik momen-kelengkungan selengkapnya disajikan dalam lampiran.

Tabel 5.7 Perhitungan momen-kelengkungan hasil penelitian dengan  $a/h = 0.48$ 

Dial 1 ( $\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ( $\times 10^{-2}$ mm)	Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
136	132	81	3	2325	5.59625E-08
385	451	366	6	4650	1.61572E-07
635	770	650	9	6975	2.67532E-07
884	1089	935	12	9300	3.73142E-07
1134	1409	1220	15	11625	4.79277E-07
1383	1728	1504	18	13950	5.85062E-07



Gambar 5.2 Grafik hubungan momen-kelengkungan hasil penelitian dan teoritis

### 3. Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Hubungan momen-kelengkungan menunjukkan kekakuan. Dalam hal ini didapat dari  $M/\Phi$ , faktor kekakuan pada gelagar plat secara umum mempunyai perilaku yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik  $M/\Phi$  yang

diperoleh dari data laboratorium. Dari grafik yang terlihat dalam Gambar 5.2 maka dapat dibuat analisa data.

**Tabel 5.8** Analisa Kekakuan dari data hubungan momen kelengkungan

Nama Gelagar	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kNmm <sup>2</sup> )	Momen (%)	EI (%)
a/h = 0.48	13950	5.85062E-07	2.38436E+10	100	100.000
a/h = 1.00	11625	4.48401E-05	2.59255E+08	83.333	1.087
a/h = 1.50	11625	4.74014E-05	2.45246E+08	83.333	1.029

Dari Gambar 5.2 juga bisa diamati pengaruh rasio tinggi dan tebal badan ( $h/t_w$ ) terhadap daktilitas lengkung gelagar yang disajikan dalam Tabel 5.9.

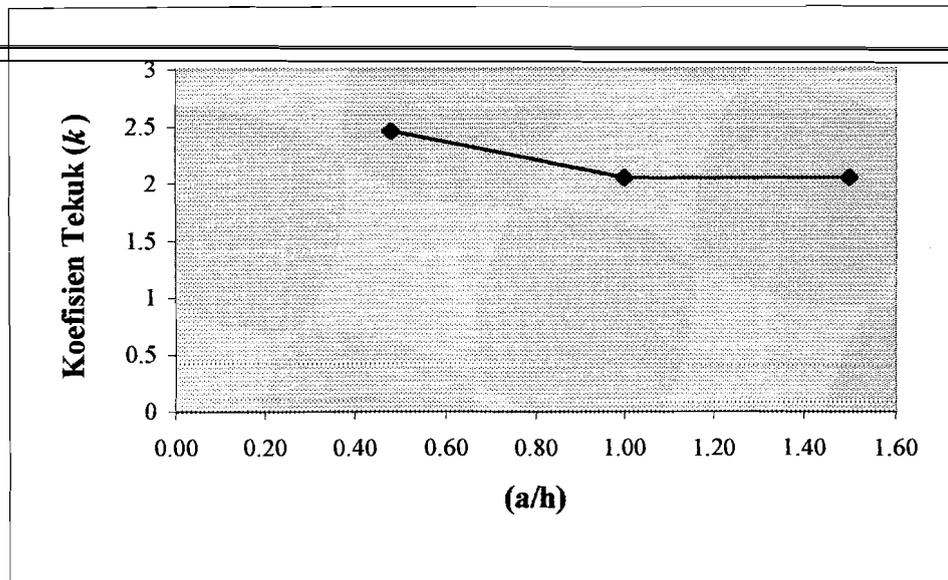
**Tabel 5.9** Analisa daktilitas kelengkungan dari data hubungan momen-kelengkungan

Nama Gelagar	Momen (kNmm)	$\Phi_y$ (1/mm)	$\Phi_{total}$ (1/mm)	Daktilitas $\Phi_{tot}/\Phi_y$	Daktilitas (%)
a/h = 0.48	13950	5.85062E-07	5.85062E-07	1	100
a/h = 1.00	11625	4.48401E-05	4.48401E-05	1	100
a/h = 1.50	11625	4.74014E-05	4.74014E-05	1	100

#### 5.1.4 Hubungan Aspect Ratio ( $a/h$ ) Dengan Koefisien Tekuk ( $k$ )

##### 1. Hubungan ( $a/h$ ) dengan koefisien tekuk ( $k$ )

Dari hasil uji lentur didapat data berupa beban, dari data tersebut dapat diketahui momen, tegangan kritis ( $\tau_{cr}$ ) dan nilai koefisien tekuk ( $k$ ) yang terjadi. Peningkatan nilai koefisien tekuk terjadi bila nilai ( $a/h$ ) mengecil sehingga terjadi peningkatan tegangan kritis ( $\tau_{cr}$ ). Hal ini sesuai dengan rumus 3.47. Dari tabel 5.10 dapat digambarkan grafik hubungan koefisien tekuk ( $k$ ) dengan rasio jarak pengaku terhadap tebal badan ( $a/h$ ) seperti terlihat pada gambar 5.3.



**Gambar 5.3** Hubungan koefisien tekuk ( $k$ ) dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) pada sayap

## 2. Analisa data hubungan ( $a/h$ ) dengan tegangan kritis pada sayap dan badan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan aspect rasio ( $a/h$ ) dengan koefisien tekuk ( $k$ ) dapat disimpulkan tentang nilai koefisien tekuk ( $k$ ) pada rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) yang terbesar, seperti yang disajikan pada tabel

5.10.

**Tabel 5.10** Analisa koefisien tekuk ( $k$ ) hubungan aspect ratio ( $a/h$ ) dan tegangan kritis ( $\tau_{cr}$ )

Nama Gelagar	Aspek Rasio ( $a/h$ )	$M_{cr}$ (Mpa)	$F_{cr}$ (Mpa)	Koefisien Tekuk ( $k$ )	Koefisien Tekuk (%)
	$a/h = 0.48$	13.950	52.2595	2.290	100
	$a/h = 1.00$	11.625	43.5496	1.908	83.319
	$a/h = 1.50$	11.625	43.5496	1.908	83.319

Dari tabel 5.10 terlihat bahwa semakin tinggi nilai ( $a/h$ ) maka nilai tegangan geser kritis ( $\tau_{cr}$ ) dan nilai koefisien tekuk ( $k$ ) semakin kecil.

---

### 5.15 Analisa Kerusakan Pada Benda Uji

---

Kerusakan yang terjadi pada ketiga benda uji penelitian ini adalah terjadi tekuk arah vertikal pada plat sayap. Kerusakan pada sayap merupakan kerusakan akibat gaya tekan sebagai manifestasi momen yang diterima sedangkan pada plat badan mengalami kerusakan yang diakibatkan tegangan geser yang terjadi. Letak kerusakan pada sampel uji rata-rata terletak di bawah beban terpusat.

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan

Pengamatan terhadap gambar-gambar pada lampiran, yaitu grafik hubungan beban-lendutan sebelum dinetralisir dapat dilihat bahwa gelagar memiliki kecenderungan kuat lentur yang sama. Mulai dari kuat lentur awal sampai kuat lentur ultimit, kurva melengkung tetapi mendekati linear. Setelah mencapai kuat lentur ultimit, gelagar mengalami kerusakan dan terjadi penurunan kuat lentur.

Dari hasil penelitian didapatkan hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ), dalam hal ini adalah nilai kekakuan dari masing-masing gelagar. Nilai kekakuan didapat dari  $P/\Delta$ , kekakuan pada gelagar secara umum mempunyai perilaku yang hampir sama. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik beban-lendutan yang diperoleh dari data laboratorium. Dari pengujian ini tidak diperoleh kurva yang plastis karena sampel pada sayap mengalami tekuk lokal atau kegagalan dini hal ini dikarenakan tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan leleh.

Dari analisa beban-lendutan dapat diperoleh perbandingan kurva lendutan gelagar dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ). Sebagai

---

pembandingan atau standar kekakuan dipakai gelagar dengan  $a/h = 0.48$ , dengan menganggap besar kekakuannya yaitu 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai kekakuan dari gelagar plat.

Untuk gelagar variasi 1 dengan  $a/h = 0.48$ , beban maksimumnya adalah 18 kN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 1.197 kN/mm. Gelagar variasi 2 dengan  $a/h = 1.00$ , rata-rata beban maksimumnya adalah 15 kN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 1.197 kN/mm. Gelagar variasi 3 dengan  $a/h = 1.50$ , rata-rata beban maksimumnya adalah 15 kN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 1.197 kN/mm. Beban maksimum gelagar plat mengalami penurunan sebesar 16.667 % dan nilai kekakuan mengalami kenaikan sebesar 0.13 % terhadap gelagar dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 1.00. Beban maksimum gelagar plat mengalami penurunan sebesar 16.667 % dan nilai kekakuan mengalami penurunan sebesar 0.13 % terhadap gelagar dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 1.50.

Dari ketiga sampel gelagar plat penampang kotak tersebut diatas, rata-rata mengalami pola kegagalan berupa tekuk lokal yang terjadi pada bagian sayap maupun badan.

### **5.2.2 Daktilitas Simpangan Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan**

Besarnya lendutan pada beban maksimum dan lendutan maksimum pada gelagar merupakan dasar untuk mencari daktilitas gelagar. Daktilitas simpangan merupakan perbandingan dari  $\Delta_{tot}/\Delta_y$ . Berdasarkan pengamatan pada grafik hubungan beban-lendutan yang kemudian dianalisa seperti ditampilkan pada Tabel

---

5.6, dapat dilihat daktilitas dari masing-masing gelagar dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) dan dapat dibandingkan dengan gelagar yang  $a/h = 0.48$  sebagai pembandingnya dengan menganggap daktilitas dan beban ultimitnya sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai daktilitas.

Pada gelagar dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 0.48, gelagar mempunyai nilai daktilitas sebesar 100 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 18 KN. Gelagar dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 1.00 dan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 1.50, gelagar tidak mengalami perubahan daktilitas yaitu sebesar 100 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 15 KN.

### **5.2.3 Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Momen-Kelengkungan**

Grafik hubungan momen-kelengkungan memiliki perilaku yang tidak jauh berbeda dengan kuat lentur dari grafik hubungan beban-lendutan. Mulai dari kuat lentur awal akibat momen sampai kuat lentur ultimit, kurva melengkung, setelah mencapai kuat lentur ultimit gelagar mulai mengalami kerusakan yaitu tertekuk arah vertikal akibat gaya aksial yang cukup signifikan sehingga terjadi penurunan kuat lentur sedikit.

Kuat lentur paling besar dialami oleh gelagar dengan  $a/h = 0.48$  yaitu pada momen sebesar 13950 KNmm, sedangkan kuat lentur paling kecil dialami oleh gelagar dengan  $a/h = 1.00$  dan  $a/h = 1.50$  yaitu pada momen sebesar 11625KNmm. Kelengkungan paling panjang terjadi pada gelagar dengan  $a/h = 1.5$  dan

---

kelengkungan paling pendek terjadi pada gelagar dengan  $a/h = 1.0$ .

---

Hubungan momen-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 gelagar plat penampang kotak dengan tiga variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan.

Sebagai pembanding atau standar kekakuan gelagar plat dipakai gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 0.48 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 gelagar.

Pada gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 0.48 mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 23843600000 KNmm<sup>2</sup> pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar 13950 KNmm. Pada gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 1.0 dan mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 259255000 KNmm<sup>2</sup> pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar 11625 KNmm. Pada gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 1.5 dan mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 245246000 KNmm<sup>2</sup> pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momen sebesar 11625 KNmm. Gelagar plat mengalami peningkatan kekakuan sebesar 1.087 % untuk  $a/h = 1.0$  dan 1.029 % untuk  $a/h = 1.5$ .

---

#### 5.2.4 Daktilitas Lengkung Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Momen-Kelengkungan

---

Besarnya kelengkungan pada momen maksimum dan kelengkungan maksimum merupakan dasar untuk mencari daktilitas gelagar. Daktilitas kelengkungan didapat dari perbandingan  $\Phi_{tot}/\Phi_y$ . Dari tabel Tabel 5.9 yang diperoleh dari pengamatan perbandingan kurva kelengkungan gelagar dengan berbagai variasi jarak pengaku terhadap tinggi badan.

Sebagai pembanding atau standar daktilitas gelagar, dipakai gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan  $(a/h) = 0.48$ , dengan menganggap daktilitas dan momen maksimumnya sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh kenaikan atau penurunan nilai daktilitas.

Pada plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan  $(a/h) = 0.48$  mempunyai nilai daktilitas sebesar 1 pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 13950 KNmm. Gelagar plat dengan rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan  $(a/h) = 1.0$  dan  $(a/h)$  mempunyai nilai daktilitas sebesar 1 pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 11625 KNmm. Gelagar mengalami tidak mengalami perubahan kenaikan daktilitas.

#### 5.2.5 Kuat Geser Gelagar Plat Ditinjau dari Hubungan Aspect Rasio $(a/h)$ dengan Koefisien Tekuk ( $k$ )

Dengan mengamati gambar, yaitu grafik hubungan koefisien tekuk ( $k$ ) dengan aspect rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan  $(a/h)$  gelagar memiliki nilai koefisien tekuk yang berbeda. Gelagar yang diberi pengaku dengan jarak yang

pendek cenderung memiliki koefisien tekuk lebih besar daripada gelagar yang memiliki jarak pengaku jauh.

Koefisien tekuk paling besar dialami oleh gelagar yang diberi pengaku transversal dengan  $a/h = 0.48$  yaitu pada beban 18 kN, sedangkan koefisien tekuk paling kecil dialami oleh gelagar yang diberi pengaku transversal dengan  $a/h = 1.0$  dan  $a/h = 1.5$  yaitu pada beban 15 kN.

Hubungan aspect ratio  $a/h$  dengan koefisien tekuk  $k$  menunjukkan tegangan kritis geser, seperti yang terdapat pada tabel 5.10, maka dapat dilakukan analisa data hubungan aspect ratio  $a/h$  dengan koefisien tekuk  $k$  sehingga dapat diperoleh perbandingan nilai tegangan kritis geser gelagar plat dengan tiga model gelagar, yaitu gelagar dengan rasio jarak pengaku  $a/h = 0.48$ ,  $a/h = 1.0$  dan  $a/h = 1.5$ .

Sebagai pembanding atau standar nilai  $k$  gelagar plat dipakai gelagar yang memiliki rasio jarak pengaku  $a/h = 0.48$  dengan menganggap besar nilai tegangan kritis sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh besarnya kenaikan atau penurunan tegangan kritis dari gelagar.

Pada gelagar plat dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 0.48 mempunyai tegangan kritis sebesar 52.2595 Mpa pada saat gelagar memiliki beban maksimum 18 kN. Pada gelagar plat dengan variasi jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) = 1.0 dan ( $a/h$ ) = 1.5 mempunyai tegangan kritis sebesar 43.5496 Mpa pada saat gelagar menerima beban maksimum sebesar 15 kN.

Nilai koefisien tekuk ( $k$ ) gelagar plat penampang kotak yang diperoleh dalam penelitian hasilnya masuk dalam teori yang telah ada, meskipun hasilnya masih

---

belum sempurna. Ketidakterampilan ini dikarenakan sayap sudah terjadi kerusakan terlebih dahulu yaitu tekuk vertikal akibat beban aksial. Kerusakan ini disebut kegagalan dini, oleh karena itu badan belum terjadi kerusakan sehingga badan belum mencapai kuat lentur. Bentuk kerusakan yang terjadi kemungkinan dikarenakan sambungan las tidak kuat menahan gaya tekan sebelum plat sayap maupun plat badan tertekuk. Adapun cara lain untuk mengatasi kegagalan ini dengan cara menambah ketebalan plat sayap.

---

---

---

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan mengenai perilaku gelagar plat penampang kotak dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ), yaitu sebagai berikut :

1. Rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) berpengaruh terhadap kekakuan dan kekuatan gelagar plat. Semakin kecil rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) maka semakin besar kekakuan gelagar plat. Grafik hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ) menunjukkan bahwa semakin kecil rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) maka kekakuan ( $k$ ) gelagar plat semakin besar.
2. Grafik hubungan antara momen-kelengkungan ( $M-\Phi$ ) menunjukkan bahwa semakin kecil rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ) maka faktor kekakuan lentur ( $EI$ ) gelagar plat semakin besar.
3. Semakin besar kekuatan yang mampu ditahannya. Semakin kecil nilai  $a/h$  maka semakin besar momen yang ditahan.
4. Semakin kecil nilai  $a/h$  maka nilai koefisien tekuk semakin besar. Dalam penelitian ini nilai koefisien tekuk berlaku antara 1,908-2.29.

---

## 6.2 Saran

---

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut tentang gelagar plat penampang kotak dengan variasi rasio jarak pengaku terhadap tinggi badan ( $a/h$ ), baik pengaku transversal maupun pengaku longitudinal.
2. Perlu dicari pemecahan untuk mengatasi kerusakan akibat tekuk lokal pada plat sayap tekan serta tekuk akibat gaya geser pada plat badan yaitu dengan memperhatikan cara pengelasan sehingga didapatkan kekuatan yang maksimal.
3. Di perlukan penelitian lebih lanjut tentang gelagar plat penampang kotak dengan menggunakan variasi  $a/h$  terhadap  $h/t_w$ .
4. Pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pengamatan dalam membaca alat uji dan kerusakan yang terjadi pada benda uji sehingga dapat diperoleh data yang lebih valid dan akurat.

---

---

## DAFTAR PUSTAKA

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1990, **STRUKTUR BAJA**, Erlangga, Jakarta.

Joseph E. Bowles, 1980, **STRUKTUR STEEL DESIGN**, McGraw-Hill Book Company, Inc.

Leonard Spiegel, George F. Limbrunner, Bambang Suryoatmono, 1991, **DESAIN BAJA STRUKTURAL TERAPAN**, PT. ERESKO, Bandung.

Lynn S. Beedle, 1958, **PLASTIC DESIGN OF STEEL FRAMES**, Johns Willey & Sons, Inc.

Timoshenko dan Woinowski-Kriger, 1959, **THEORY OF PLATES AND SHELLS**, McGraw-Hill Book Company, Inc, New York.

NS. Trahair dan MA. Bradford, 1988, **THE BEHAVIOUR and DESIGN of STEEL STRUCTURES**, Chapman dan Hall, New York.

---

---

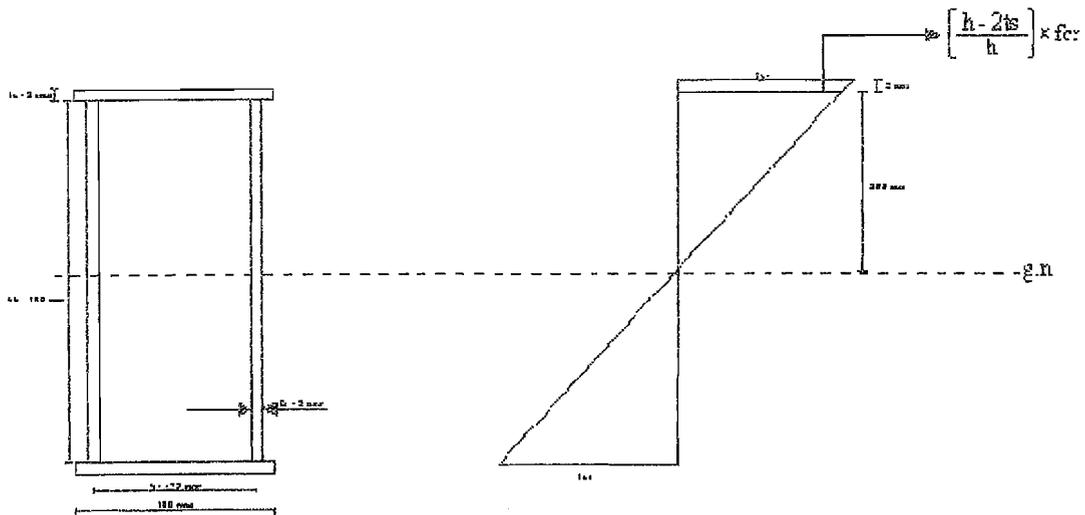
**LAMPIRAN**

---

---

## LAMPIRAN I

### PERHITUNGAN BENDA UJI



$$f_{cr} = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{M}{S_x}$$

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

$$I_{badan} = 2 \times \left[ \frac{1}{12} \times 2 \times 400^3 \right] = 21333333.33 \text{ mm}^4$$

$$I_{sayap} = 2 \times \left[ \frac{1}{12} \times 200 \times 2^3 + 200 \times 2 \times 201^2 \right] = 32321066.67 \text{ mm}^4$$

$$I_{total} = 21333333.33 + 32321066.67 = 53654400 \text{ mm}^4$$

$$y = 0.5 \times h = 0.5 \times 404 = 201 \text{ mm}$$

$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{53654400}{201} = 266937.3134 \text{ mm}^3$$

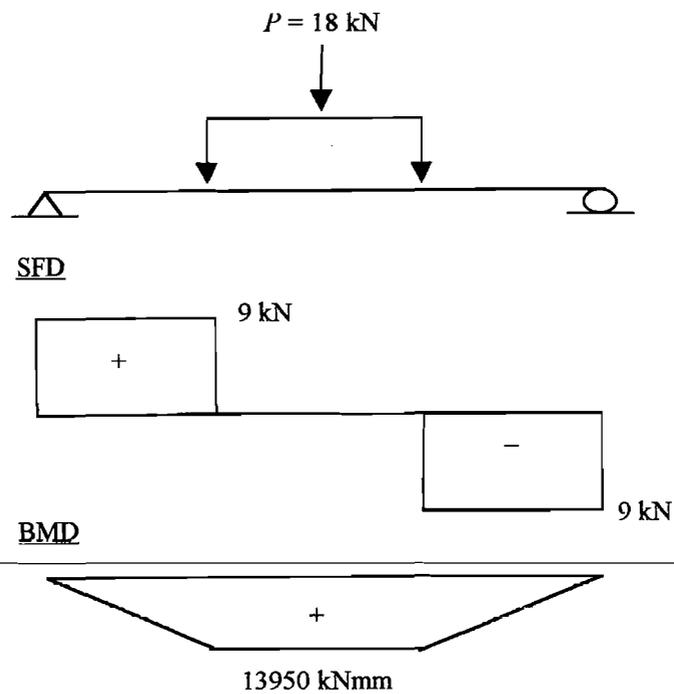
$$M_{cr} = \frac{1}{6} \times P_{cr} \times L$$

$$F_{cr} = \frac{k \times \pi^2 \times E}{12 \times (1 - \mu^2) \left( \frac{b}{t_s} \right)^2}$$

1.  $(a/h) = 0.48$

$P = 18 \text{ kN}$

$L = 4650 \text{ mm}$



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

$$= \frac{1}{6} \times 18 \times 4650$$

$$= 13950 \text{ kNmm}$$

$$F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S}$$

$$= \frac{13950}{266937.3134}$$

$$= 0.0522595 \text{ kN/mm}^2$$

$$= 52.2595 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \frac{k \times \pi^2 \times E}{12 \times (1 - \mu^2) \times \left(\frac{b}{t_s}\right)^2}$$

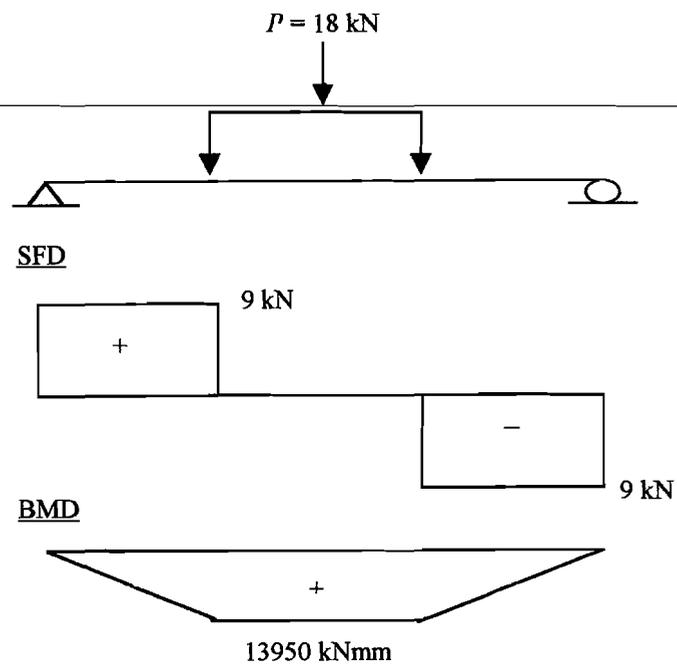
$$52.2595 = \frac{k \times \pi^2 \times 2.10^5}{12 \times (1 - 0.3^2) \times \left(\frac{178}{2}\right)^2}$$

$$k = 2.29$$

2.  $(a/h) = 0.48$  dan  $(a/h) = 1.0$

$$P = 15 \text{ kN}$$

$$L = 4650 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \frac{1}{6} \times P_{cr} \times L \\
 &= \frac{1}{6} \times 15 \times 4650 \\
 &= 11625 \text{ kNmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \frac{M_{cr}}{S} \\
 &= \frac{11625}{266937.3134} \\
 &= 0.0435496 \text{ kN/mm}^2 \\
 &= 43.5496 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$F_{cr} = \frac{k \times \pi^2 \times E}{12 \times (1 - \mu^2) \times \left(\frac{b}{t_s}\right)^2}$$

$$43.5496 = \frac{k \times \pi^2 \times 2.10^5}{12 \times (1 - 0.3^2) \times \left(\frac{178}{2}\right)^2}$$

$$k = 1.908$$

Tabel hasil perhitungan laboratorium

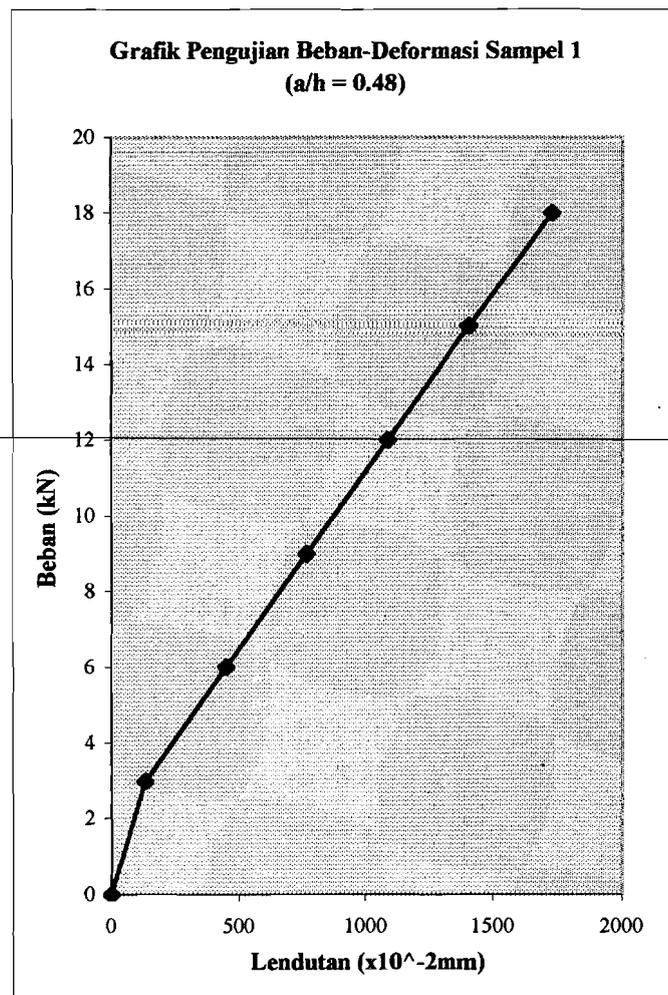
a/h	Ix mm <sup>4</sup>	y mm	Sx mm <sup>3</sup>	Per kN	Mcr kNmm	Fcr Mpa	k
0.48	53654400	201	266937.31	18	13950	52.2595	2.29
1	53654400	201	266937.31	15	11625	43.5496	1.908
1.5	53654400	201	266937.31	15	11625	43.5496	1.908

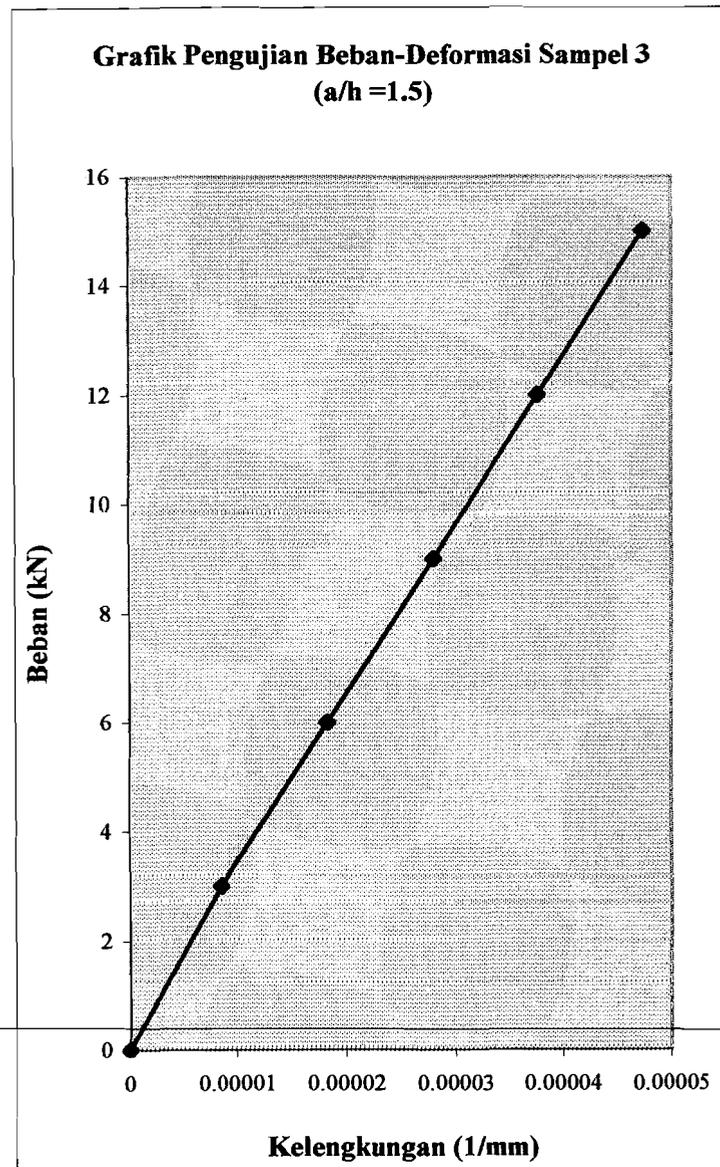
## LAMPIRAN II

### HASIL PENGUJIAN BEBAB-DEORMASI

#### SAMPEL I ( $a/h = 0.48$ )

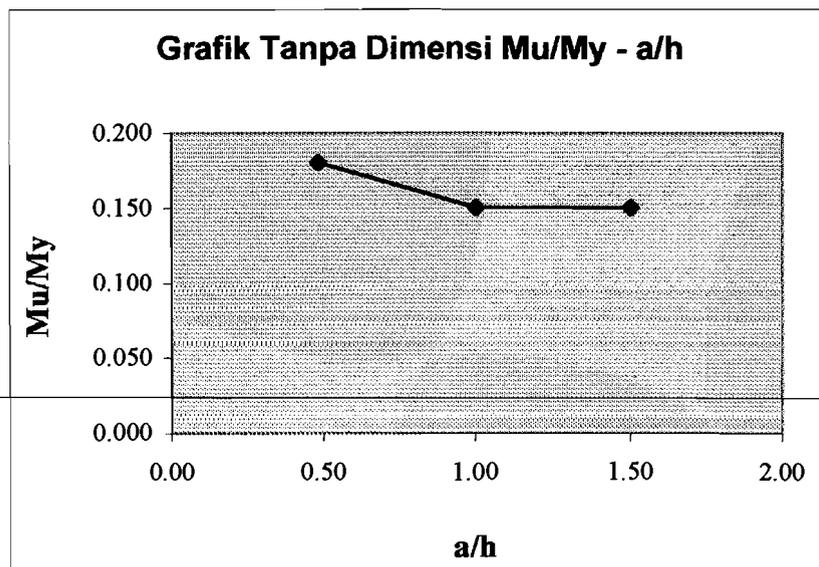
Dial 1 ( $\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ( $\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ( $\times 10^{-2}$ mm)	Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
136	132	81	3	2325	5.59625E-08
385	451	366	6	4650	1.61572E-07
635	770	650	9	6975	2.67532E-07
884	1089	935	12	9300	3.73142E-07
1134	1409	1220	15	11625	4.79277E-07
1383	1728	1504	18	13950	5.85062E-07

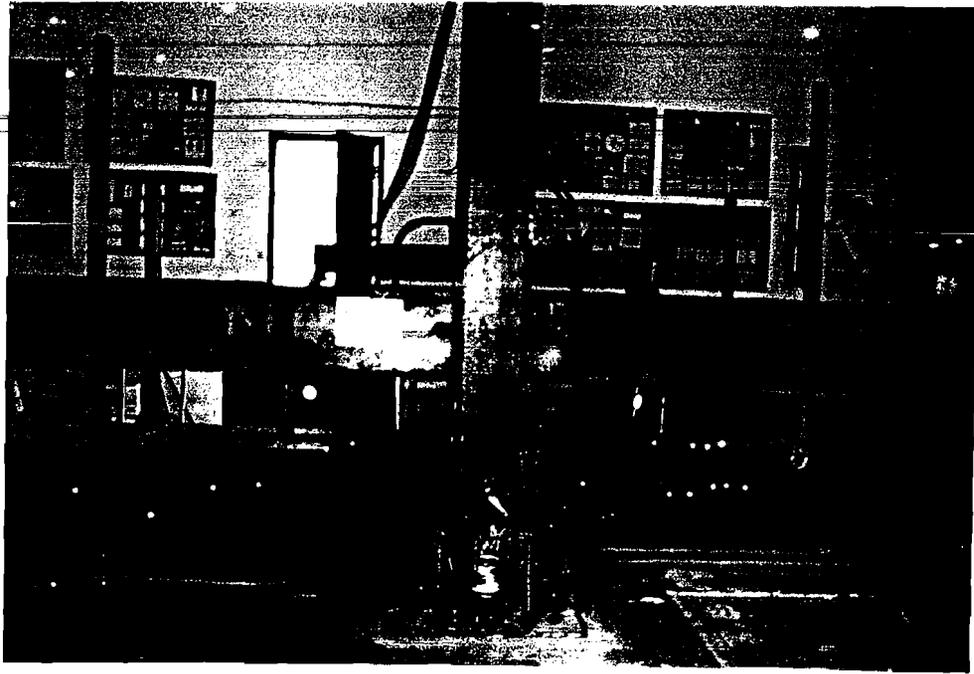




**LAMPIRAN V****HUBUNGAN TANPA DIMENSI  $M_u/M_y$** 

<b><math>M_y</math> (kNmm)</b>	<b><math>M_u</math> (KNmm)</b>	<b><math>a/h</math></b>	<b><math>M_u/M_y</math></b>
77412	13950	0.48	0.180
77412	11625	1.00	0.150
77412	11625	1.50	0.150





Gambar 1. Gelagar plat siap diuji



Gambar 2. Pelaksanaan pengujian gelagar plat

Gambar 3. Kerusakan pada gelagar plat

