

PERPUSTAKAAN FTSP UH	
HADIAN/DEMI	
TGL. TERIMA :	27 Juni 2006
NO. JUDUL :	004 69
NO. INV. :	020000 19 69 001
NO. INDUK :	

TUGAS AKHIR

**PERILAKU LENTUR GELAGAR PELAT  
PENAMPANG  $\nabla$  ( $\nabla$  SHAPED) DAN  $\nabla$  GANDA (BOTH  
 $\nabla$  SHAPED) TANPA PENGAKU PADA PEMBEBANAN  
STATIK**



Di susun oleh :

Nama : DEDI HERIANTO  
No. Mhs : 01 511 146

Nama : RAMDAN ARAFAT  
No. Mhs : 01 511 164

**DIBACA DI TEMPAT  
TIDAK DIBAWA PULANG**

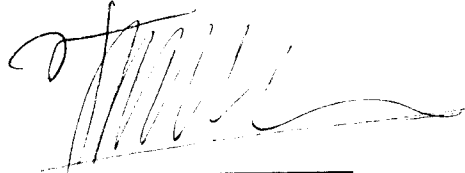
**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
JOGJAKARTA  
2006**

## HALAMAN PENGESAHAN

### PERILAKU LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG $\nabla$ TUNGGAL ( $\nabla$ SHAPED) DAN $\nabla$ GANDA (BOTH $\nabla$ SHAPED) TANPA PENGAKU PADA PEMBEBANAN STATIK



Ir. Fatkhurrohman N, MT  
Dosen Pembimbing

  
Tanggal : 7/02-2006

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

“ Carilah Ilmu sampai dinegeri cina “

“ Sampaikanlah walaupun satu ayat”

“ Hendaklah ada diantaramu kelompok yang selalu mengajak kepada kebajikan, memerintahkan kepada yang makruf dan mencegah dari kemungkaran, mereka itulah orang-orang yang bakal mencapai kebahagiaan”. (QS. Ali Imran : 104)

“ Dan janganlah sebagian kamu memakan harta sebagian yang lain di antara kamu dengan jalan yang bathil”. (QS. Al Baqarah : 188)

### PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini kupersembahkan buat,

1. Ibu Bapak yang tercinta.
2. Adik-adikku tersayang.
3. Sahabat-sahabat setiaku.
4. Para pembaca sekalian.

## KATA PENGANTAR

*Assalamu 'alaikum Wr. Wb.*

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, hidayah dan inayah-Nya yang membuat segalanya menjadi mungkin sehingga pada saat ini penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir sebagai salah satu persyaratan kelulusan sarjana S1 di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Tugas Akhir merupakan sarana bagi mahasiswa untuk mengaplikasikan ilmu dan pengetahuan yang telah di dapat selama mengikuti perkuliahan di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil UII untuk mendapatkan satu pengetahuan baru dari hasil penelitian yang dilakukan.

Pada kesempatan ini tidak berlebihan kiranya menyampaikan terima kasih kepada :

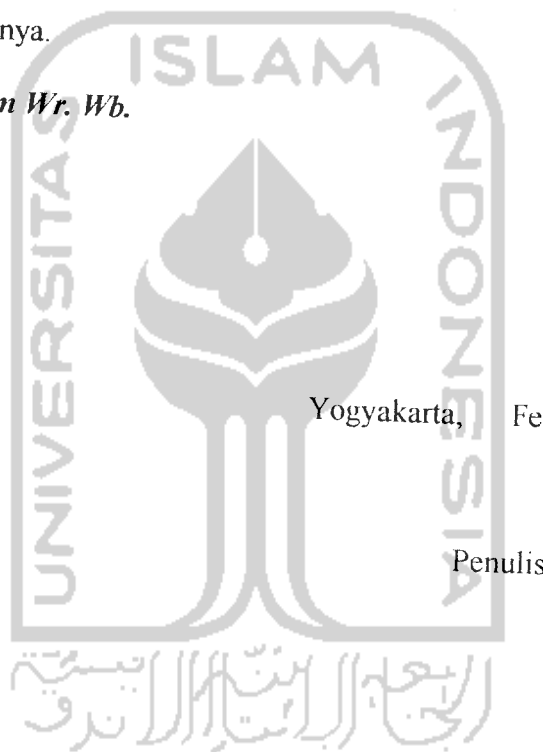
1. Ibu dan Bapak serta adikku tercinta atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala doa-nya.
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT selaku Dosen Pembimbing.
3. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Mas Aris selaku petugas laboratorium Mekanika Rekayasa.



6. Anang Arifin dan Nanang Lubis yang telah membantu dalam penelitian kami.
7. Teman-teman dekatku yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
8. Semua pihak yang telah membantu didalam penyusunan Tugas Akhir.

Besar harapan penulis dari pembaca untuk memberikan kritik serta saran demi tercapainya kesempurnaan penyusunan laporan penelitian Tugas Akhir ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis secara pribadi dan bagi siapa saja yang membacanya.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
ABSTRAKSI.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Keaslian Penelitian.....	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	4

<b>BAB II</b>	<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>BAB III</b>	<b>LANDASAN TEORI</b> .....	9
	3.1 Gelagar Pelat .....	9
	3.2 Hubungan beban-lendutan.....	10
	3.3 Hubungan Momen-Kelengkungan .....	15
	3.4 Persamaan Differensial untuk Lentur.....	20
	3.5 Tekuk Pelat pada Sayap Akibat Tekan.....	23
	3.6 Lentur pada Bidang Badan.....	26
	3.7 Tekuk Akibat Geser.....	27
	3.7.1 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni.....	27
	3.7.2 Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni .....	29
	3.7.3 Kekuatan Geser .....	30
	3.8 Kapasitas lentur gelagar pelat.....	31
	3.9 Tekuk pada Sayap .....	32
	3.10 Tekuk Pada Bidang Badan .....	33
	3.10.1 Tekuk Pada Badan Akibat Lentur .....	33
	3.11 Tekuk Puntir.....	34
	3.10.1 Tekuk Puntir – Lateral Elastis .....	35
	3.10.2 Tekuk Puntir – Lateral Tak Elastis.....	36
	3.12 Perhitungan Inersia Secara Teoritis .....	37
	3.13 Perhitungan Momen Kritis Secara Teoritis.....	39
	3.14 Hipotesis.....	39

<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN</b>	40
4.1	Tahap- Tahap Penelitian	40
4.2	Persiapan Bahan dan Alat	41
4.2.1	Bahan	41
4.2.2	Peralatan Penelitian	41
a.	Loading Frame	42
b.	Dial Gauge	43
c.	Dukungan Sendi dan Rol	43
d.	Hidraulic Jack	44
4.3	Model Benda Uji	44
4.3.1	Benda Uji Gelagar Pelat Penampang $\nabla$ dan $\nabla$ ganda	44
4.4	Pembuatan Benda Uji	45
4.5	Langkah Langkah Penelitian	45
4.5.1.	Uji Kuat Lentur Baja	45
<b>BAB V</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	47
5.1	Hasil Uji Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang $\nabla$ dan $\nabla$ ganda	47
5.1.1	Hubungan Beban-Lendutan	47
5.1.2	Hubungan Beban-Lendutan Gelagar $\nabla$ tanpa pebgaku dan $\nabla$ ganda tanpa pengaku	51
5.1.3	Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ )	54
5.1.4	Rasio Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ )	55
5.2	Pembahasan	56

5.2.1	Hubungan beban-Lendutan Pengujian .....	56
5.2.2	Rasio Nilai Tangan Kritis ( $F_{cr}$ ) .....	57
5.2.3	Rasio Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ).....	58
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>60</b>
6.1	Kesimpulan .....	60
6.2	Saran .....	61
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>62</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Gelagar Pelat Penampang I, $\nabla$ dan $\nabla$ ganda.....	10
Gambar 3.2	Distribusi tegangan dan regangan elastis pada pembebanan tegak lurus balok.....	10
Gambar 3.3.a	Pembebanan Balok .....	11
Gambar 3.3.b	Diagram momen .....	11
Gambar 3.3.c	Diagram geser.....	11
Gambar 3.3	Koefisien Tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana.....	13
Gambar 3.4	Hubungan Beban dan Lendutan pada Balok .....	15
Gambar 3.5	Deformasi segmen balok dalam lenturan .....	15
Gambar 3.6	Momen kelengkungan .....	17
Gambar 3.7	Grafik momen kelengkungan.....	19
Gambar 3.8	Pelat yang ditekan secara merata.....	21
Gambar 3.9	Koefisien tekuk pelat yang ditekan seraca merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana.....	22
Gambar 3.10	Koefisien tekuk pelat yang memikul tekanan merata dengan berbagai kondisi tepi .....	23

Gambar 3.11	Koefesien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi tekan.....	24
Gambar 3.12	Koefesien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi momen.....	25
Gambar 3.13	Koefesien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni.....	26
Gambar 3.14	Teori geser klasik.....	27
Gambar 3.15	Dua keadaan dari jarak pengaku.....	28
Gambar 3.16	Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada pelat badan : baja A36.....	32
Gambar 3.17	Defleksi tekuk pelat pada sayap (jepit-jepit).....	32
Gambar 3.18	Hubungan momen-rotasi.....	34
Gambar 4.1	Bagan alir metode penelitian.....	40
Gambar 4.2	Loading Frame.....	42
Gambar 4.3	Dial Gauge.....	43
Gambar 4.4	Dukungan sendi-rol.....	43
Gambar 4.5	Hidraulic Jack.....	44
Gambar 4.6	Model banda uji.....	44
Gambar 5.1	Grafik hubungan beban lendutan arah transversal gelagar $\nabla$ .....	48
Gambar 5.2	Grafik hubungan beban lendutan arah lateral gelagar $\nabla$ .....	49
Gambar 5.3	Grafik hubungan beban lendutan arah transversal gelagar $\nabla$ ganda..	50
Gambar 5.4	Grafik hubungan beban lendutan arah lateral gelagar $\nabla$ .....	51

Gambar 5.5 Grafik rasio hubungan beban lendutan ditengah bentang gelagar  $\nabla$   
dan  $\nabla_{ganda}$  ..... 52

Gambar 5.6 Grafik rasio hubungan beban lendutan arah lateral gelagar  $\nabla$  dan  
 $\nabla_{ganda}$  ..... 53

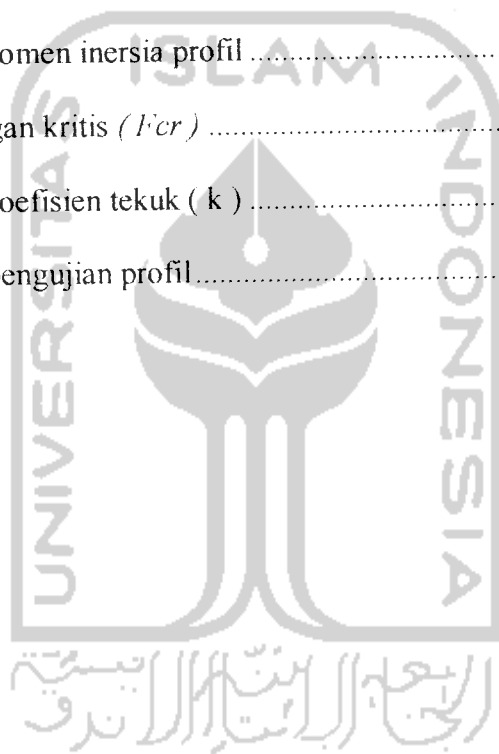
Gambar 5.7 Grafik hubungan beban gelagar I,  $\nabla_{60^\circ}$ ,  $\nabla_{45^\circ}$  dan  $\nabla_{ganda}$  ..... 56





## DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Nilai kekakuan ( $k$ ) .....	53
Tabel 5.2	Nilai momen inersia profil .....	54
Tabel 5.3	Tegangan kritis ( $f_{cr}$ ) .....	55
Tabel 5.4	Nilai koefisien tekuk ( $k$ ) .....	56
Tabel 5.5	Hasil pengujian profil .....	59



## DAFTAR NOTASI

$a$	=	Jarak antar penganku
$A_b$	=	$A_{bruto}$ = Luas penampang lintang bruto
$A_e$	=	Luas efektif
$A_f$	=	Luas bruto sebuah flens
$A_{pb}$	=	Luas kontak pengaku
$A_w$	=	Luasan badan
$b$	=	Lebar flens
$b_E$	=	Lebar efek dimana tegangan maksimum dapat dianggap sama rata yang dapat memberikan kapasitas tebal yang tepat.
$b_f$	=	Lebar flens
$C_b$	=	Faktor untuk menghitung gradien momen kekuatan balok, nilainya 1,0-2,3
$C_c$	=	Rasio kerampingan $KL/r$ yang memisahkan antara kolom panjang dan pendek ASD
$C_v$	=	Rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh
$C_w$	=	Konstanta kelengkungan puntir
$d$	=	Tinggi gelagar
$d_w$	=	Kedalaman badan
$D$	=	Nilai geser maksimum pada
$e$	=	Eksentrisitas badan
$E$	=	Modulus elastisitas
$f$	=	Tegangan karena geser langsung
$f_a$	=	Tegangan tarik aksial beban layanan
$f_b$	=	Tegangan lentur dalam layanan

$f_c$	=	Tegangan merata beban layanan
$f_v$	=	Tegangan geser baban layanan
$F_a$	=	Tegangan aksial beban layanan yang disajikan dalam ASD
$F_b$	=	Tegangan lentur yang diijinkan
$F_{cr}$	=	Tegangan kritis
$F_s$	=	Faktor keamanan
$F_u$	=	Kekuatan tarik baja struktur
$F_v$	=	Tegangan geser yang diijinkan
$F_y$	=	Tegangan leleh
$F_{yw}$	=	Tegangan leleh untuk badan
$G$	=	Modulus elastisitas geser
$h$	=	Kedalaman, tinggi pelat badan
$I$	=	Momen inersia
$I_x$	=	Momen inersia sumbu x
$I_y$	=	Momen inersia sumbu y
$k$	=	Koefisien tekukan pelat
$L$	=	Panjang bentang
$L_b$	=	Panjang tanpa penopang lateral
$m$	=	Momen puntir beban layanan terdistribusi merata
$M_{cr}$	=	Kekuatan momen tekuk puntir lateral elastik
$M_p$	=	Kekuatan momen elastis
$M_r$	=	Kekuatan momen bila serat terluar mencapai ( $F_y/F_r$ )
$M_u$	=	Momen beban layanan terfaktor
$M_x$	=	Momen menurut sumbu x
$M_y$	=	Momen menurut sumbu y bila lentur biaksial diperhitungkan
$M_z$	=	Momen lentur/momen puntir pada arah z menurut sumbu batang
$P$	=	Beban aksial layanan
$P_n$	=	Kekuatan nominal batang tekan yang dibebani secara aksial

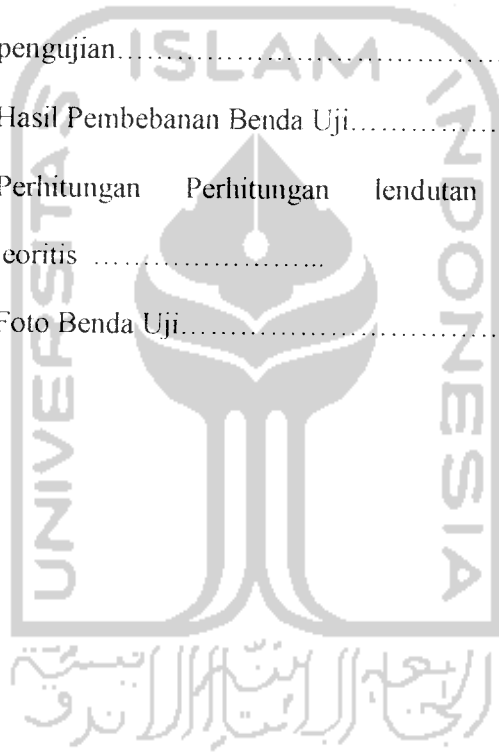
$P_u$	=	Beban aksial terfaktor
$S_x$	=	Modulus penampang elastis
$t$	=	Ketebalan
$t_f$	=	Tebal flens (sayap)
$t_s$	=	Tebal penyambung
$t_w$	=	Tebal badan
$V$	=	Tegangan geser
$V_n$	=	Kekuatan geser nominal
$V_u$	=	Gaya geser terfaktor
$y$	=	Defleksi pada sumbu lokasi z sepanjang bentang
$z$	=	Modulus elastik
$Z_x$	=	Modulus elastik sumbu x
$\gamma$	=	Istilah umum untuk faktor kelebihan beban
$\epsilon$	=	Regangan
$\epsilon_t$	=	Regangan total
$\epsilon_x$	=	Regangan arah x
$\epsilon_y$	=	Regangan pada saat tegangan leleh
$\Delta$	=	Defleksi atau lendutan
$\Delta_y$	=	Lendutan pada saat beban maksimum
$\Delta_{total}$	=	Lendutan total
$\lambda$	=	Rasio kerampingan untuk pelat
$\lambda_c$	=	Parameter kerampingan
$\lambda_p$	=	Rasio kerampingan maksimum untuk elemen kompak
$\mu$	=	Rasio poisson
$\phi$	=	Koefisien resistensi = 0,85
$\tau$	=	Tegangan geser
$\tau_{cr}$	=	Tegangan tekuk geser
$\tau_y$	=	Tegangan leleh geser
$\theta$	=	Sudut rotasi
$\rho$	=	Rasio luas penampang lintang badan $A_w$ terhadap luas penampang $A_f$ salah satu flens

$\sigma$  = Tegangan  
 $\pi$  = Konstanta = 3,15



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Lembar Konsultasi	
Lampiran 2	Perhitungan Benda Uji.....	1
Lampiran 3	Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) hasil pengujian.....	9
Lampiran 4	Hasil Pembebanan Benda Uji.....	13
Lampiran 5	Perhitungan Perhitungan lendutan secara teoritis .....	20
Lampiran 6	Foto Benda Uji.....	23



## ABSTRAKSI

Gelagar pelat adalah struktur lentur tersusun yang badan mempunyai rasio tinggi terhadap tebal ( $h/tw$ ) cukup besar sehingga masalah tekuk membatasi kapasitasnya. Gelagar penampang  $\nabla$  ganda tanpa pengaku lebih kaku dibandingkan dengan gelagar penampang  $\nabla$  tanpa pengaku, karena diproporsikan sayap atas dan sayap bawah diberi pengaku berbentuk  $\nabla$ .

Penelitian eksperimental menggunakan dua benda uji dengan spesifikasi, panjang total 4800 mm, menggunakan pelat dengan tebal 2 mm baik pada sayap dan badan. Untuk tinggi ( $h$ ) pada gelagar  $\nabla = 300$  dan pada gelagar  $\nabla$  ganda = 200 mm sedangkan untuk lebar ( $b$ ) masing-masing benda uji tetap yaitu 200 mm. Bertujuan untuk mendapatkan kurva hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ), kekakuan ( $k$ ), nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ), dan nilai koefisien tekuk ( $k$ ).

Hasil penelitian eksperimental ini diperoleh bahwa gelagar  $\nabla$  ganda tanpa pengaku mempunyai lendutan lebih kecil dibanding gelagar  $\nabla$  tanpa pengaku, beban yang ditahan semakin meningkat, nilai koefisien tekuk ( $k$ ) pada badan dan sayap semakin meningkat, nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) semakin meningkat, dan kekakuan lentur ( $EI$ ) semakin meningkat. Dari penelitian ini didapatkan bahwa gelagar  $\nabla$  ganda tanpa pengaku menahan lentur lebih besar dari pada gelagar  $\nabla$  tanpa pengaku.

**Kata Kunci = beban-lendutan, kekakuan, tegangan kritis, dan koefisien tekuk.**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Baja struktural penampang I umum digunakan sebagai komponen struktur yang memikul beban transversal yang menghasilkan momen lentur dan gaya geser. Tinggi penampang I yang tersedia terbatas sehingga kapasitas lentur penampang I juga terbatas, karena itu hanya dapat digunakan sebagai komponen struktur lentur bentang pendek. Pada kasus bentang panjang, kapasitas lentur profil I dapat ditingkatkan dengan membentuk penampang tersusun berupa gelagar pelat (*Plate Girder*) untuk mendapatkan penampang baja struktural yang lebih tinggi dan ekonomis.

Gelagar pelat penampang I biasanya mempunyai rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/t_w$ ) cukup besar sehingga penampang gelagar plat menjadi langsing yang dapat mengakibatkan penampang mudah mengalami tekuk jika diberikan beban. Kapasitas lentur gelagar plat dibatasi oleh masalah instabilitas (tekuk) yang dapat menyebabkan kegagalan dini (*Premature Collapse*) yaitu keruntuhan di bawah tegangan leleh (tidak kompak) yang berupa tekuk lokal badan atau sayap. Untuk penampang profil I pada sayap tekan tidak diperkuat sehingga mudah mengalami tekuk. Salah satu cara untuk memperkuat sayap tekan yaitu dengan penambahan elemen pelat pada sayap membentuk penampang  $\nabla$ .

Perilaku lentur gelagar pelat penampang  $\nabla$  belum banyak dikemukakan karena itu guna memperoleh perilaku gelagar pelat tersebut lebih detail perlu



penelitian eksperimental. Macam-macam gelagar plat penampang  $\nabla$  antara lain :  *$\nabla$ Shaped compression flange, Both  $\nabla$ Shaped,  $\nabla$ Shaped flange dan Tubular flange.* Oleh karena itu kami melakukan penelitian gelagar pelat  $\nabla$  ganda yang hasilnya nanti diharapkan gelagar pelat tersebut dapat mengatasi masalah instabilitas sebagai penyebab keruntuhan dini (Premature Collapse).

Penelitian eksperimental perilaku lentur gelagar plat dilakukan untuk mengetahui sifat penampang gelagar plat tersebut antara lain ; kekuatan, kekakuan dan kapasitas lentur.

### 1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tujuan mempelajari perilaku gelagar plat penampang/ bentuk  $\nabla$  ganda yaitu :

1. Memperoleh kapasitas lentur dan rasio kapasitas lentur gelagar pelat I,  $\nabla$  tunggal, dan  $\nabla$  ganda.
2. Mendapatkan kurva beban-lendutan ( $P-\Delta$ ) dari gelagar pelat  $\nabla$  tunggal dan  $\nabla$  ganda.
3. Mendapatkan rasio kekakuan dari gelagar pelat I,  $\nabla$  tunggal, dan  $\nabla$  ganda
4. Memperoleh rasio tegangan kritis ( $P_{cr}$ ) gelagar I,  $\nabla$  tunggal, dan  $\nabla$  ganda.
5. Memperoleh nilai koefisien tekuk pelat ( $k$ ) gelagar  $\nabla$  tunggal dan  $\nabla$  ganda.

### 1.3. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan mendapatkan manfaat :

1. Sebagai pengembangan pengetahuan struktur baja yang telah ada.

2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan perencanaan struktur lentur.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Mengingat permasalahan gelagar pelat cukup luas, maka penelitian ini menggunakan dimensi gelagar  $\nabla$  ganda dengan ukuran bentang 4,8 m, ketebalan sayap 2 mm, lebar sayap 200 mm, tebal badan 2 mm dan tinggi badan 400 mm dibatasi oleh :

1. Gelagar pelat penampang  $\nabla$  ganda ditumpu pada sendi-rol.
2. Gelagar pelat disusun menggunakan alat sambung las.
3. Beban pada gelagar pelat berupa beban terpusat.

#### **1.5. Keaslian Penelitian**

Berdasarkan studi literatur dan kajian-kajian pustaka yang telah dilakukan, penelitian tentang perilaku gelagar pelat penampang  $\nabla$  ganda belum banyak dilakukan. Penelitian yang kami lakukan menggunakan sampel gelagar pelat penampang  $\nabla$  dengan sudut  $45^\circ$  dan tanpa pengaku, sedangkan penelitian terdahulu dilakukan menggunakan sampel gelagar pelat penampang  $\nabla$  dengan sudut  $60^\circ$  menggunakan pengaku. Dengan demikian penelitian ini adalah asli.

### 1.6. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dan pengujian sample dilakukan di laboratorium Mekanika Rekayasa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Gelagar pelat adalah elemen struktur lentur tersusun yang didesain dan difabrikasi untuk memenuhi kebutuhan yang tidak dapat dipenuhi oleh penampang giras biasa (**Spiegel dan Limbrunner, 1991 ; Bowles, 1985**).

Bagian konstruksi yang memikul beban transversal yang menghasilkan momen lentur dan gaya lintang dengan tahanan lentur sebagai parameter desain yang sering dijumpai pada balok atau gelagar (**Bowles, 1985**).

Kapasitas lentur gelagar pelat bergantung kepada rasio tinggi badan dan tebal badan pelat, rasio panjang sayap dan tebal sayap pelat, rasio luas badan dan luas sayap, serta rasio panjang bentang dan radius girasi pada sumbu y (**Salmon dan Johnson, 1991**).

Kelangsingan batang adalah rasio antara panjang batang dan jari-jari inersia tampang, semakin kecil angka kelangsingan suatu batang akan semakin kaku batang tersebut sebaliknya semakin besar angka kelangsingan batang tersebut mudah melentur (**Padasbajayo, 1994**).

Kekakuan dari sebuah batang yang dibebani secara aksial didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan satuan. Kekakuan merupakan rasio antara beban dan defleksi yang terjadi (**Gere & Timoshenko, 1987**).

Kuat geser dan lentur gelagar plat umumnya berkaitan dengan badan balok, badan balok yang ramping menurut (Salmon dan Johnson, 1996) 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 vertical karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah tekuk sedemikian rupa.
3. Tekuk karena geser.

Tegangan kritis pada gelagar plat dipengaruhi oleh nilai konstanta koefisien tekuk ( $k$ ), modulus elastisitas bahan ( $E$ ) dan rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/t_w$ ). Koefisien tekuk dan modulus elastisitas plat berbanding lurus dengan nilai tegangan kritis sehingga semakin besar koefisien tekuk dan modulus elastisitas plat semakin besar tegangan kritis yang terjadi namun rasio tinggi terhadap tebal badan berbanding terbalik terhadap tegangan kritis sehingga semakin besar rasio  $h/t_w$  mengakibatkan tegangan kritis semakin kecil. (Salmon dan Johnson, 1996; Bowles, 1985).

Jika pelat biasa dianggap terjepit sempurna (pengekangan sempurna terhadap rotasi tepi) sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan (yakni ditepi yang disambung dengan sayap), maka harga koefisien tekuk lentur ( $k$ ) 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 Krieger, 1959; Salmon dan Johnson, 1991).

Salmon dan Johnson mengemukakan bahwa koefisien tekuk untuk elemen plat segi empat datar yang ditekan merata terhadap aspek rasio jarak antar

pengaku dengan lebar badan ( $a/b$ ) yang tidak diperkuat 0,425 sedangkan elemen plat yang diperkuat mempunyai nilai antara 4,00 sampai 6,97 bila tepi yang dibebani dijepit atau dikekang sempurna terhadap rotasi, harga  $k$  akan lebih besar. Untuk jarak antara pengaku yang renggang ( $a/b$  kecil), pengaruh pengekangan ujung meningkatkan stabilitas sehingga  $k$  bervariasi dari 5,5 ke atas bila ratio tinggi gelagar /jarak antara pengaku menurun dibawah 1,5. Sebaliknya untuk pengaku yang jaraknya rapat, harga  $k$  minimum adalah sekitar 4, yang sama seperti keadaan tanpa pengekangan rotasi di tepi yang dibebani.

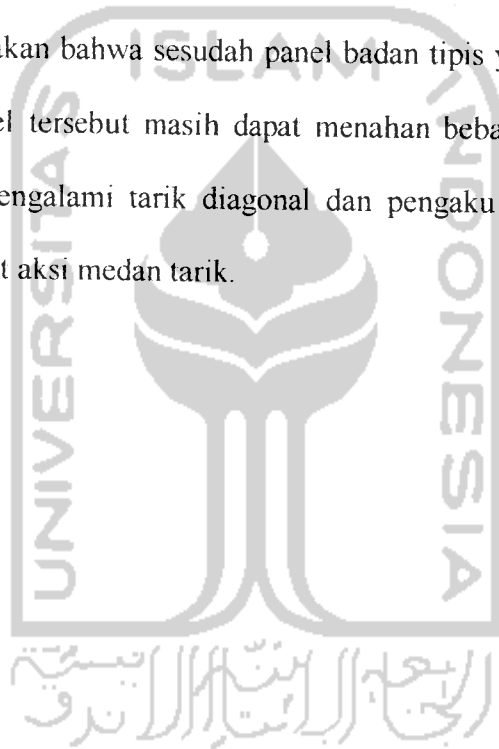
Berdasarkan penelitian **Salmon dan Johnson (1996)** momen nominal suatu komponen struktur bergantung pada:

1. Rasio tinggi badan terhadap tebal plat menentukan ketidak-stabilan badan (tekuk lentur).
2. Rasio jarak tambatan lateral terhadap radius girasi menentukan ketidak-stabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral).
3. Rasio lebar terhadap tebal sayap menentukan tekuk setempat atau tekuk puntir pada sayap.
4. Rasio luas badan terhadap luas sayap menentukan pengaruh tekuk badan pada sayap.

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**).

Dalam buku Struktur Baja karya Salmon dan Johnson 1994 mengemukakan penelitian yang dilakukan oleh Basler (1961) mengungkapkan bahwa gelagar plat dengan pengaku yang jaraknya dinyatakan dengan tepat memiliki kelakuan (setelah ketidak-stabilan terjadi) hamper mirip seperti rangka batang, dengan badan sebagai pemikul gaya tarik diagonal dan pengaku sebagai pemikul gaya tekan.

**Spiegel dan Limbrunner 1991; Bowles 1980 dan 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.



## BAB III

### LANDASAN TEORI

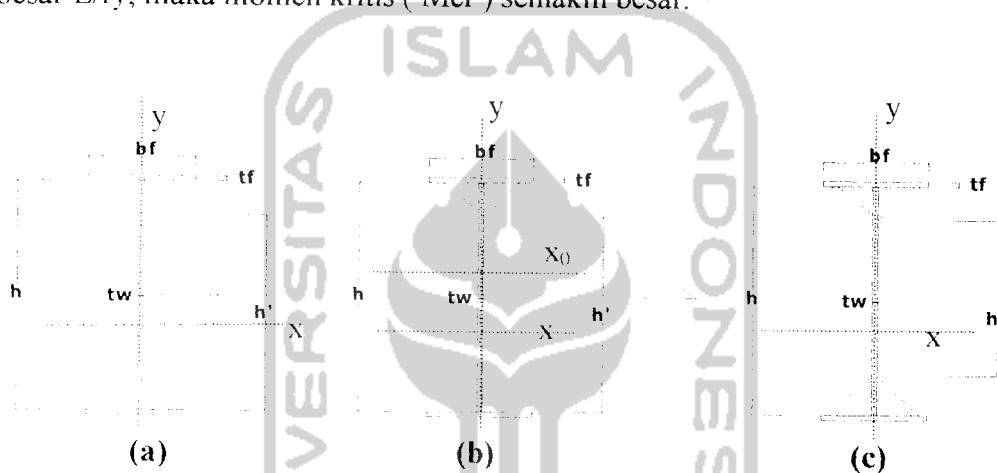
#### 3.1. Gelagar Pelat

Gelagar pelat dapat didefinisikan sebagai komponen struktural yang menahan lentur dan geser. Gelagar pelat dibuat dari elemen-elemen pelat tersusun yang didesain membentuk profil sehingga pelat akan ekonomis karena dapat didesain sesuai dengan perencanaan, bentuk gelagar pelat yang paling umum dewasa ini didesain terdiri dari dua sayap yang dilas pada pelat badan yang relatif tipis (Spiegel dan Limbrunner 1991). Sedikitnya ada tiga macam tiga macam model gelagar pelat yaitu: Gelagar pelat penampang I, Gelagar pelat penampang  $\nabla$  dan Gelagar pelat penampang  $\nabla$  ganda seperti pada **Gambar 3.1**.

Gelagar penampang profil I pada bagian sayap tekannya mempunyai kondisi tepi jepit-bebas, sehingga sayap tekannya lemah. Dengan menambahkan elemen pelat yang didesain pada sayap atas dan satu pelat badan seperti profil I, sehingga kekuatan sayap atas lebih besar dibanding dengan gelagar pelat penampang I karena mempunyai kondisi tepi jepit-jepit, selain itu juga memperkecil tinggi badan sehingga badan lebih kaku. Penambahan elemen pelat tersebut membentuk gelagar pelat penampang  $\nabla$  (  $\nabla$ -Shape ). Untuk mendapatkan profil yang simetris dengan kekuatan yang lebih besar dari gelagar I dan  $\nabla$  (  $\nabla$ -Shape ) maka penambahan elemen pelat didesain pada sayap atas dan bawah sehingga membentuk gelagar pelat penampang  $\nabla$  ganda ( *Both  $\nabla$ -Shape* ). Dengan demikian kekuatan gelagar pelat penampang  $\nabla$  ganda ( *Both  $\nabla$ -Shape* ) lebih besar dari gelagar pelat penampang  $\nabla$  (  $\nabla$ -Shape ) dan gelagar pelat penampang I.



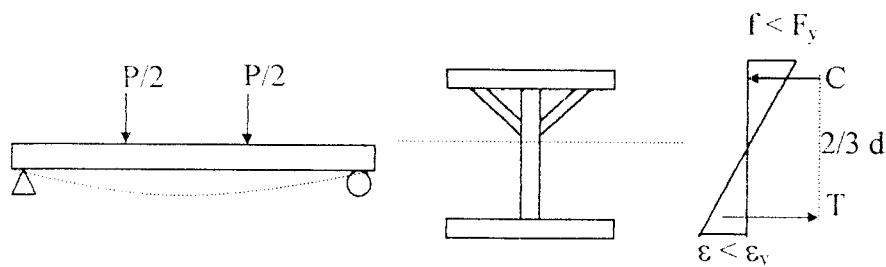
Kuat lentur gelagar pelat dipengaruhi oleh momen inersia ( $I$ ), modulus tampang ( $S$ ), dan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ). Tegangan kritis pelat dibatasi oleh tekuk, yaitu tekuk lokal dan tekuk puntir lateral. Tekuk lokal merupakan hasil dari rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ) dan tinggi terhadap tebal ( $h/t$ ), sedang tekuk puntir lateral merupakan rasio dari panjang bentang terhadap radius girasi ( $L_b/r_t$ ). Semakin besar  $b/t$  dan  $h/t$ , maka tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) meningkat, dan semakin besar  $L/r_y$ , maka momen kritis ( $M_{cr}$ ) semakin besar.



Gambar 3.1 (a) Gelagar pelat penampang I (b) Gelagar pelat penampang  $\nabla$  tunggal dan (c) penampang  $\nabla$  ganda

Pada penelitian ini akan digunakan gelagar pelat penampang  $\nabla$  tunggal dan penampang  $\nabla$  ganda.

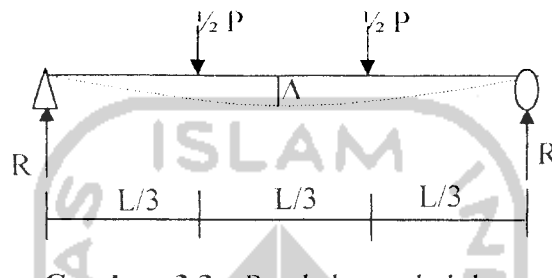
### 3.2. Hubungan Beban-Lendutan



Gambar 3.2 Distribusi tegangan dan regangan elastis pada pembebanan tegak lurus balok.

Dari **Gambar 3.2** pada sayap atas profil mengalami gaya tekan sedangkan pada sayap bawah profil mengalami tarik

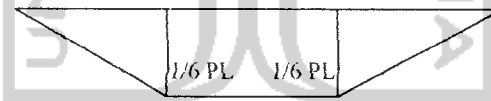
Beban transversal yang bekerja pada gelagar pelat seperti pada **Gambar 3.3.a** menghasilkan diagram momen (**Gambar 3.3.b**), diagram geser (**Gambar 3.3.c**), lendutan balok (**Gambar 3.3.a**).



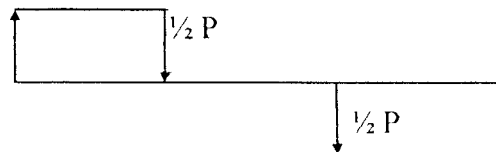
**Gambar 3.3.a** Pembebanan balok

$$R = \frac{\left(\frac{1}{2} P \cdot L\right) + \left(\frac{1}{2} P \cdot 2L\right)}{L} = \frac{1}{2} P$$

$$M_{\text{maksimum}} = \frac{1}{2} P \cdot \frac{L}{3} = \frac{1}{6} P \cdot L$$



**Gambar 3.3.b** Diagram momen



**Gambar 3.3.c** Diagram geser

Persamaan tegangan lentur maksimum ( $\sigma_{\text{maks}}$ ) (**E.P.Popov,1984**) yaitu :

$$\sigma_{\text{maks}} = \frac{M \cdot y}{I} \quad (3.1)$$

dengan :

$$S = \frac{I}{y} \quad (3.2)$$

$$\sigma_{\text{maks}} = \frac{M}{S} \quad (3.3)$$

Dimana :  $\sigma_{\text{maks}}$  adalah tegangan lentur maksimum, M adalah momen lentur, S adalah modulus irisan kenyal, I adalah momen inersia, y adalah jarak dari sumbu netral.

Nilai inersia pada profil  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda lebih besar daripada profil I sehingga nilai modulus irisan kenyal (S) profil  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda lebih besar dari profil I.

Persamaan tegangan geser ( $\tau$ ) (E.P. Popov, 1984):

$$\tau = \frac{V}{A_{\text{web}}} \quad (3.4)$$

Dimana :  $\tau$  adalah tegangan geser, V adalah gaya geser,  $A_{\text{web}}$  adalah luas badan.

Pada profil  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda  $A_{\text{web}}$  lebih kecil dari profil I sehingga tegangan geser profil  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda lebih besar dari profil I.

Balok yang dibebani selain mengalami geser juga terjadi lendutan.

Persamaan untuk lendutan tipe pembebanan seperti **Gambar 3.3a** seperti di tulis oleh Gere dan Timoshenko, 1987 :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (3.5)$$

Dengan pusat koordinat pada perletakan kiri, persamaan untuk momen lentur adalah :

$$M = \frac{1}{2} P \cdot x - \frac{1}{2} P \left( x - \frac{l}{3} \right) = \frac{1}{6} P \cdot l \quad (3.6)$$

Maka turunan kedua persamaan diferensial (Persamaan 3.5) menjadi :

$$EI.y'' = -\frac{1}{6}P.L \quad (3.7)$$

Dengan mengalikan kedua sisi persamaan ini dengan dx dan pengintegrasian, didapat

$$EI.y' = -\frac{1}{12}P.L.x + C_1 \quad (3.8)$$

Dimana  $C_1$  adalah konstanta integrasi. Untuk menentukan konstanta ini, kita meninjau sifat simetris dimana kemiringan  $y'$  ditengah bentang adalah 0. Jadi kita dapatkan suatu kondisi

$$y' = 0 \text{ apabila } x = \frac{L}{2} \quad (3.9)$$

yang mana secara ringkas dapat ditulis sebagai

$$y'\left(\frac{L}{2}\right) = 0 \quad (3.10)$$

dengan memasukkan kondisi ini ke Persamaan 3.8, diperoleh

$$C_1 = \frac{P.L^2}{12} \quad (3.11)$$

Dan Persamaan 3.8 menjadi

$$EI.y' = -\frac{1}{6}P.L.x + \frac{P.L^2}{12} \quad (3.12)$$

Dengan mengalikan kedua sisi persamaan dengan dx dan pengintegrasian, didapat

$$EI.y = -\frac{1}{12}P.L.x^2 + \frac{P.L^2}{12}x + C_2 \quad (3.13)$$

Konstanta integrasi  $C_2$  dapat diperoleh dari syarat bahwa  $y = 0$  bila  $x = 0$ , atau

$$y(0) = 0 \quad (3.14)$$

dengan memasukkan kondisi ini ke Persamaan 3.13 menghasilkan  $C_2 = 0$ , maka persamaan untuk lendutan adalah

$$y = \frac{P \cdot x}{12} (L^2 - L \cdot x) \quad (3.15)$$

Persamaan ini menyatakan lendutan pada titik-titik sepanjang balok.

Lendutan maksimum ( $\Delta$ ) terdapat di tengah bentang dan didapat dengan memasukkan  $x = L/2$  ke Persamaan 3.15. Hasilnya adalah

$$\Delta = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (3.16)$$

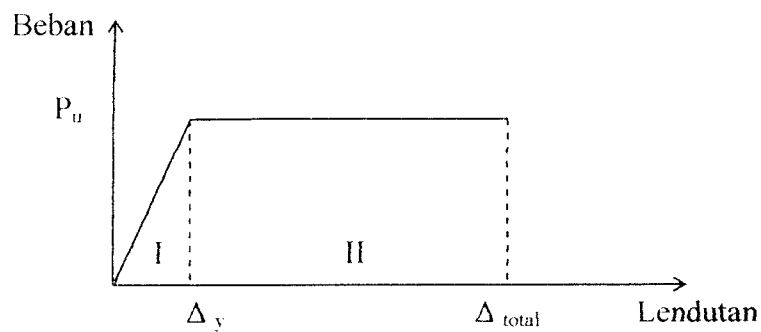
Persamaan kekakuan ( $k$ ) (Gere dan Timoshenko, 1987) yaitu :

$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (3.17)$$

Dimana :  $k$  adalah kekakuan ( kN/mm ),  $P$  adalah beban ( kN ),  $\Delta$  adalah lendutan ( mm )

dengan :  $\Delta$  adalah defleksi balok,  $P$  adalah beban balok,  $E$  adalah modulus elastis bahan,  $L$  adalah panjang bentang balok,  $I$  adalah momen inersia penampang,  $a$  adalah jarak beban dari dukungan Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier seperti pada

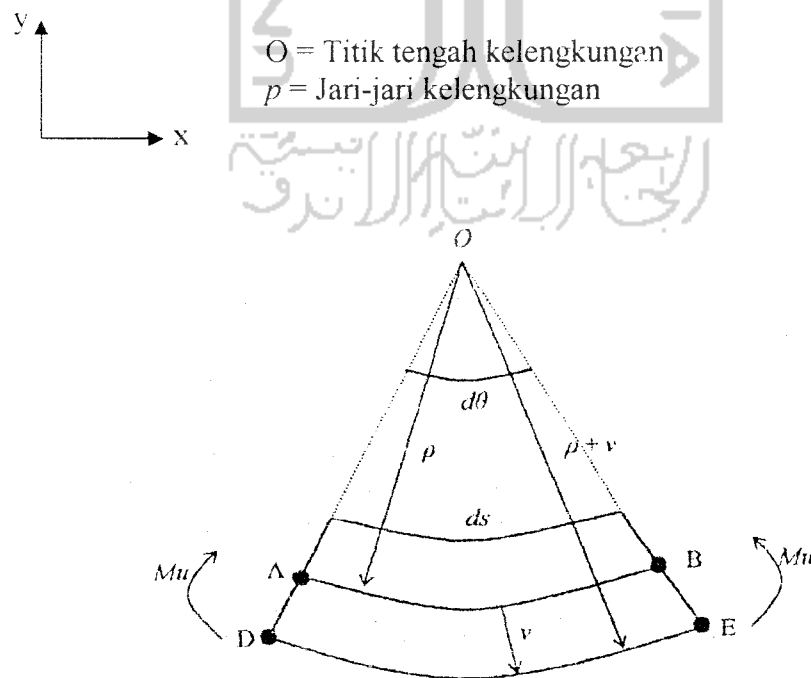
**Gambar 3.4**



Gambar 3.4 Hubungan Beban dan Lendutan pada Balok

### 3.3. 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 3.5 adalah sebuah balok sederhana yang menerima beban terpusat  $P$ .



Gambar 3.5. Deformasi segmen balok dalam lenturan

Serat-serat dibagian atas akan memendek, sedangkan yang dibagian bawah akan memanjang. Teori defleksi balok dipengaruhi oleh geometri atau kinematika dari sebuah elemen balok. Kinematika dasar yang menghipotesa bahwa irisan-irisan yang berbentuk datar akan tetap merupakan bidang datar selama berdeformasi.

Regangan pada garis netral didapatkan dari persamaan:

$$\varepsilon_x = \frac{(\rho + v)d\theta - \rho.d\theta}{\rho.d\theta} = \frac{v}{\rho} \quad (3.18)$$

Hubungan dasar antara kurva elastis dengan regangan linier, didapat

$$\phi = \frac{1}{\rho} = \kappa = \frac{\varepsilon_x}{v} \quad (3.19)$$

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

$$\sigma_x = E.\varepsilon_x \quad (3.20)$$

sehingga

$$\varepsilon_x = \frac{M_u v}{EI_u} \quad (3.21)$$

Substitusi Persamaan 3.21 ke Persamaan 3.20 akan diperoleh

$$\phi = \frac{1}{\rho} = \kappa = \frac{M_u}{EI_u} \quad (3.22)$$

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan

$$\phi = \frac{1}{\rho} = \kappa \frac{\pm d^2v/dx^2}{\left[1 + (dv/dx)^2\right]^{3/2}} \quad (3.23)$$

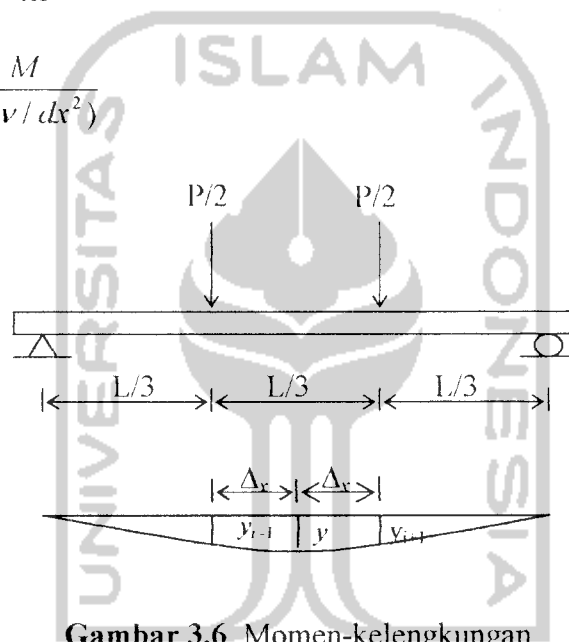
karena kemiringan  $dv/dx$  dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka

$$(dv/dx)^2 \approx 0 \quad (3.24)$$

Persamaan 3.18 disubstitusikan dengan persamaan 3.21 menjadi

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \quad (3.25)$$

$$EI'' = \frac{M}{(d^2v/dx^2)} \quad (3.26)$$



**Gambar 3.6** Momen-kelengkungan

Dari pengujian kuat lentur diperoleh defleksi pada titik-titik distrik.

Pendekatan kemiringan menggunakan metode *central difference*. Mengacu pada

**Gambar 3.6**  $d_y/d_x$  didekati dengan persamaan

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta_x} \quad (3.27)$$

turunan kedua dari Persamaan 3.26 adalah



$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{d_x} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{d_x} (2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.28)$$

karena  $(2\Delta_x)$  adalah konstanta maka

$$\frac{d}{d_x} (2\Delta_x) = 0 \quad (3.29)$$

sehingga Persamaan 3.28 menjadi

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{d_x} (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.30)$$

selanjutnya dari Persamaan 3.30 didapatkan

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{(y_{i+2} - 2y_i - y_{i-2})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.31)$$

kemudian Persamaan 3.31 disederhanakan menjadi

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{(y_{i+1} - 2y_i - y_{i-1})}{(\Delta_x)^2} \quad (3.32)$$

dengan

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \quad (3.33)$$

Mengacu kepada **Gambar 3.3a** didapat momen ( $M$ ):

$$M = \frac{1}{6} p l \quad (3.34)$$

Pada saat tegangan leleh ( $F_y$ ) tercapai diserat terluar ( $S_x$ ) kapasitas momennya disebut momen leleh ( $M_y$ ) dan dapat dihitung sebagai

$$M_y = F_y S_x \quad (3.35)$$

Bila penampang berada pada kondisi plastis regangan pada setiap serat sama dengan atau lebih besar dari  $\varepsilon_y = f_y / E_y$ , 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

$$M_p = f_b \int y \cdot dA \quad (3.36)$$

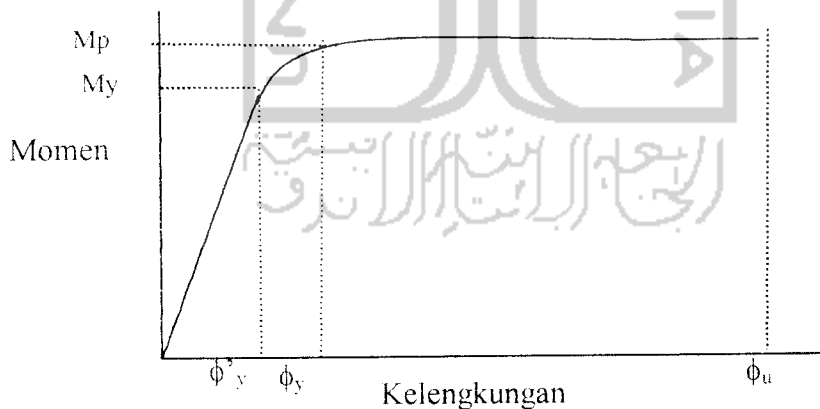
$z =$  modulus plastis  $= \int y \cdot dA$  maka

$$M_p = f_b \cdot z \quad (3.37)$$

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

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{z}{S} \quad (3.38)$$

Hubungan Momen ( $M$ ) dengan kelengkungan ( $\phi$ ) ditunjukkan pada **Gambar 3.7**



**Gambar 3.7** Grafik momen kelengkungan

Dari **Gambar 3.7** memperlihatkan ketika momen lentur diperbesar hingga melampaui harga beban kerja sudut regangan  $\phi$  akan elastis seluruhnya ( $M_y$ ) atau plastis sebagian ( $M_y$  ke  $M_p$ ) sampai  $M_p$  tercapai. Setelah itu, keadaan tak stabil

atau mekanisme terjadi sehingga lendutan bertambah. Pada keadaan runtuh, struktur dapat dianalisa sebagai dua benda tegar dengan dikontinuitas anguler  $\phi$  di ditengah bentang.

### 3.4. Persamaan Differensial untuk Lentur

Persamaan differensial untuk lenturan pelat homogen yang diturunkan dari teori pelat oleh **Salmon dan Johnson (1992)** yang ditunjukkan pada Persamaan 3.38.

$$D \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = q \quad (3.39)$$

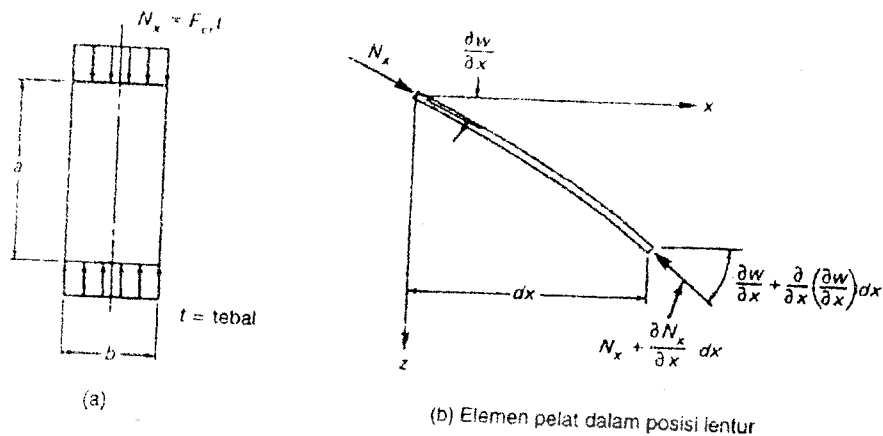
dengan : w adalah lendutan lateral, q adalah komponen beban transversal akibat lenturan pelat, D adalah kekakuan lentur persatuan panjang pelat.

Jika Persamaan 3.38 dituliskan untuk balok dengan lebar b persamaan differensial untuk beban menjadi :

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = qb \quad (3.40)$$

Dengan  $I = t^3 \cdot b / [12 \cdot (1 - \mu^2)]$  dan qb adalah beban persatuan panjang bentang balok. Disamping suku umum q yang menyatakan komponen beban transversal akibat lenturan pelat, komponen transversal dari gaya tekan  $N_x$  ketika pelat melendut adalah :

$$q = -N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (3.41)$$



Gambar 3.8. Pelat yang ditekan secara merata

Persamaan differensial 3.38 menjadi :

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = - \frac{N_x}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (3.42)$$

dari Persamaan 3.41 jika diuraikan lebih lanjut dengan menyatakan lendutan  $w$  sebagai perkalian fungsi  $x$  ( $X$ ) dan fungsi  $y$  ( $Y$ ) juga dapat menimbulkan lendutan yang berbentuk kurva sinus dalam arah  $x$  akan didapatkan persamaan:

$$N_x = \frac{D\pi^2}{b^2} \left[ \frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.43)$$

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

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.44)$$

$$k = F_{cr} \cdot \frac{12(1 - \mu^2)(h/t)^2}{\pi^2 E}, \text{ untuk badan} \quad (3.45)$$

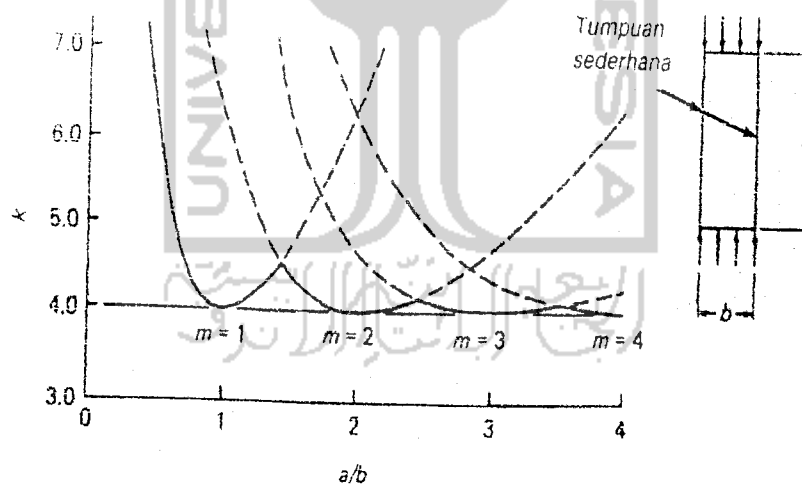
$$k = F_{cr} \cdot \frac{12(1 - \mu^2)(b/t)^2}{\pi^2 E}, \text{ untuk sayap} \quad (3.46)$$

dengan:  $k$  adalah koefisien tekuk pelat,  $\mu$  adalah poisson rasio,  $b$  adalah lebar pelat,  $t$  adalah tebal pelat. Nilai  $k$  dipengaruhi oleh nilai  $F_{cr}$  dan rasio  $(b/t)$  atau  $(h/t)$ .

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

$$k = \left[ \frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.47)$$

Koefisien  $k$  merupakan fungsi jenis tegangan, kondisi tepi dan rasio aspek tinggi terhadap lebar pelat ( $a/b$ ) yang muncul secara langsung dalam persamaan tersebut. Bilangan  $m$  menunjukkan banyaknya separuh gelombang yang terjadi dalam arah  $x$  pada saat tekuk.



**Gambar 3.9.** Koefisien tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana.

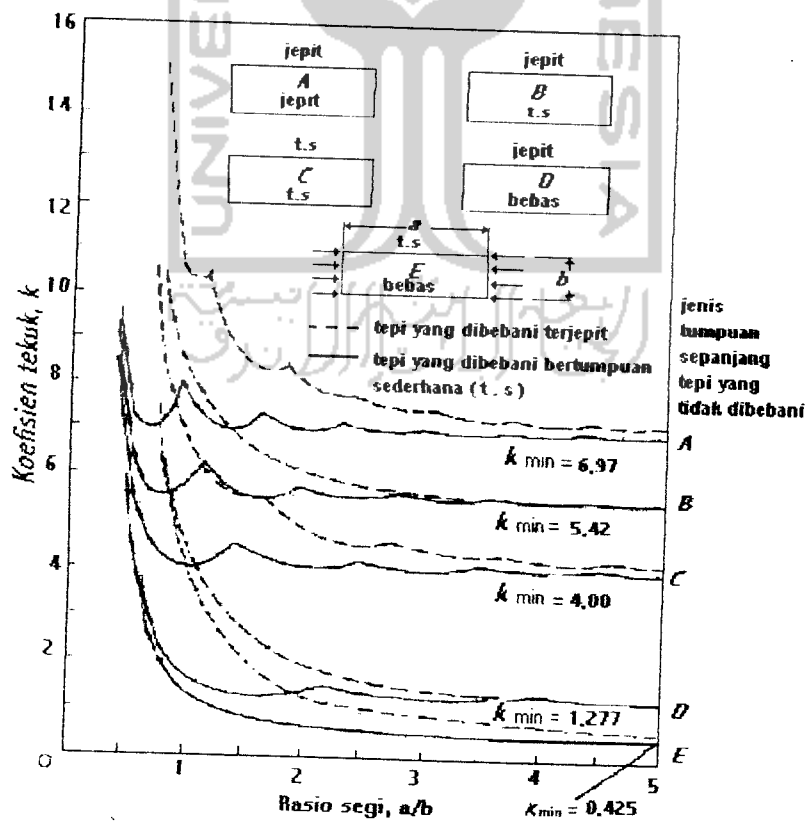
**Gambar 3.9** menunjukkan bahwa ada harga  $k$  minimum untuk separuh gelombang tertentu, yakni kondisi terlemah. Bahwa kondisi terlemah ini terjadi pada saat panjang pelat merupakan kelipatan bulat dari lebarnya, dan bahwa

kelipatan ini sama dengan banyaknya separuh gelombang. Untuk semua nilai  $m$  harga minimum  $k = 4$ .

### 3.5. Tekuk Pelat pada Sayap Akibat Tekan

Secara umum elemen-elemen tekan pelat dapat dibedakan atas dua kategori :

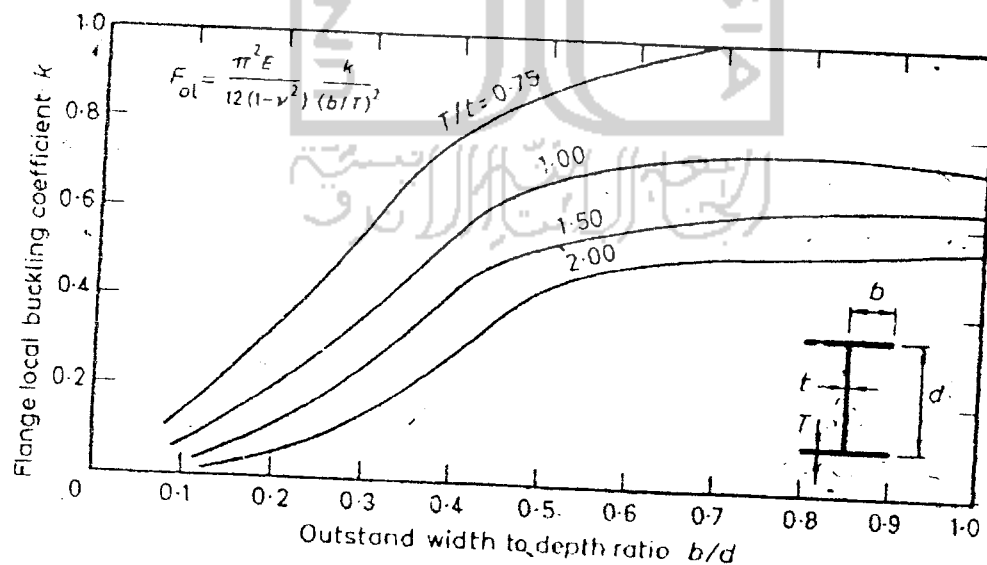
1. Elemen yang diperkuat yaitu elemen yang bertumpu pada dua tepi yang sejajar arah tegangan tekan.
2. Elemen yang tidak diperkuat yaitu elemen yang bertumpu pada satu tepi dan bebas ditepi yang lain yang sejajar arah tegangan tekan.



Gambar 3.10 Koefisien tekuk pelat yang memikul tekanan merata dengan berbagai kondisi tepi

Nilai  $k$  untuk pelat yang memukul tekan merata dengan berbagai kondisi tepi (jepit, bebas, dan tumpuan sederhana) ditunjukkan **Gambar 3.10**. Tampak variasi nilai koefisien tekuk  $k$  terhadap aspek rasio  $a/b$  dan kondisi tepi pelat pada berbagai jenis tumpuan pelat. Pada pelat dengan tumpuan jepit-jepit (grafik A)  $k_{\min} = 6,97$ ; untuk jepit-sendiri (grafik B)  $k_{\min} = 5,42$ ; untuk sendi-sendiri (grafik C)  $k_{\min} = 4,00$ ; untuk jepit- bebas (grafik D)  $k_{\min} = 1,277$ ; untuk sendi bebas (grafik E)  $k_{\min} = 0,425$ . Pada penelitian ini digunakan nilai  $k$  teoritis pada sayap adalah 4 karena mengasumsikan gelagar penampang  $\nabla$  pada sayapnya dianggap kondisinya adalah sendi-sendiri.

Tekuk lokal pada elemen pelat dapat menyebabkan kegagalan dini (*premature collapse*) pada keseluruhan penampang. Pada **Gambar 3.11** menunjukkan nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi tekan.



**Gambar 3.11.** Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi tekan. (NS. Trahair dan MA. Bradford 1988)

Dari **Gambar 3.11**, dapat dilihat nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis penampang I dipengaruhi oleh rasio lebar sayap terhadap tinggi badan ( $b/d$ ) dan tebal sayap terhadap tebal badan ( $T/t$ ). Terlihat bahwa semakin besar rasio  $b/d$  nilai  $k$  semakin besar, semakin kecil rasio  $T/t$  nilai  $k$  semakin besar. Nilai  $k$  mengalami peningkatan yang signifikan pada nilai  $b/d$  0,5.

**Gambar 3.12** menunjukkan nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi momen.

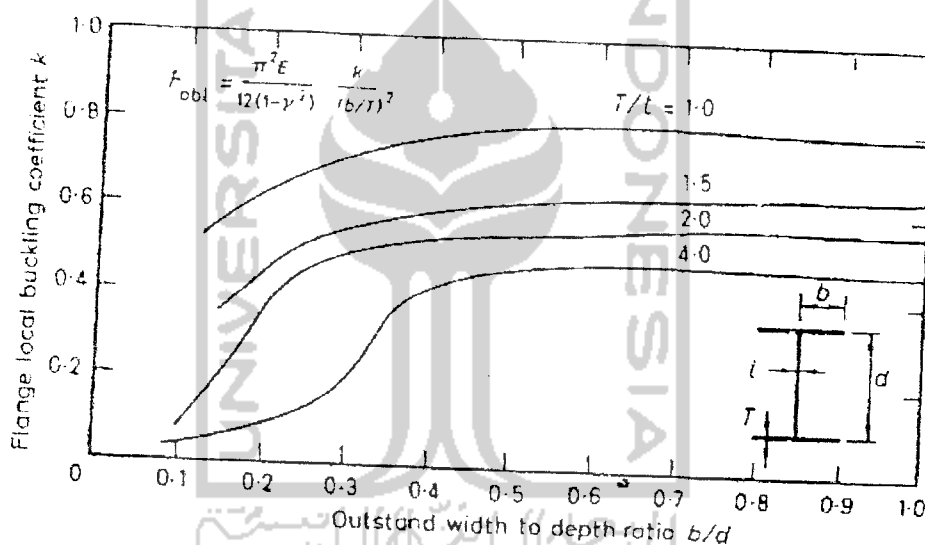


Fig. 4.24 Local buckling coefficients for I-beams

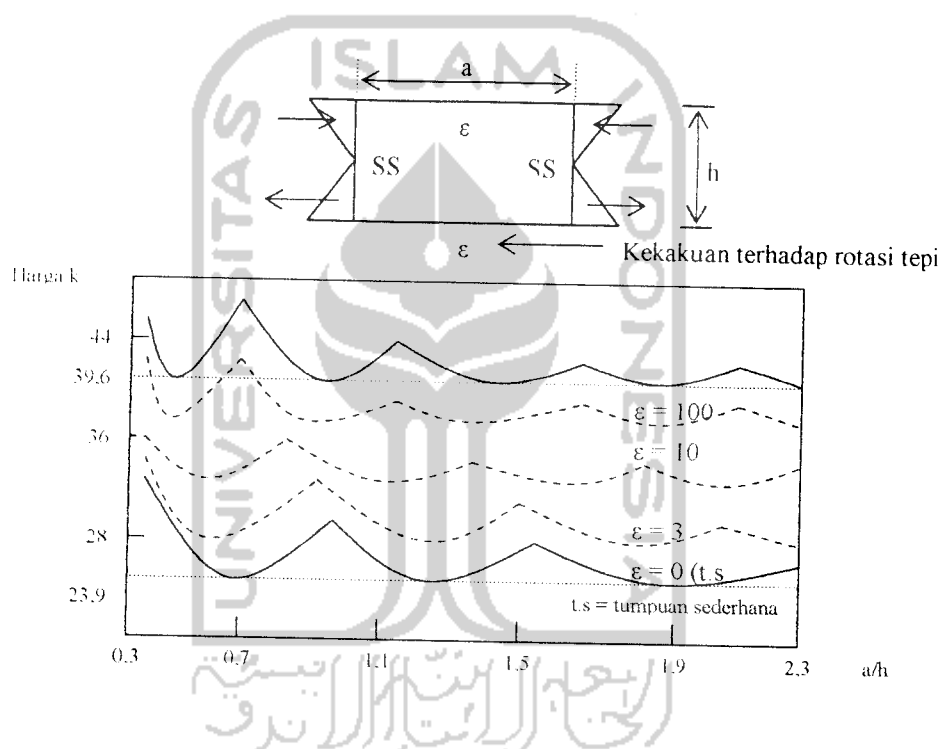
**Gambar 3.12.** Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang I pada kondisi momen. (NS. Trahair dan MA. Bradford 1988)

Dalam hal ini dari **Gambar 3.12**, dapat dilihat nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis penampang I dipengaruhi oleh rasio  $b/d$  dan  $T/t$ . Terlihat bahwa semakin besar rasio  $b/d$  nilai  $k$  semakin besar, semakin kecil rasio  $T/t$  nilai  $k$  semakin besar. Nilai  $k$  mengalami peningkatan yang signifikan pada nilai  $b/d$  0,4.



### 3.6. Lentur Pada Bidang Badan

Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio  $h/tw$  besar, tekuk mungkin terjadi akibat lentur pada bidang badan. Nilai koefisien tekuk untuk lentur pada badan bidang pelat dijabarkan oleh **Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959)** ditunjukkan pada **Gambar 3.13**.



**Gambar 3.13** Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni

Pada **Gambar 3.13** nilai  $k$  bervariasi menurut rasio  $a/h$ , jika pelat bisa dianggap jepit sempurna sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan maka harga  $k$  minimum untuk sembarang rasio  $a/h$  menjadi 39,6, sedangkan sayap dianggap tidak mengekang secara rotasi tepi maka harga  $k$  minimum menjadi 23,9. Nilai  $k$  teoritis lentur yang digunakan dalam penelitian ini adalah 23,9. Tegangan lentur dan geser pada daerah tertentu sepanjang bentang gelagar biasanya bisa ditinjau

secara terpisah, umumnya tegangan geser dan lentur mengakibatkan ketidakstabilan elastis.

### 3.7 Tekuk Akibat Geser

#### 3.7.1. Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut Salmon dan Johnson (1986), tegangan tekuk elastis untuk satu pelat ditentukan oleh persamaan :

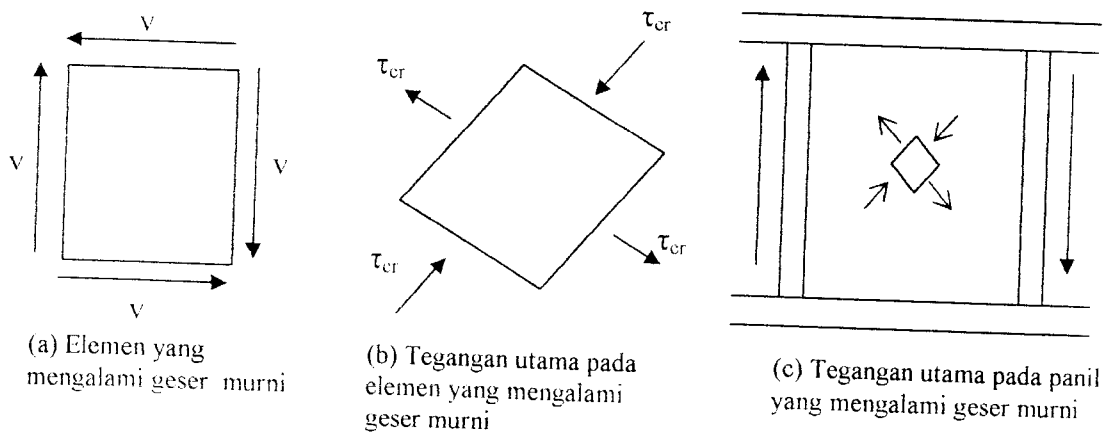
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.48)$$

Untuk kasus geser murni lihat Gambar 3.14 Persamaan 3.48 bisa dituliskan sebagai (dengan mengganti  $F$  dengan  $\tau$  untuk tegangan geser)

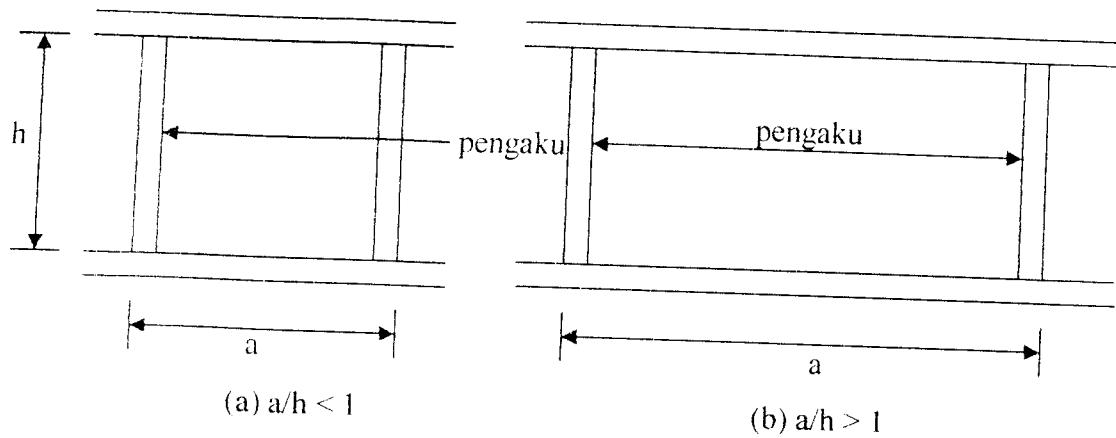
$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left( \frac{\text{sisipendek}}{t} \right)^2} \quad (3.49)$$

untuk kasus tepi bertumpuan sederhana (yakni perpindahan dicegah tetapi rotasi terhadap tepi tidak dikekang).

$$k = 5.34 + 4.0 \left( \frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \quad (3.50)$$



Gambar 3.14 Teori geser klasik (Salmon dan Johnson, 1986)



Gambar 3.15 Dua keadaan dari jarak pengaku (Salmon dan Johnson, 1986)

Untuk perencanaan, Persamaan 3.49 dan 3.50 biasanya dinyatakan dalam  $h$  (tinggi badan tanpa sokongan) dan  $a$  (jarak antara pengaku). Bila hal ini dilakukan maka ada dua kasus yang harus ditinjau :

- a. jika  $a/h \leq 1$  (Gambar 3.15a), maka Persamaan 3.49 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(a/h)^2] (h/a)^2}{12(1 - \mu^2)(a/t)^2 (h/a)^2} \quad (3.51)$$

- b. jika  $a/h \geq 1$  (Gambar 3.15b), maka Persamaan 3.49 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(h/a)^2]}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.52)$$

Dari Persamaan 3.51 dan 3.52 bahwa jika kita hendak memakai  $h/t$  sebagai rasio stabilitas pada penyebut, maka dua persamaan untuk  $k$  diperlukan. Untuk semua harga  $a/h$ , Persamaan 3.51 dan 3.52 bisa dituliskan sebagai :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E k}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.53)$$

dengan :

$$k = 4,0 + 5,34/(ah)^2, \text{ untuk } ah \leq 1 \quad (3.54)$$

$$k = 4,0/(ah)^2 + 5,34, \text{ untuk } ah \geq 1 \quad (3.55)$$

Tampak pada Persamaan 3.54 dan 3.55 bila  $ah$  semakin kecil maka nilai  $k$  akan semakin besar. Nilai  $h$  pada profil  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda lebih kecil daripada profil I sehingga nilai  $k$  profil  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda lebih besar dari profil I.

Persamaan 3.53 ditulis dalam bentuk tanpa hubungan dimensi, dengan mendefinisikan koefisien  $C_v$  sebagai rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan leleh geser,

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 E k}{\tau_y (12)(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.56)$$

tampak bahwa  $C_v$  merupakan stabilitas elastis.

Substitusi nilai  $E = 200000 \text{ Mpa}$ ,  $\mu = 0,3$ ,  $\tau_y = 0,6 F_{yw}$  ke Persamaan 3.56 menjadi:

$$C_v = \frac{303000.k}{(h/t)^2 F_{yw} (MPa)} \quad (3.57)$$

### 3.7.2 Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni

Sebagaimana dalam situasi stabilitas, tegangan sisa dan ketaksempurnaan (*imperfection*) mengakibatkan tekuk tak elastik pada saat tegangan kritis mendekati tegangan leleh.

$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_{batas} \tau_{cr(elastikidal)}} \quad (3.58)$$

Batas proporsional diambil sebagai  $0,8 \tau_y$ , yang lebih besar daripada untuk tekan flens, karena efek tegangan sisa lebih sedikit. Pembagian Persamaan 3.58 dengan  $\tau_y$  untuk mendapatkan  $C_v$  dan tegangan menggunakan Persamaan 3.57 memberikan

$$C_v = \frac{491}{h/t_w} \sqrt{\frac{k}{I_{yw}^2}} \quad (3.59)$$

### 3.7.3 Kekuatan Geser

#### a. Geser Nominal

Menurut **Salmon dan Johnson (1996)**, kekuatan geser nominal  $V_n$  dari suatu gelagar berdasarkan tekuk tak-elastik atau elastik badan dapat dinyatakan

$$V_n = \tau_{cr} A_w \quad (3.60)$$

atau dengan menggunakan  $C_v = \tau_{cr} / \tau_y$  maka

$$V_n = C_v \tau_y A_w \quad (3.61)$$

jika  $\tau_y = 0.6F_y$  dan  $C_v = 1$  maka

$$V_n = (0.6F_y) A_w \quad (3.62)$$

#### b. Kekuatan Geser dalam Rentang Beban Layanan

$$\left( \frac{V_n}{\gamma / \phi} = \frac{V_n}{FS} \right) \geq V \quad (3.63)$$

dimana:  $\gamma/\phi$  = faktor-faktor kelebihan beban dibagi oleh faktor resistansi

$F_s = 1.67$  = faktor keamanan nominal dalam desain balok

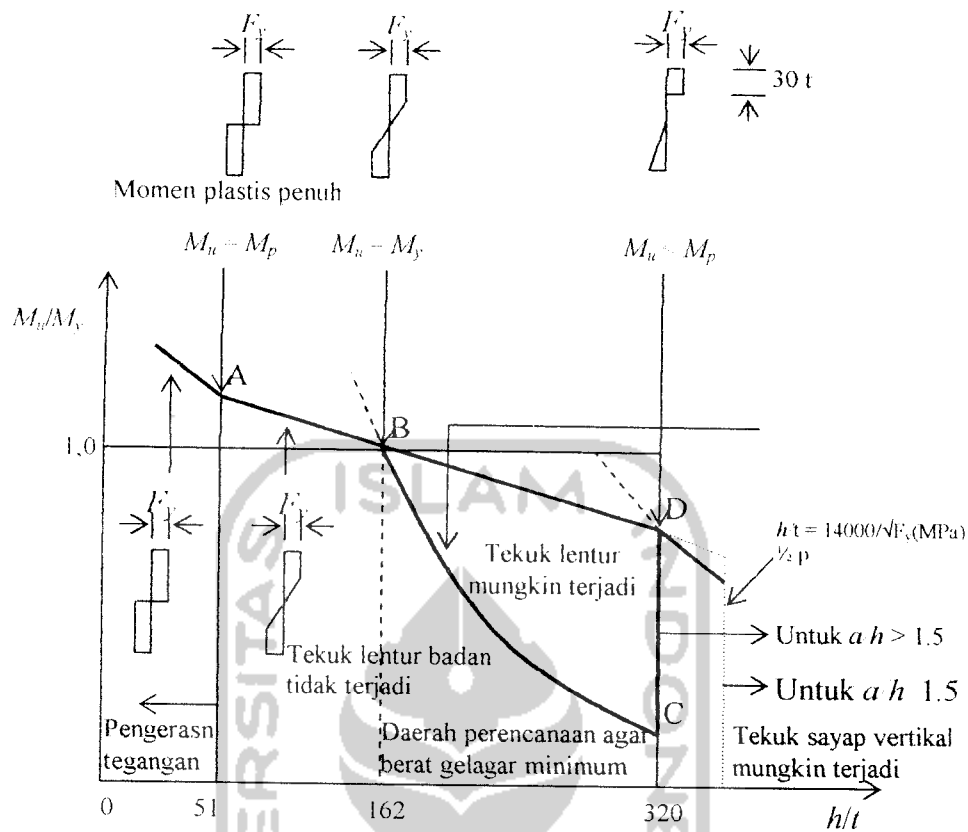
$V$  = geser beban layanan

### 3.8. Kapasitas Lentur Gelagar Pelat

Berdasarkan penelitian oleh **Salmon and Johnson (1996)** dengan bahan penelitiannya adalah baja profil I dengan mutu baja A36, badan akan tertekuk akibat adanya tegangan lentur.

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t_w}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.64)$$

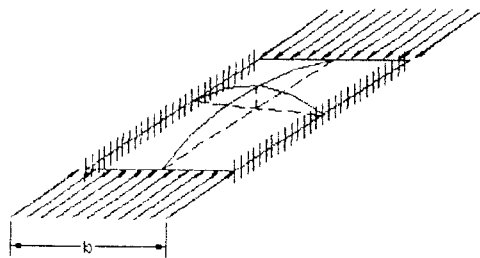
dengan  $h/t_w$  adalah menentukan ketidakstabilan badan (tekuk lentur),  $L/r_y$  adalah menentukan ketidakstabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral),  $b/t_f$  adalah menentukan tekuk setempat (tekuk puntir) pada sayap,  $A_w/A_f$  adalah menentukan pengaruh purna tekuk badan pada sayap. Kapasitas lentur pada gelagar pelat tanpa pengaku cenderung mengalami tekuk lentur pada rasio  $h/t_w=162$ , selanjutnya akan terjadi penurunan kapasitas lentur gelagar. Apabila  $h/t_w$  besar (daerah perencanaan agar berat gelagar minimum,  $h/t$  162 s/d 320) tegangan kritis yang terjadi relatif kecil, sehingga dapat menimbulkan tekuk kritis dan mencegah terjadinya tekuk (buckling) pada pelat badan (Web). Tegangan kritis pelat akan meningkat bila pengaku vertikal dan horisontal diberikan pada badan gelagar. Dengan demikian kapasitas lentur gelagar serta kekuatan purna tekuk gelagar akan meningkat



Gambar 3.16 Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan : baja A36

### 3.9. Tekuk pada Sayap

Gambar 3.17 merupakan elemen pelat yang diperkuat, yang bertumpu sepanjang dua tepi yang sejajar pembebanan



Gambar 3.17 Defleksi tekuk pelat pada sayap (jepit-jepit).

(dari Salmon dan Johnson, 1992)

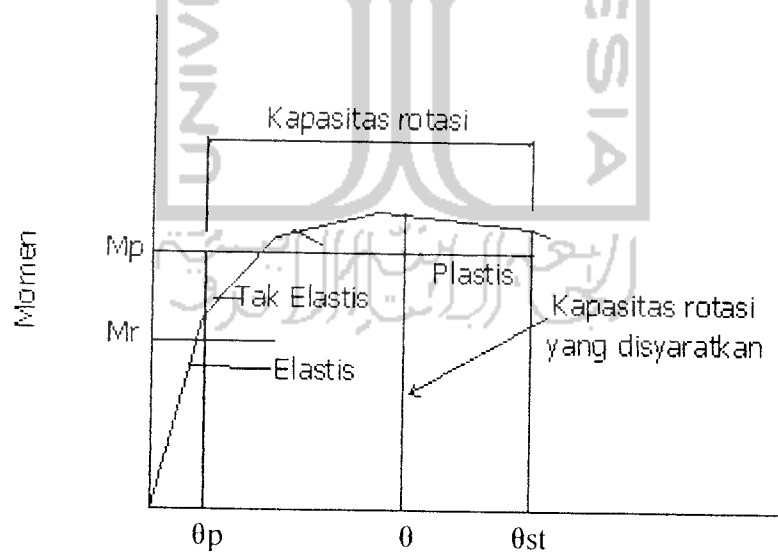
$$F_{cr} = \frac{5696000}{(h/t_w)^2} \text{ MPa} \quad (3.67)$$

Tekuk lentur semacam ini tidak akan terjadi bila .

$$\frac{h}{t_w} \leq \sqrt{\frac{5696000}{F_{cr, \text{MPa}}}} = \frac{2387}{\sqrt{F_{cr}}} \quad (3.68)$$

### 3.11. Tekuk Puntir (*Torsional Buckling*)

Tekuk puntir merupakan suatu keadaan batas yang mungkin yang dapat mengontrol kekuatan suatu balok. Terdapat tiga kategori perilaku yang diwakili dalam **Gambar 3.18**



**Gambar 3.18** Hubungan momen – rotasi

- a. Kekuatan momen plastis  $M_p$  tercapai dan kemampuan deformasi yang besar.



- b. Perilaku tak-elastis dimana kekuatan momen dipengaruhi oleh tegangan sisa dan mungkin tidak tercapai  $M_p$
- c. Perilaku elastis dimana kekuatan momen dikontrol oleh tekuk elastis, tekuk flens lokal, tekuk badan balok, atau tekuk puntir lateral.

### 3.11.1 Tekuk Puntir-Lateral Elastis

Pada suatu balok dalam posisi tertekuk, momen yang terjadi ( $M_0$ ) akan meningkatkan komponen momen  $M_x$ ,  $M_y$ , dan  $M_z$ , maka akan terdapat kurvatur

lentur dan puntir. 
$$EI \frac{d^2v}{dz^2} = M = M_0 \quad (3.69)$$

Dimana  $v$  adalah displasemen sentroid, penyelesaian untuk  $M_0 = M_{cr}$  memberikan persamaan merupakan kekuatan tekuk puntir-lateral elastis untuk penampang profil-I yang terkena momen konstan pada bidang badan balok pada panjang yang secara lateral tidak berpenopang  $L$ . Untuk menyesuaikan gradien momen, Persamaan 3.69 dapat dikalikan dengan suatu faktor  $C_b$ . Dengan demikian secara umum:

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{\left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 C_w I_y + EI_y GJ} \quad (3.70)$$

dimana :

$M_{cr}$  = Momen kritis arah lateral

$G$  = Modulus elastisitas geser =  $E/(2(1+\mu))$ , merupakan fungsi

modulus elastisitas tarik-tekan  $E$  dan rasio poisson  $\mu$

$$J = \text{Konstanta puntir} = \frac{1}{3} \sum b.t^3$$

$$C_w = \text{Konstanta kelengkungan puntir} = \frac{I_y \cdot h^2}{4}$$

$$I_y = \text{Momen Inersia terhadap sumbu y}$$

Momen kritis balok tergantung pada panjang bentang dengan dengan dukungan lateral dan gradien momen. Pengaruh gradien momen pada perencanaan elastis dihitung dengan persamaan :

$$C_b = 1,75 + 1,05 \frac{M_1}{M_2} + 0,3 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2,3 \quad (3.71)$$

Dengan  $\frac{M_1}{M_2}$  adalah rasio momen, positif jika  $M_1$  dan  $M_2$  membentuk lengkung ganda atau (double curvature), negatif bila membentuk lengkung tunggal (single curvature).

### 3.11.2 Tekuk Puntir-Lateral Tak Elastis

Untuk memperoleh kekuatan dan kapasitas rotasi, kita dapat menggunakan persamaan tekuk puntir-lateral elastis.

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 E}{L^2} \sqrt{C_w I_y} \quad (3.72)$$

Karena  $M_{cr}$  harus mencapai  $M_p$ , substitusikan  $M_p = Z_x f_y$  untuk  $M_{cr}$ . Demikian pula  $C_w = I_y b^2 / 4$ ,  $I_y = A r^2$ , Dan gantikan  $L$  dengan  $L_b$  untuk panjang yang tidak

berpenopang lateral. Bila diselesaikan akan diperoleh rasio kerampingan

$$\text{maksimum. } \frac{L_b}{r_y} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{2F_y} \left( \frac{hA}{Z_x} \right)} \quad (3.73)$$

yang akan berlaku untuk momen lentur seragam. Batas atas terhadap Persamaan 3.73 dapat diperoleh bila diasumsikan bahwa tidak ada tegangan sisa dan bahwa materialnya plastis elastis sempurna. Dengan menggunakan nilai rendah yang konservatif sebesar 1,5 untuk  $hA/Z_x$  dan  $E = 200000$  Mpa dalam Persamaan 3.73 diperoleh

$$\frac{L_b}{r_y} = \sqrt{\frac{\pi^2 200000(1,5)}{2F_y}} = \frac{1217}{\sqrt{F_y}} \quad (3.74)$$

jelaslah bahwa untuk mengharapkan perilaku didaerah plastis,  $L_b/r_y$  harus dibatasi sampai dibawah harga Persamaan 3.74.

### 3.12 Perhitungan Inersia Secara Teoritis

Secara teoritis untuk mencari persamaan inersia pada gelagar pelat I yaitu:

$$I_x = \int y^2 \cdot dA \quad (3.75)$$

Integral dari Persamaan 3.75 diperoleh hasil Persamaan 3.76

$$I_x = \int_{h/2}^{h/2} y^2 dA \quad (3.76)$$

Integral dari Persamaan 3.76 diperoleh hasil Persamaan 3.77

$$2 \int_0^{h/2} y^2 b \, dy \quad (3.77)$$

Integral dari Persamaan 3.77 diperoleh hasil Persamaan 3.78

$$2b \left[ \frac{1}{3} y^3 \right]_0^{h/2} \quad (3.78)$$

Integral dari Persamaan 3.78 diperoleh hasil Persamaan 3.79

$$\frac{2}{3} b \left( \frac{h}{2} \right)^3 \quad (3.79)$$

Integral dari Persamaan 3.79 diperoleh hasil Persamaan 3.80

$$\frac{2}{3} b \left( \frac{h^3}{8} \right) \quad (3.80)$$

Integral dari Persamaan 3.80 diperoleh hasil Persamaan 3.81

$$I_x = \left( \frac{1}{12} \right) b \cdot h^3 \quad (3.81)$$

Untuk inersia dari suatu profil maka inersia ( $I_x$ ) elemen suatu profil pada Persamaan 3.81 ditambah luas elemen dikali jarak titik berat elemen dengan titik berat profil seperti pada Persamaan 3.82

$$I_x = \left( \frac{1}{12} \right) b \cdot h^3 + (A \cdot y^2) \quad (3.82)$$

Dimana :  $I_x$  = Inersia terhadap sumbu x

b = lebar elemen yang ditinjau

h = tinggi elemen yang ditinjau

A = luasan elemen yang ditinjau

Y = jarak titik berat elemen terhadap titik berat profil

### 3.13 Perhitungan Momen Kritis Secara Teoritis

Perhitungan momen kritis secara teoritis dapat dihitung melalui persamaan

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.83)$$

untuk mencari momen kritis menggunakan Persamaan :

$$M_{cr} = \frac{F_{cr} \cdot I}{y} \quad (3.84)$$

Nilai inersia pada profil  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda lebih besar daripada profil I sehingga nilai momen kritis profil  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda lebih besar dari profil I.

### 3.14. Hipotesis

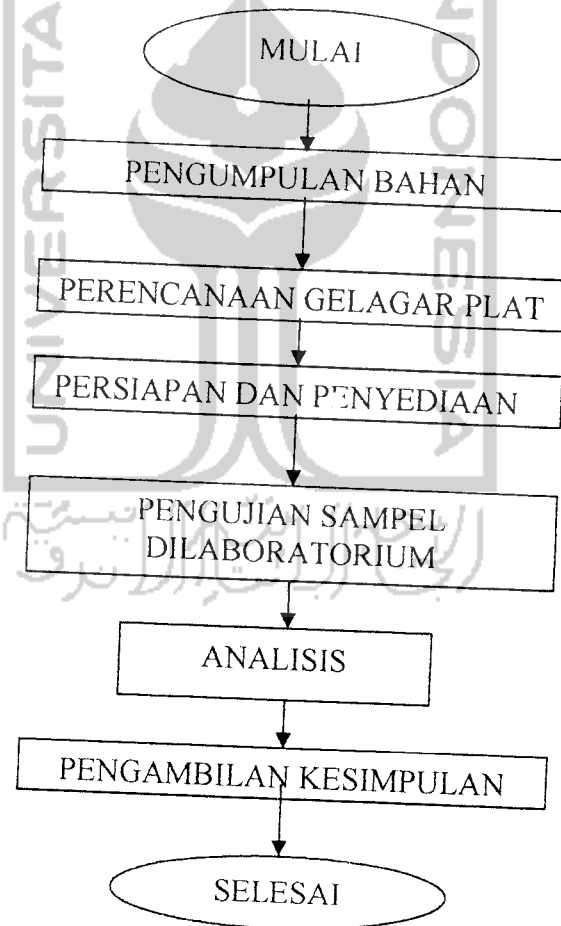
Dengan menambah penampang  $\nabla$  tunggal dan  $\nabla$  ganda pada gelagar pelat penampang I akan memperkecil nilai  $h$ , nilai koefisien tekuk sayap meningkat, tegangan kritis meningkat, momen inersia meningkat sehingga momen kritis juga meningkat, serta gelagar pelat menjadi lebih kaku sehingga kapasitas lentur gelagar pelat penampang  $\nabla$  tunggal dan  $\nabla$  ganda lebih besar dari gelagar pelat penampang I. Selain itu momen kritis gelagar pelat penampang  $\nabla$  ganda dan momen kritis  $\nabla$  tunggal lebih besar dari penampang I.

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1. Tahap-tahap Penelitian

Metode penelitian ini adalah suatu cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan dalam penulisan tugas akhir. Jalannya penelitian dapat dilihat dari bagan alir pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Bagan Alir metode penelitian

## 4.2. Persiapan Bahan dan Alat

Sebelum pelaksanaan penelitian perlu diadakan persiapan bahan dan alat yang akan digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian.

### 4.2.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Pelat baja

Pelat baja tebal 2 mm digunakan sebagai badan dari gelagar pelat

b. Alat sambung yang digunakan adalah las.

### 4.2.2. Peralatan penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan. Adapun peralatan tersebut terdiri dari:

a. *Loading Frame*

Adalah alat yang terbuat dari baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm, dengan bentuk dasar berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton ( rigid floor ) dengan perantara dari besi setebal 14 mm. Agar alat tersebut stabil, pelat dasar dibaut kelantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan di uji dengan cara melepas sambungan baut. Sketsa fisik *Loading Frame* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Keterangan :

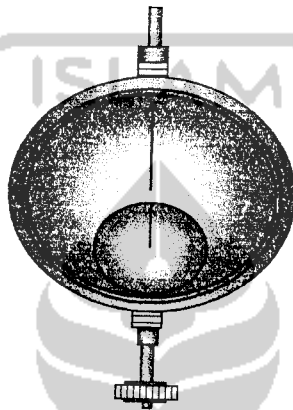
1. Model Balok
2. Hydraulic Jack
3. Dukungan
4. Balok Portal (bisa digeser)
5. Balok Lintang
6. Kolom
7. Pengaku
8. Angkur
9. Plat Dasar

**Gambar 4.2.** Loading Frame



*b. Dial Gauge*

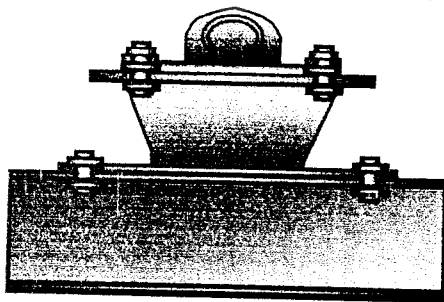
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimal 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm. Dalam penelitian ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak empat buah ( Gambar 4.3)



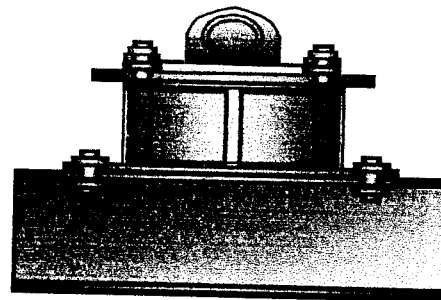
**Gambar 4.3** *Dial Gauge*

*c. Dukungan Sendi dan Rol*

Dukungan sendi dipasang pada salah satu dukungan balok gelagar plat dan dukungan rol dipasang pada dukungan lainnya, seperti pada Gambar 4.4



*(a) Dukungan Sendi*

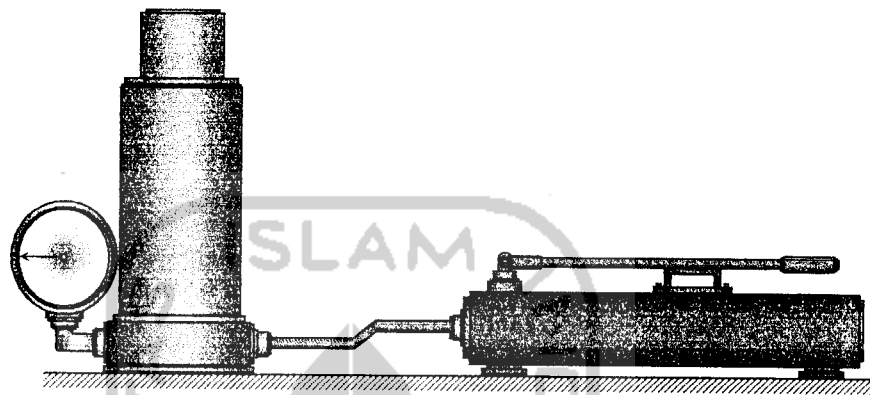


*(b) Dukungan Rol*

**Gambar 4.4** *Dukungan Sendi dan Rol*

d. *hydraulic Jack*

Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur gelagar plat skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan 0,5 ton. ( lihat Gambar 4.5 )

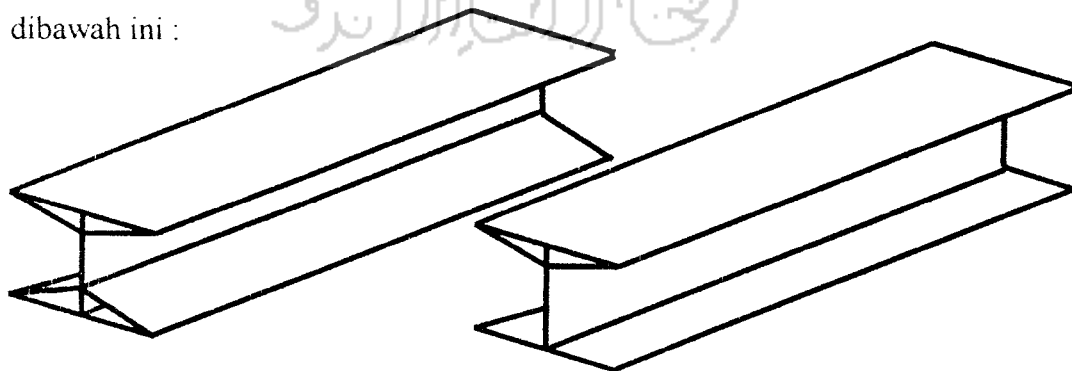


Gambar 4.5. *Hydraulic Jack*

4.3 Model Benda Uji

4.3.1. Benda uji gelagar pelat penampang  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda

Model benda uji yaitu plat yang dirancang seperti profil WF ( I ) tapi dengan rasio tinggi (h) yang lebih besar dari profil WF yang terbesar, sehingga plat tersebut menjadi langsing. Adapun model benda uji tersebut seperti gambar dibawah ini :



(a) *Pelat penampang  $\nabla$  ganda*

(b) *Pelat penampang  $\nabla$*

Gambar 4.6 *Model Benda Uji*

#### 4.4. Pembuatan Benda Uji

Sebelum membuat benda uji, terlebih dahulu melakukan perhitungan dimensi gelagar plat dengan penampang  $\nabla$ -Shapes dan Both  $\nabla$ -Shapes serta mempersiapkan bahan. Selanjutnya pembuatan benda uji sesuai dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

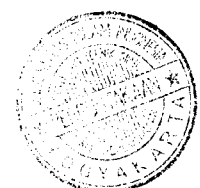
1. Bahan pelat baja yang akan dibuat benda uji di ukur dahulu sesuai dimensi rencana.
2. Potongan pelat baja yang telah jadi kemudian di las listrik secara menerus dengan diberi pengaku dukung dengan bentuk  $\nabla$ -Shapes dan Both  $\nabla$ -Shapes dari pelat 2 mm memanjang pada kedua sayap pelat.

#### 4.5. Langkah-Langkah Pengujian

Untuk mempermudah langkah pengujian, disusun rancangan langkah-langkah pengujian. Adapun langkah-langkah pengujian yang di maksud tersebut di bawah ini :

##### 4.5.1. Uji Kuat Lentur Baja

1. Peralatan dan sample uji yang akan digunakan di *setting* terlebih dahulu untuk memperoleh posisi sample dan peralatan pengujian yang sesuai.
2. Pemasangan sampel pada alat uji *Loading Frame* dimana pada tumpuan ujung-ujung gelagar pelat di kunci pada dukungan di *Loading Frame*. Satu ujung pada dukungan sendi dan satu ujung lagi pada dukungan rol sehingga model benda uji mendekati balok sederhana yaitu "simple



*beam*". Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan di uji dengan cara melepas sambungan baut pada *Loading Frame*.

3. Benda uji di beri tekanan dengan alat *Hidraulic Jack* dengan pembacaan dial setiap kelipatan beban 1 kN. Pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan, beban konstan dan dinaikan secara berangsur-angsur sampai beban maksimum sehingga benda uji akan mengalami leleh atau tekuk.



## BAB V

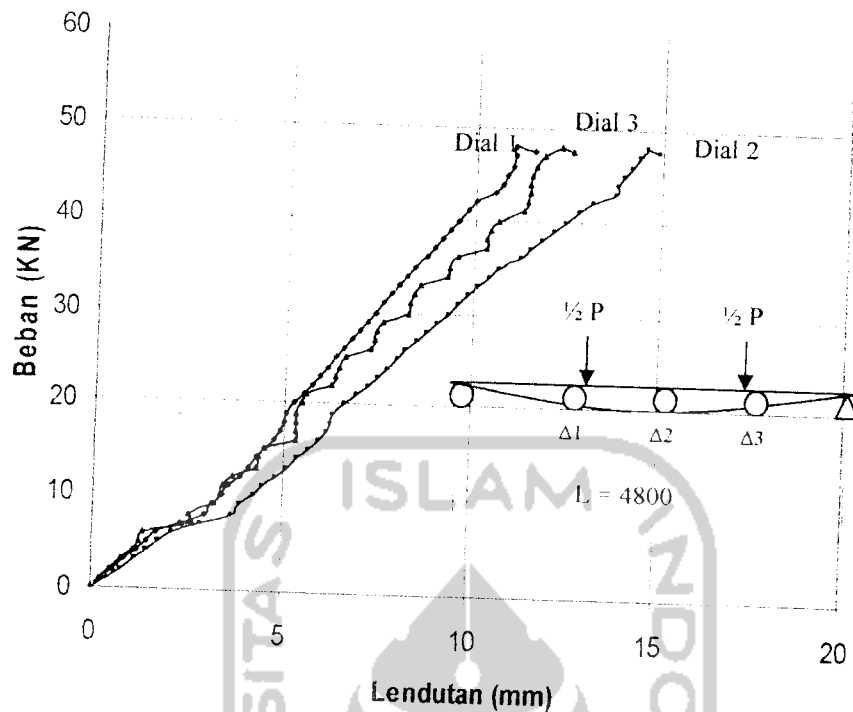
### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Hasil Uji Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang $\nabla$ dan $\nabla$ Ganda

Uji lentur gelagar pelat penampang  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda menggunakan alat bantu *Loading Frame* dan sumber beban dibangkitkan dari *Hdraulic Jack* kapasitas 300 kN. Pelaksanaan uji lentur di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Hasil dari pengujian dapat dilihat dari table dan grafik pada Lampiran 4 dan visualisasi pelaksanaan uji dapat dilihat pada Lampiran 6.

##### 5.1.1. Hubungan Beban-Lendutan.

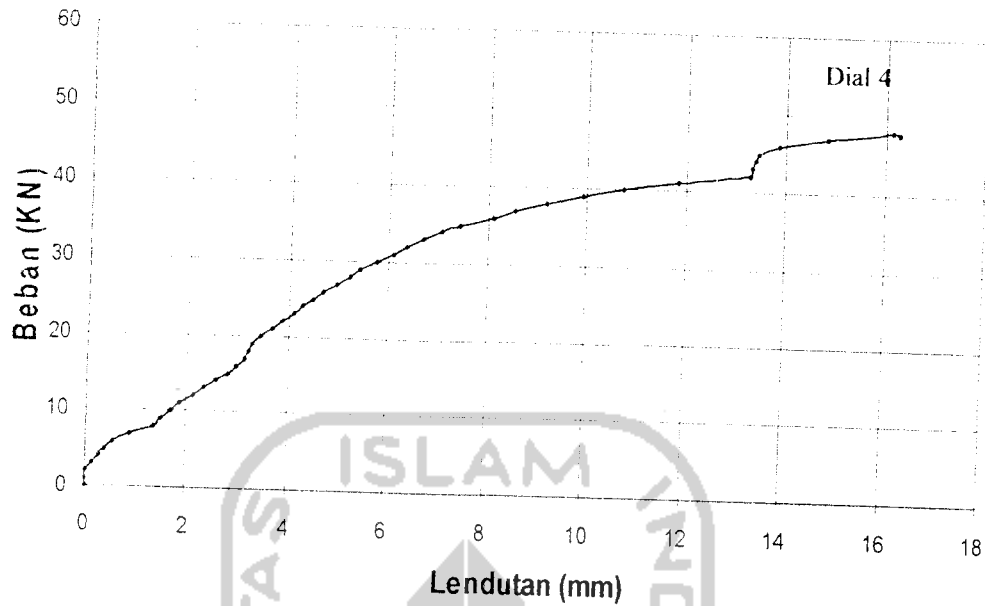
Pengujian kuat lentur gelagar pelat ini, dilaksanakan dengan memberikan dua beban yang terletak pada setiap 1/3 bentang, secara bertahap gelagar pelat tersebut diberi beban dengan kenaikan sebesar 1,0 kN, pada setiap tahap pembebanan lendutan yang terjadi dibaca dan dicatat pada tabel. Data pengujian yang menunjukkan hubungan beban-lendutan dapat dilihat pada Lampiran 4. Dari data hasil pengujian kedua benda uji tersebut dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan lentur arah vertikal untuk gelagar pelat  $\nabla$  (tanpa pengaku) seperti pada Gambar 5.1.



**Gambar 5.1** Grafik hubungan Beban-Lendutan Arah Transversal Gelagar  $\nabla$

Dari Gambar 5.1, lendutan maksimum arah vertikal terjadi pada dial 2 yang terletak pada tengah bentang sebesar 14,60 mm dan mampu menahan beban 48 kN. Lendutan yang terjadi pada dial 1 dan dial 3 mengalami perbedaan, hal ini disebabkan karena perletakan dial dan beban kurang tepat di  $1/3$  bentang.

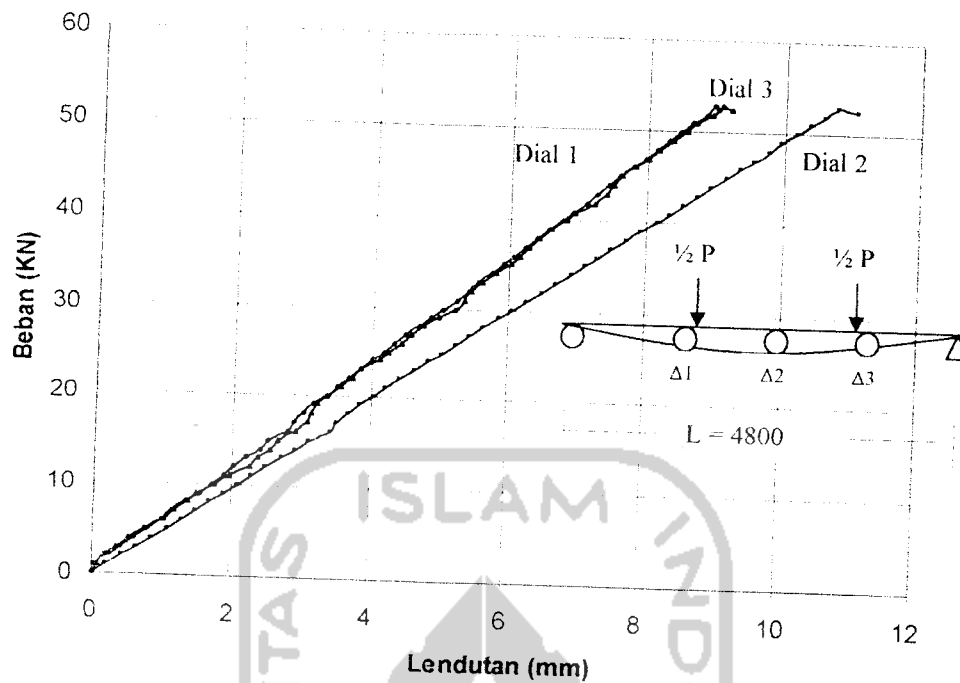
Grafik hubungan beban-lendutan arah kesamping (lateral) gelagar pelat  $\nabla$  (tanpa pengaku) seperti pada Gambar 5.2



**Gambar 5.2** Grafik hubungan Beban-Lendutan kesamping (lateral) Gelagar  $\nabla$

Dari Gambar 5.2, lendutan arah horisontal terjadi pada dial 4 yang terletak pada badan pelat sebesar 16,15 mm.

Grafik hubungan beban-lendutan lentur arah vertikal gelagar pelat  $\nabla$  ganda (tanpa pengaku) seperti pada Gambar 5.3

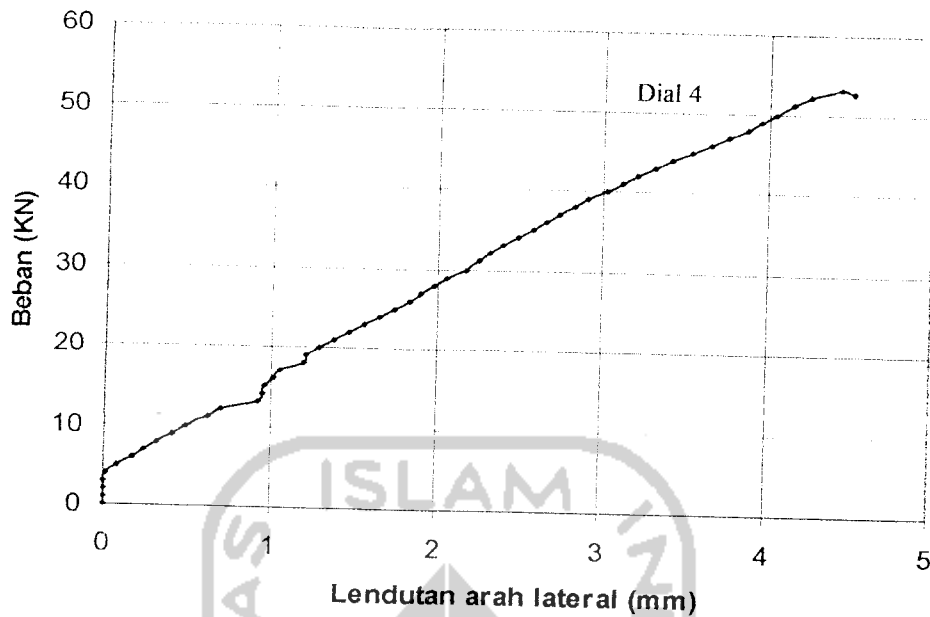


Gambar 5.3 Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar  $\nabla$  ganda

Dari Gambar 5.3, lendutan maksimum arah vertikal terjadi pada dial 2 yang terletak pada tengah bentang sebesar 10,79 mm, sedangkan lendutan pada dial 1 dan dial 3 relatif sama. Gelagar  $\nabla$  ganda (tanpa pengaku) mampu menahan beban 53 kN.

Grafik hubungan beban-lendutan arah samping (lateral) gelagar pelat  $\nabla$  ganda (tanpa pengaku) seperti pada Gambar 5.4



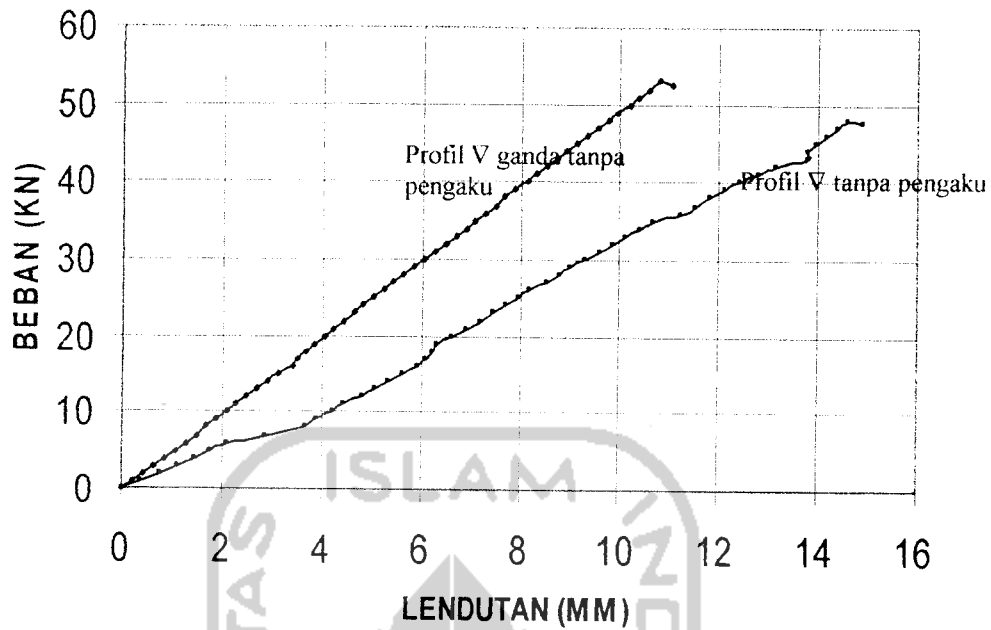


**Gambar 5.4** Grafik hubungan Beban-Lendutan samping (lateral) Gelagar  $\nabla$  ganda

Dari Gambar 5.4, lendutan arah lateral terjadi pada dial 4 yang terletak pada badan pelat sebesar 16,15 mm.

### 5.1.2. Hubungan Beban-Lendutan Gelagar $\nabla$ tanpa pengaku dan $\nabla$ Ganda tanpa pengaku

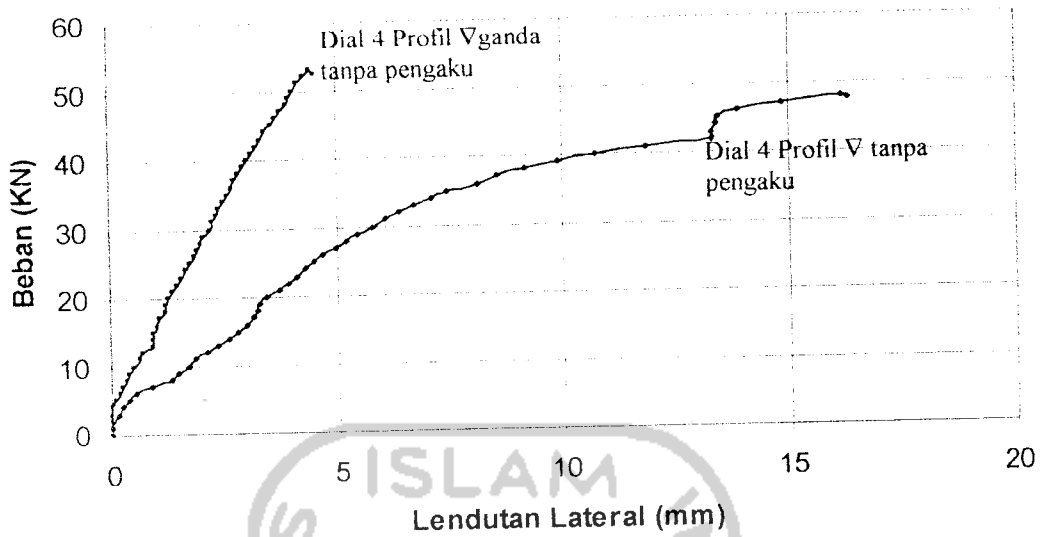
Untuk mengetahui lendutan arah vertikal yang terjadi pada gelagar pelat profil  $\nabla$  tanpa pengaku dan  $\nabla$  ganda tanpa pengaku dapat dilihat dari grafik Gambar 5.5 sebagai berikut :



**Gambar 5.5** Grafik Rasio Hubungan Beban Lendutan ditengah bentang Gelagar  $\nabla$  dan  $\nabla$  Ganda

Dari Gambar 5.5, lendutan yang lebih besar terjadi pada profil  $\nabla$  tanpa pengaku tetapi beban yang ditahan oleh profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku lebih besar.

Grafik lendutan arah horisontal yang terjadi pada gelagar pelat profil  $\nabla$  tanpa pengaku dan  $\nabla$  ganda tanpa pengaku dapat dilihat dari Gambar 5.6



Gambar 5.6 Grafik Rasio Hubungan Beban Lendutan arah lateral Gelagar ∇ dan ∇ Ganda

Dari Gambar 5.6, lendutan arah lateral yang lebih besar terjadi pada profil ∇ tanpa pengaku.

Untuk mencari kekakuan dari gelagar dapat dicari dengan persamaan :

$$k = \frac{P}{\Delta} \tag{5.1}$$

Dari persamaan 5.1 diperoleh nilai kekakuan (k)

Tabel 5.1 Nilai Kekakuan (k)

Benda uji (mm)	P maksimum		Δ uji (mm)	Δ teoritis (mm)	Kekakuan (k) (kN/mm)	
	P uji (kN)	P teoritis (kN)			Uji	Teoritis
∇ tanpa pengaku	48	50,453	14,6	11,47	3,29	4,40
∇ ganda tanpa pengaku	53	91,619	10,79	15,25	4,91	6,01

Dari tabel 5.1, terlihat nilai kekakuan ( $k$ ) pengujian lebih kecil daripada nilai  $k$  teoritis karena nilai  $P$  maksimum pengujian lebih kecil daripada  $P$  maksimum teoritis.

### 5.1.3. Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ )

Setelah pengujian terhadap profil  $\nabla$  dan  $\nabla$ ganda didapatkan beban maksimum ( $P$ ) pada kedua profil tersebut yaitu untuk profil  $\nabla = 48$  kN sedang untuk profil  $\nabla$ ganda = 53 kN. Dari beban tersebut didapatkan momen maksimum dengan persamaan :

$$M_{\text{maks}} = 1/6.P.L. \quad (5.2)$$

dengan nilai inersia profil sebagai berikut :

**Tabel 5.2** Nilai Momen Inersia Profil

Profil	Profil $\nabla$ tanpa pengaku	Profil $\nabla$ ganda tanpa pengaku
$I_x$ ( $\text{mm}^4$ )	$5067,0076 \cdot 10^4$	$6921,6866 \cdot 10^4$
Rasio $I_x$	1	1,37

Karena inersia dari kedua profil sudah diketahui, maka dapat diperoleh nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) Profil  $\nabla$  dan  $\nabla$ ganda dengan persamaan :

$$F_{cr} = \frac{M.y}{I} \quad (5.3)$$

hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 3 dan Tabel 5.3

**Tabel 5.3** Tegangan Kritis (  $F_{cr}$  )

Profil	Profil $\nabla$ tanpa pengaku	Profil $\nabla$ ganda tanpa pengaku
$F_{cr}$ (MPa)	123,377	123,72

#### 5.1.4. Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ )

Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh beban maksimum (P) dan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dari profil  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda, sehingga dapat dicari nilai koefisien tekuk ( $k$ ) hasil penelitian dengan persamaan :

untuk badan :

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \left( \frac{h}{t} \right)^2}{\pi^2 \cdot E} \quad (5.4)$$

untuk sayap :

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \left( \frac{b}{t} \right)^2}{\pi^2 \cdot E} \quad (5.5)$$

Secara teoritis nilai koefisien tekuk (  $k$  ) untuk profil  $\nabla$  apabila diasumsikan nilainya adalah 4 pada sayap sedangkan badan adalah 23,9. Untuk dapat mengetahui hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan, dapat dilihat pada Tabel 5.4.

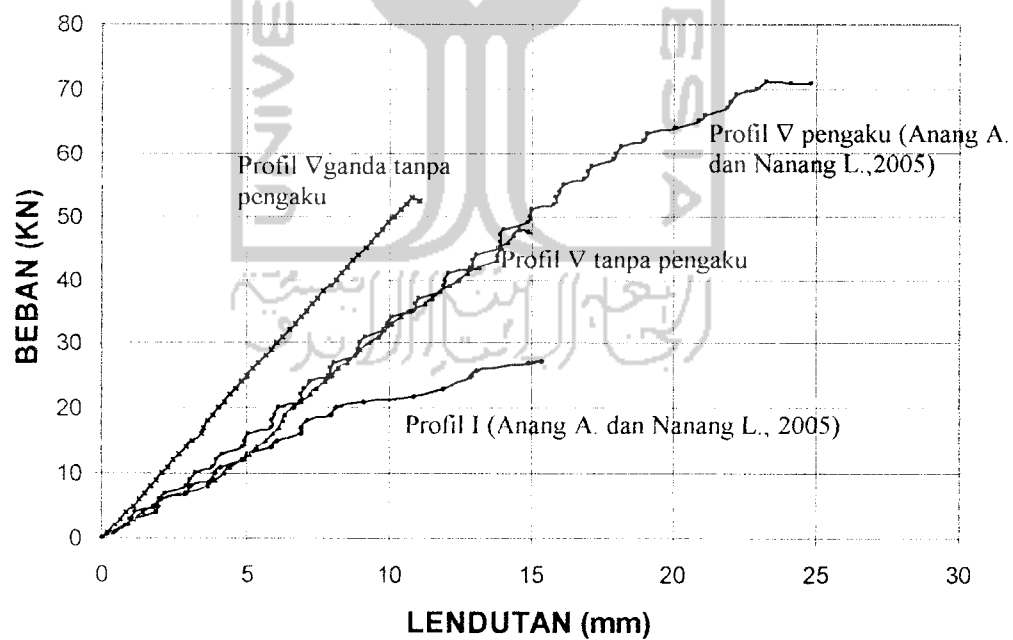
Tabel 5.4 Nilai koefisien tekuk ( $k$ ) hasil penelitian Profil  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda tanpa pengaku

Profil	Profil $\nabla$ tanpa pengaku	Profil $\nabla$ ganda tanpa pengaku
Sayap	1,706	1,711
Badan	27,30	27,38

## 5.2. Pembahasan

### 5.2.1. Hubungan Beban-Lendutan Pengujian

Dari pengujian yang telah dilakukan serta hasil pengujian yang dilakukan oleh Nanang Lubis dan Anang Arifin (2005), maka dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar profil I,  $\nabla 60^\circ$  menggunakan pengaku, profil  $\nabla 45^\circ$  tanpa pengaku dan profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku.

Hasil pengujian yang telah dilaksanakan memperoleh beban maksimum dan lendutan seperti pada Tabel 5.1 serta lampiran 4 didapatkan beban maksimum (P) pada kedua profil yaitu untuk profil  $\nabla 45^\circ = 48$  kN dan lendutan = 14,60 mm, sedang untuk profil  $\nabla$  ganda = 53 kN dan lendutan = 10,79 mm. Dari hasil penelitian **Nanang Lubis dan Anang Arifin (2005)** dengan bentuk profil I dan  $\nabla 60^\circ$  menggunakan pengaku, didapatkan nilai P maksimum untuk profil I = 27 kN, lendutan = 14,05 mm dan  $I_x = 4298,77.10^4$  mm<sup>4</sup> serta nilai P maksimum untuk  $\nabla 60^\circ$  menggunakan pengaku = 71 kN, lendutan = 19,52 mm dan  $I_x = 5465,19.10^4$  mm<sup>4</sup>. Maka diperoleh rasio kekuatan pada gelagar pelat untuk menahan lendutan untuk profil I dengan pengaku : profil  $\nabla 60^\circ$  menggunakan pengaku : profil  $\nabla 45^\circ$  tanpa pengaku : profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku = **1 : 2,63 : 1,78 : 1,96**.

Dari keempat profil tersebut, diperoleh suatu pernyataan bahwa dengan penambahan pelat berbentuk  $\nabla$  pada sayap, dapat meningkatkan nilai inersia dengan rasio profil I dengan pengaku : profil  $\nabla 60^\circ$  menggunakan pengaku : profil  $\nabla 45^\circ$  tanpa pengaku : profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku = **1 : 1,02 : 1,24 : 1,38** dan rasio kekakuan = **1 : 1,89 : 1,71 : 2,56**.

### **5.2.2. Rasio Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Gelagar $\nabla$ tanpa pengaku dan $\nabla$ ganda tanpa pengaku.**

Berdasarkan Tabel 5.3 diperoleh nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) untuk profil  $\nabla 45^\circ$  tanpa pengaku = 123,377 MPa dan nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) untuk profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku = 123,72 MPa. Pada penelitian **Nanang Lubis dan Anang**

Arifin (2005) didapatkan nilai  $F_{cr}$  profil I dengan pengaku = 102,2 MPa dan nilai  $F_{cr}$  profil  $\nabla 60^\circ$  menggunakan pengaku = 173,56 MPa, maka rasio tegangan kritis pada gelagar pelat untuk profil I dengan pengaku : profil  $\nabla 60^\circ$  menggunakan pengaku : profil  $\nabla 45^\circ$  tanpa pengaku : profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku = **1 : 1,69 : 1,20 : 1,21**.

Dari lampiran 3 dan penelitian Naning Lubis dan Anang Arifin (2005) dapat diamati bahwa dengan penambahan pelat berbentuk  $\nabla$  pada sayap maka akan meningkatkan nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ). Hal ini disebabkan karena nilai koefisien tekuk yang terjadi baik pada sayap maupun badan meningkat. Berdasarkan persamaan 3.13 dan persamaan 3.14, nilai koefisien tekuk dipengaruhi oleh jarak antar pengaku sehingga nilai  $F_{cr}$  profil  $\nabla 60^\circ$  menggunakan pengaku lebih besar dibandingkan dengan nilai  $F_{cr}$  profil  $\nabla 45^\circ$  tanpa pengaku dan profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku.

### 5.2.3. Rasio Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Gelagar $\nabla$ tanpa pengaku dan $\nabla$ ganda tanpa pengaku.

Dari Tabel 5.4 diperoleh nilai koefisien tekuk ( $k$ ) profil  $\nabla 45^\circ$  tanpa pengaku pada sayap = 1,706 dan badan = 27,30, nilai koefisien tekuk ( $k$ ) profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku pada sayap = 1,711 dan badan = 27,38. Maka didapatkan rasio nilai  $k$  pada sayap untuk profil  $\nabla 45^\circ$  tanpa pengaku : profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku = **1 : 1,003** dan rasio nilai  $k$  pada badan = **1 : 1,003**. Berdasarkan uraian



diatas, dapat dilihat nilai koefisien tekuk ( $k$ ) pada sayap dan badan meningkat karena nilai  $F_{cr}$   $\nabla$  ganda lebih besar daripada nilai  $F_{cr}$  profil  $\nabla 45^\circ$ . Pada penelitian yang kami lakukan kegagalan terjadi pada badan profil.

Sebagai bahan pertimbangan perencanaan gelagar pelat, dari hasil pengujian dan penelitian **Nanang Lubis dan Anang Arifin (2005)** didapatkan hasil pada Tabel 5.5.

**Tabel 5.5** Hasil Pengujian Profil  $\nabla 45^\circ$  dan Profil  $\nabla$  ganda serta Penelitian **Nanang Lubis dan Anang Arifin (2005)** untuk Profil I dan Profil  $\nabla 60^\circ$

	profil I	profil $\nabla 60^\circ$	profil $\nabla 45^\circ$	profil $\nabla$ ganda
Volume $m^3$	0,00768	0,01152	0,01039	0,01309
$I_x$ ( $mm^4$ )	$4298,77 \cdot 10^4$	$5465,19 \cdot 10^4$	$5087,01 \cdot 10^4$	$6921,69 \cdot 10^4$
$S = I_x / y$	$21,279 \cdot 10^4$	$34,11 \cdot 10^4$	$31,124 \cdot 10^4$	$34,27 \cdot 10^4$
$P_{maksimum}$ (MPa)	27	71	48	53
$M = 1/6 \cdot P \cdot L$ (kNm)	21,6	59,2	38,4	42,4
$F_{cr}$ (MPa)	102,02	173,56	123,377	123,72

Dari Tabel 5.5 diperoleh suatu informasi bahwa dengan volume gelagar yang lebih besar belum tentu mendapatkan kekuatan yang lebih besar. Hal ini dikarenakan pada profil  $\nabla 45^\circ$  dan profil  $\nabla$  ganda mengalami tekuk lokal pada badan pelat yang disebabkan tidak menggunakan pengaku pada badan sedangkan pada profil  $\nabla 60^\circ$  memakai pengaku pada badan.

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan :

- 1) Rasio kekuatan pada gelagar pelat untuk menahan lendutan yaitu profil I : profil  $\nabla$  dengan pengaku : profil  $\nabla$  tanpa pengaku : profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku = **1 : 2,63 : 1,78 : 1,96**. Kekuatan gelagar  $\nabla$  dengan pengaku dengan gelagar  $\nabla$  tanpa pengaku mengalami perbedaan yang sangat signifikan.
- 2) Rasio kekakuan uji profil I = 1, maka rasio kekakuan uji gelagar pelat I :  $\nabla$  (tanpa pengaku) :  $\nabla$  (dengan pengaku) :  $\nabla$  ganda (tanpa pengaku) = **1 : 1,71 : 1,89 : 2,56**. Dengan penambahan pelat pada sayap atas dan bawah akan meningkatkan nilai kekakuan.
- 3) Dengan tidak adanya pengaku pada badan, maka nilai tegangan kritis pelat menurun dengan rasio tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) pada gelagar pelat untuk profil I : profil  $\nabla$  dengan pengaku : profil  $\nabla$  tanpa pengaku : profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku = **1 : 1,69 : 1,20 : 1,21**.
- 4) Pada profil  $\nabla$  tanpa pengaku dan profil  $\nabla$  ganda tanpa pengaku rasio nilai koefisien tekuk ( $k$ ) pada sayap dan badan sama, profil  $\nabla$  tanpa pengaku :  $\nabla$  ganda tanpa = **1 : 1,003**.

## 6.2. Saran

Untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang gelagar pelat penampang  $\nabla$  dan  $\nabla$  ganda dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Pemberian pengaku pada profil dan variasi jarak pengaku pada profil.
- 2) Perlu diperhatikan pengelasan pada pengaku pada saat pembuatan sampel.
- 3) Memberikan penambahan dial saat pengujian pada badan profil agar mendapatkan data lendutan arah lateral yang lebih baik.



## DAFTAR PUSTAKA

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1990, **STRUKTUR BAJA** Jilid 1 Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1991, **STRUKTUR BAJA** Jilid 2 Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1996, **STRUKTUR BAJA** Edisi Ketiga, Gramedia, Jakarta.

Joseph E. Bowles, Pantur Silaban, 1985, **DISAIN BAJA KONSTRUKSI**, Erlangga, Jakarta.

S. Timoshenko, S. Woinowsky, Krieger, S. Hindarko, 1988, **TEORI PELAT DAN CANGKANG** Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

Gere dan Timoshenko, Hans J. Wospakrik, 1987, **MEKANIKA BAHAN** Edisi Kedua Versi SI Jilid 1, Erlangga, Jakarta.

E.P. Popov, Zainur Astamar, 1984, **MEKANIKA TEKNIK** Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

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

Nanang Lubis, Anang Arifin, 2005, **PERILAKU LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG  $\nabla$  (  $\nabla$ -SHAPE ) PADA PEMBEBANAN STASTIK**, Yogyakarta.

Padasbajayo, 1994, **PENGETAHUAN DASAR STRUKTUR BAJA**, Nafiri,  
Yogyakarta.

N.S Thahair, M.A Bradford, 1988, **THE BEHAVIOR AND DESIGN OF STEEL  
STRUCTURES**, Chapman and Hall, New York.



# Lampiran 1





**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	DEDI HERIANTO	01511146	Teknik Sipil
2.	RAMDAN ARAFAT	01511164	Teknik Sipil

**JUDUL TUGAS AKHIR**

Perilaku Lentur Gelagar Pelat Penampang V Ganda ( Both V Shaped ) Terhadap Pembebanan Statik

PERIODE KE : I ( Sep 05 - Feb 06 )

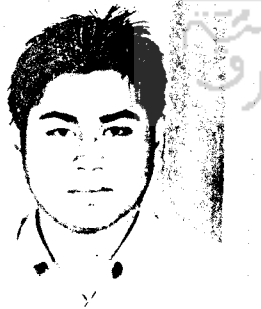
TAHUN : 2005 - 2006

Sampai akhir Pebruari 2006

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		SEP	OKT.	NOP.	DES.	JAN.	PEB
1	Pendaftaran						
2	Penentuan Dosen Pembimbing						
3	Pembuatan Proposal						
4	Seminar Proposal						
5	Konsultasi Penyusunan TA.						
6	Sidang - Sidang						
7	Pendadaran						

Dosen Pembimbing I : Fatkhurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Fatkhurrohman N,Ir,MT



Jogyakarta, 12-Sep-05  
 a.n. Dekan



Catatan :  
 Seminar : \_\_\_\_\_  
 Sidang : \_\_\_\_\_  
 Pendadaran : \_\_\_\_\_



UNTUK DOSEN

**KARTU PRESENSI KONSULTASI**  
**TUGAS AKHIR MAHASISWA**

PERIODE KE : I ( Sep 05 - Feb 06 )

TAHUN : 2005 - 2006

**Sampai akhir Pebruari 2006**

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	DEDI HERIANTO	01511146	Teknik Sipil
2.	RAMDAN ARAFAT	01511164	Teknik Sipil


**JUDUL TUGAS AKHIR**

Perilaku Lentur Gelagar Pelat Penampang V Ganda ( Both V Shaped ) Terhadap Pembebanan Statik

Dosen Pembimbing I : Fatkhurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Fatkhurrohman N,Ir,MT



Jogjakarta ,12-Sep-05  
a.n. Dekan  
  
Ir.H.Munadhir, MS

**Catatan :**

Seminar : 24-10-2007

Sidang : \_\_\_\_\_

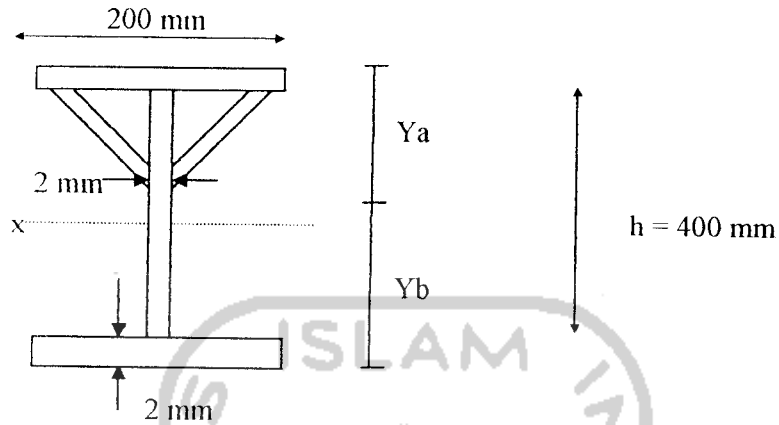
Pendadaran : \_\_\_\_\_



# Lampiran 2



Perhitungan Beban Teoritis Berdasarkan Tegangan Lentur  
Benda Uji 1



- Titik Berat

Statis momen terhadap sisi bawah

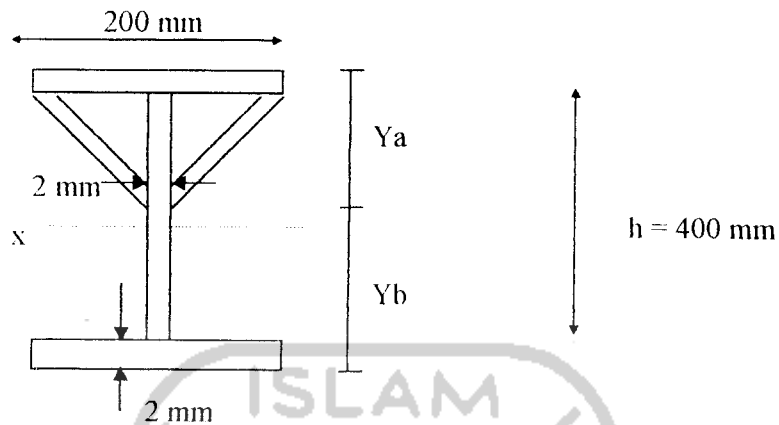
$$Y_b = \frac{\{(200 \cdot 2) \cdot 1\} + \{(2 \cdot 2 \cdot 141,4) \cdot 352\} + \{(400 \cdot 2) \cdot 202\} + \{(200 \cdot 2) \cdot 403\}}{\{(200 \cdot 2) + (141,4 \cdot 2) \cdot 2 + [(400 \cdot 2) + (200 \cdot 2)]\}}$$

$$Y_b = \frac{522291,2}{2165,6}$$

$$Y_b = 241,2 \text{ mm}$$

$$Y_a = 404 \text{ mm} - 241,2 \text{ mm} = 162,8 \text{ mm}$$

- Inersia Sayap dan Badan



$I_x$  sayap atas =

$$\begin{aligned}
 & 2 \cdot \left\{ \frac{B.H^3 - bh^3}{12} + \left\{ \left( \frac{1}{2} \cdot B.H \cdot \left( Y_a - \frac{1}{3} H \right)^2 \right) - \left( \frac{1}{2} \cdot b.h \cdot \left( Y_a - \frac{1}{3} h \right)^2 \right) \right\} \right\} + \\
 & \frac{1}{12} \cdot d^3 \cdot tw + d \cdot tw \cdot a^2 + \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3 + b \cdot t \cdot x^2 \\
 & = 2 \cdot \left\{ \frac{(100 \cdot 100^3) - (98 \cdot 98^3)}{12} + \right. \\
 & \left. \left\{ \left( \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 100 \cdot (129,47)^2 \right) - \left( \frac{1}{2} \cdot 98 \cdot 98 \cdot (130,13)^2 \right) \right\} \right\} + \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 2^3 + 2 \cdot 100 \cdot 110, \\
 & 8^2 + \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 161,8^2 \\
 & = 18517543,5 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_x \text{ badan} &= \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 300^3 + 300 \cdot 2 \cdot 89,2^2 \\
 &= 9273984 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x \text{ sayap bawah} &= \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 2 \cdot 200 \cdot 240 \cdot 2^2 \\ &= 23078549,33 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x \text{ profil} &= I_x \text{ sayap atas} + I_x \text{ badan} + I_x \text{ sayap bawah} \\ &= 18517543,5 + 9273984 + 23078549,33 \\ &= 50870076,83 \text{ mm}^4 = 5067,0076 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} \text{ sayap} &= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1-0,3^2) \left(\frac{b_1}{t}\right)^2} \\ &= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12(1-0,3^2) \left(\frac{100}{2}\right)^2} \\ &= 289,22 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ Maksimum Sayap} &= \frac{6 \cdot F_{cr} \cdot I_x}{L \cdot y} \\ &= \frac{6 \cdot 289,22 \cdot 50870076,83}{4800 \cdot 162,8} \\ &= 112595 \text{ N} = 112,595 \text{ kN} \end{aligned}$$

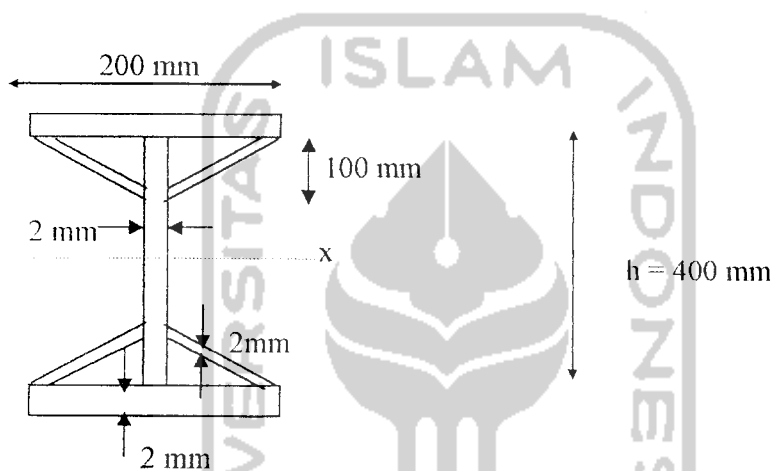
$$\begin{aligned} F_{cr} \text{ badan} &= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1-0,3^2) \left(\frac{h_1}{t}\right)^2} \\ &= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12(1-0,3^2) \left(\frac{300}{2}\right)^2} \\ &= 192,01 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$P \text{ Maksimum badan} = \frac{6 \cdot F_{cr} \cdot I_x}{L \cdot y}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{6.192,01.50870076,83}{4800.241,2} \\
 &= 50453 \text{ N} = 50,453 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Jadi P Maksimum terpakai benda uji  $\nabla = 50,453 \text{ kN}$

### Benda Uji 2



$I_x$  sayap

$$\begin{aligned}
 &= 4 \cdot \left\{ \frac{B.H^3 - bh^3}{12} + \left\{ \left( \frac{1}{2} \cdot B.H \left( Y_a - \frac{1}{3} H \right)^2 \right) - \left( \frac{1}{2} \cdot b.h \left( Y_a - \frac{1}{3} h \right)^2 \right) \right\} \right\} + \\
 &2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot d^3 \cdot t_w + d \cdot t_w \cdot a^2 \right) + 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot b \cdot t_f^3 + b \cdot t_f \cdot x^2 \right) \\
 &= 4 \cdot \frac{(100 \cdot 100^3) - (98 \cdot 98^3)}{12} + \\
 &\left\{ \left( \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 100 \cdot \left( 168,67 \right)^2 \right) - \left( \frac{1}{2} \cdot 98 \cdot 98 \cdot \left( 169,67 \right)^2 \right) \right\} + 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 100^3 \cdot 2 + 2 \cdot 100 \cdot \right. \\
 &150^2 \left. \right) + 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 201^2 \right)
 \end{aligned}$$

$$= 58550199,85 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} I_x \text{ badan} &= \frac{1}{12} \cdot 2.400^3 \\ &= 10.666.666,67 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x \text{ profil} &= I_x \text{ sayap} + I_x \text{ badan} \\ &= 58550199,85 + 10666666,67 \\ &= 69216866,52 \text{ mm}^4 = 6921,6866 \cdot 10^3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} \text{ sayap} &= \frac{4 \cdot \pi^2 E}{12(1-0,3^2) \left(\frac{b_1}{t}\right)^2} \\ &= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12(1-0,3^2) \left(\frac{100}{2}\right)^2} \\ &= 289,22 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ Maksimum Sayap} &= \frac{6 \cdot F_{cr} \cdot I_x}{L \cdot y} \\ &= \frac{6 \cdot 289,22 \cdot 69216866,52}{4800 \cdot 202} \\ &= 123879 \text{ N} \\ &= 123,879 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} \text{ badan} &= \frac{23,9 \cdot \pi^2 E}{12(1-0,3^2) \left(\frac{h_1}{t}\right)^2} \\ &= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12(1-0,3^2) \left(\frac{400}{2}\right)^2} \\ &= 108,01 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ Maksimum badan} &= \frac{6.F_{cr}.I_x}{L_y} \\
 &= \frac{6.108,01.69216866,52}{4800.102} \\
 &= 91619 \text{ N} \\
 &= 91,619 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Jadi P max = 91,619 kN

### Perhitungan Beban Teoritis berdasarkan Tegangan Geser Gelagar $\nabla$

$$V_n = V_{cr}.w_1 + V_{cr}.w_2$$

$$V_{cr1} = A w_1 . \tau_{cr1}$$

$$V_{cr2} = A w_2 . \tau_{cr2}$$

$$A w_1 = h_1 . t_w = 100 . 2 = 200 \text{ mm}^2$$

$$A w_2 = h_2 . t_w = 300 . 2 = 600 \text{ mm}^2$$

$$\text{Untuk } a/h = 4800 / 100 = 48 \Rightarrow a/h \geq 1$$

$$k_1 = \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} + 5,34$$

$$k_1 = \frac{4}{(48)^2} + 5,34 = 5,342$$

$$\text{Untuk } a/h = 4800 / 300 = 16 \Rightarrow a/h \geq 1$$

$$k_2 = \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} + 5,34$$

$$k_2 = \frac{4}{(16)^2} + 5,34 = 5,36$$

$$\tau_{cr1} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot k_1}{12(1 - 0,3^2)(h/t)^2}$$

$$\tau_{cr1} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 5,342}{12(1 - \pi^2)(100/2)^2} = 386,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{cr2} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot k_2}{12(1 - \pi^2)(h/t)^2}$$

$$\tau_{cr2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 5,36}{12(1 - 0,3^2)(300/2)^2} = 43,06 \text{ N/mm}^2$$

Jadi diperoleh gaya geser :

$$V_{cr1} = 200 \cdot 386,25 \cdot 10^{-3} = 77,25 \text{ kN}$$

$$V_{cr2} = 600 \cdot 43,06 \cdot 10^{-3} = 25,836 \text{ kN}$$

$$V_n = 77,25 + 25,836 = 103,086 \text{ kN}$$

$$V_n = 0,5 P ; P = 2 \cdot V_n = 206,172 \text{ kN}$$

#### Perhitungan Beban Teoritis berdasarkan Tegangan Geser Gelagar $V_g$

$$V_n = V_{cr1} \cdot w_1 + V_{cr2} \cdot w_2 + V_{cr3} \cdot w_3$$

$$V_{cr1} = A w_1 \cdot \tau_{cr1}$$

$$V_{cr2} = A w_2 \cdot \tau_{cr2}$$

$$V_{cr3} = A w_3 \cdot \tau_{cr3}$$

$$A w_1 = h_1 \cdot t_w = 100 \cdot 2 = 200 \text{ mm}^2$$


$$A w_2 = h_2 \cdot t_w = 200 \cdot 2 = 400 \text{ mm}^2$$

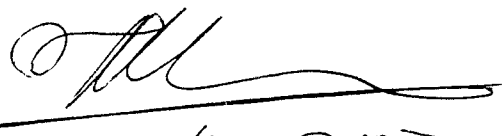
$$A w_3 = h_3 \cdot t_w = 100 \cdot 2 = 200 \text{ mm}^2$$


$$k_1 = k_3, \text{ Untuk } a/h = 4800 / 100 = 48 \Rightarrow a/h \geq 1$$



CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	KONSULTASI KE :	TANDA TANGGA
		<p>- Cari pustaka ke - Internet</p> <p>- Rumus pada (Impressi) tulis sbg tugas pustaka.</p> <p>- landasan teori adl. 'Susunan Estimator' berdasarkan 'Tupai' pustaka yg disusun oleh peneliti sbg mengahilkan hipotesis.</p> <p> <math display="block">\text{beberapa } \frac{P}{A} = k</math>  </p> <p> <math display="block">\text{Tori } \Delta = \frac{8L^3}{48EI} \rightarrow \frac{P}{A} = \frac{48EI}{L^3}</math> <math display="block">I \rightarrow p \propto I \quad I = A \quad I = 8 - L</math> </p> <p>kelebar 1:1:1.</p>	
		<p>(f) <math>\frac{11L^4}{I} \rightarrow M = \frac{11fer}{L^4}</math></p> <p><math>M = \frac{d^2y}{dx^2}</math></p> <p>total perulangan job (ap) <math>\rightarrow fer = \left(\frac{ap}{L^4}\right)</math></p> <p>Perubahan hitz menggunakan persamaan</p> <p>Eksp perulangan</p>	

Sidang   
 27/02-2021

led 

$$k = \frac{4}{(a/h)^2} + 5,34$$

$$k_1 = k_3 = \frac{4}{(48)^2} + 5,34 = 5,342$$

$$k_2, \text{ Untuk } a/h = 4800 / 200 = 24 \Rightarrow a/h \geq 1$$

$$k_2 = \frac{4}{(a/h)^2} + 5,34$$

$$k_2 = \frac{4}{(24)^2} + 5,34 = 5,346$$

$$\tau_{cr1} = \tau_{cr3} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot k_1}{12(1 - 0,3^2)(h/t)^2}$$

$$\tau_{cr1} = \tau_{cr3} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 5,342}{12(1 - \pi^2)(100/2)^2} = 386,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{cr2} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot k_2}{12(1 - \pi^2)(h/t)^2}$$

$$\tau_{cr2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 5,346}{12(1 - 0,3^2)(200/2)^2} = 96,63 \text{ N/mm}^2$$

Jadi diperoleh gaya geser :

$$V_{cr1} = 200 \cdot 386,25 \cdot 10^{-3} = 77,25 \text{ kN}$$

$$V_{cr2} = 400 \cdot 96,63 \cdot 10^{-3} = 38,625 \text{ kN}$$

$$V_{cr3} = 200 \cdot 386,25 \cdot 10^{-3} = 77,25 \text{ kN}$$

$$V_n = 77,25 + 25,836 + 77,25 = 193,152 \text{ kN}$$

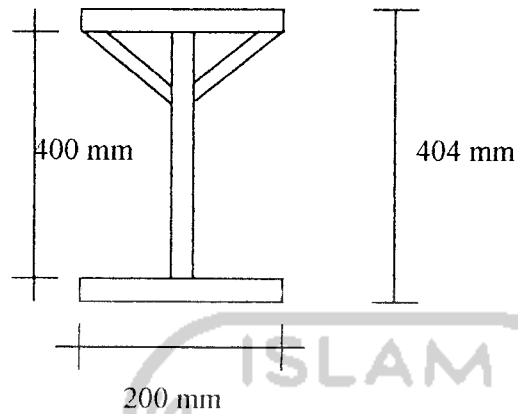
$$V_n = 0,5 P ; P = 2 \cdot V_n = 386,304 \text{ kN}$$

# Lampiran 3



### Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Pengujian

- Profil  $\nabla$



- Gelagar Pelat  $\nabla$

$$M = F_{cr} \cdot S_x$$

$$S_x = I_x / y$$

$$M = 1/6 P L$$

$$F_{cr} = \frac{1/6 P L}{\frac{I_x}{y}}$$

$$I_{total} = 5067,0076 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$y = 162,8 \text{ mm}$$

$$P_{maks} = 48 \text{ KN} = 4800 \text{ Kg}$$

$$L = 4800 \text{ mm}$$

$$M = \frac{1}{6} 4800 \cdot 4800 = 3840000 \text{ Kg mm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{y} = \frac{5067,01 \cdot 10^4}{162,8} = 31,124 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{3840000}{31,124 \cdot 10^4} = 12,3377 \text{ Kg/mm}^2 = 123,377 \text{ N/mm}^2$$

$$= 123,377 \text{ Mpa}$$

**Nilai Koefisien Tekuk (  $k$  ) Pada Sayap**

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 E}{12(1-0,3^2) \left(\frac{b_f}{t_f}\right)^2}$$

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12(1-0,3^2) \left(\frac{b_f}{t_f}\right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$$= \frac{123,377 \cdot 12(1-0,3^2) \left(\frac{100}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000}$$

$$= 1,706$$

**Nilai Koefisien Tekuk (  $k$  ) Pada Badan**

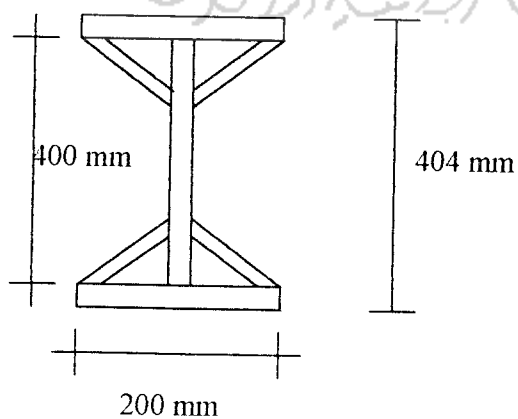
$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 E}{12(1-0,3^2) \left(\frac{h_f}{t_f}\right)^2}$$

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12(1-0,3^2) \left(\frac{h_f}{t_f}\right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$$= \frac{123,377 \cdot 12(1-0,3^2) \left(\frac{400}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000}$$

$$= 27,30$$

- **Gelagar Pelat Vganda**



$$M = F_{cr} \cdot S_x$$

$$S_x = I_x / y$$

$$M = 1/6 P L$$

$$F_{cr} = \frac{1/6 P L}{\frac{I_x}{y}}$$

$$I_{total} = 6921,6866 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$y = 202 \text{ mm}$$

$$P_{maks} = 53 \text{ KN} = 5300 \text{ Kg}$$

$$L = 4800 \text{ mm}$$

$$M = \frac{1}{6} 5300 \cdot 4800 = 4240000 \text{ Kg mm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{y} = \frac{6921,6866 \cdot 10^4}{202} = 34,27 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{4240000}{34,27 \cdot 10^4} = 12,372 \text{ Kg/mm}^2 = 123,72 \text{ N/mm}^2$$

$$= 123,72 \text{ Mpa}$$

#### Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Pada Sayap

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 E}{12(1-0,3^2) \left( \frac{b_f}{t} \right)^2}$$

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12(1-0,3^2) \left( \frac{b_f}{t} \right)^2}{\pi^2 E}$$

$$= \frac{123,72 \cdot 12(1-0,3^2) \left( \frac{100}{2} \right)^2}{\pi^2 \cdot 200000}$$

$$= 1,711$$

#### Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Pada Badan

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 E}{12(1-0,3^2) \left( \frac{h}{t} \right)^2}$$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \left( \frac{h_c}{l} \right)^2}{\pi^2 \cdot E} \\
 &= \frac{123,72 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \left( \frac{400}{2} \right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} \\
 &= 27,38
 \end{aligned}$$

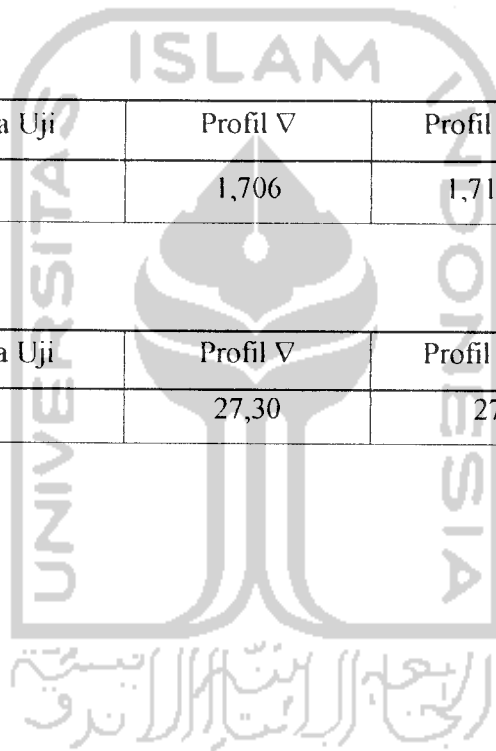
Koefisien tekuk profil  $\nabla$  dan  $\nabla$ ganda tanpa pengaku

- Sayap

Benda Uji	Profil $\nabla$	Profil $\nabla$ ganda
I	1,706	1,711

- Badan

Benda Uji	Profil $\nabla$	Profil $\nabla$ ganda
I	27,30	27,38



# Lampiran 4





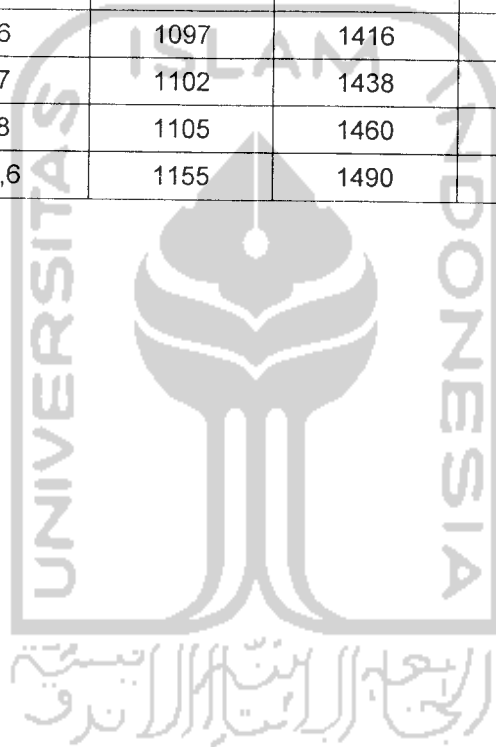
## Hasil Pembebanan Benda Uji

### HASIL PENGUJIAN BEBAN LENDUTAN PROFIL $\nabla$ TANPA PENGAKU

No	Beban (KN)	Lendutan			
		Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial 4
	0	0	0	0	0
1	1	27	40,5	20	0,1
2	2	55	75	48	0
3	3	90	112	79	-13
4	4	116	145	106	-26
5	5	144	177	123	-38
6	6	172	210	135	-53
7	7	230	285	265	-86
8	8	295	365	255	-133
9	9	313	388	321	-147
10	10	341	422	334	-168
11	11	358	445	342	-186
12	12	385	480	368	-211
13	13	409	508	427	-232
14	14	427	534	435	-255
15	15	451	565	447	-279
16	16	473	591	530	-296
17	17	489	612	530	-313
18	18	498	624	530	-321
19	19	503	630	532	-327
20	20	528	662	544	-342
21	21	549	690	559	-367
22	22	572	720	625	-388
23	23	594	745	635	-409
24	24	612	772	644	-426
25	25	633	798	660	-447
26	26	653	821	725	-467
27	27	676	853	735	-495
28	28	695	378	744	-520
29	29	715	901	757	-542
30	30	736	931	826	-576
31	31	758	960	832	-608
32	32	780	985	842	-637
33	33	799	1011	854	-668
34	34	820	1041	926	-708
35	35	841	1067	934	-745
36	36	872	1123	952	-810
37	37	890	1150	1031	-855

Lanjutan Tabel Pengujian Profil  $\nabla$  Tanpa Pengaku

38	38	913	1181	1032	-919
39	39	934	1211	1043	-992
40	40	954	1240	1060	-1073
41	41	978	1278	1127	-1185
42	42	1000	1316	1140	-1330
43	43	1054	1378	1142	-1332
44	44	1071	1380	1145	-1339
45	45	1082	1395	1149	-1345
46	46	1097	1416	1159	-1387
47	47	1102	1438	1180	-1485
48	48	1105	1460	1226	-1615
49	47,6	1155	1490	1260	-1630

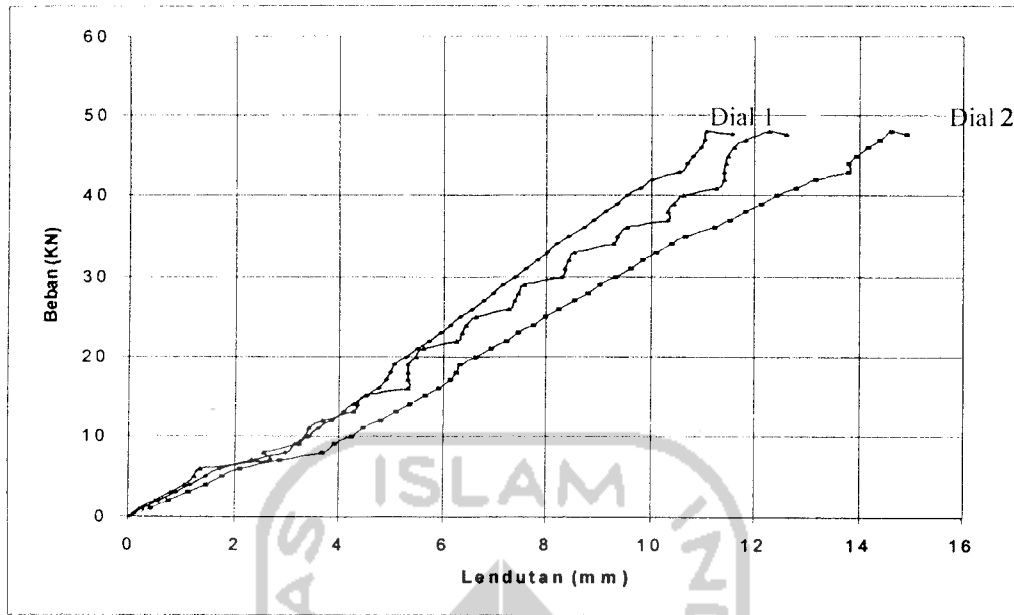


**HASIL PENGUJIAN BEBAN LENDUTAN PROFIL  $\nabla$  GANDA TANPA PENGAKU**

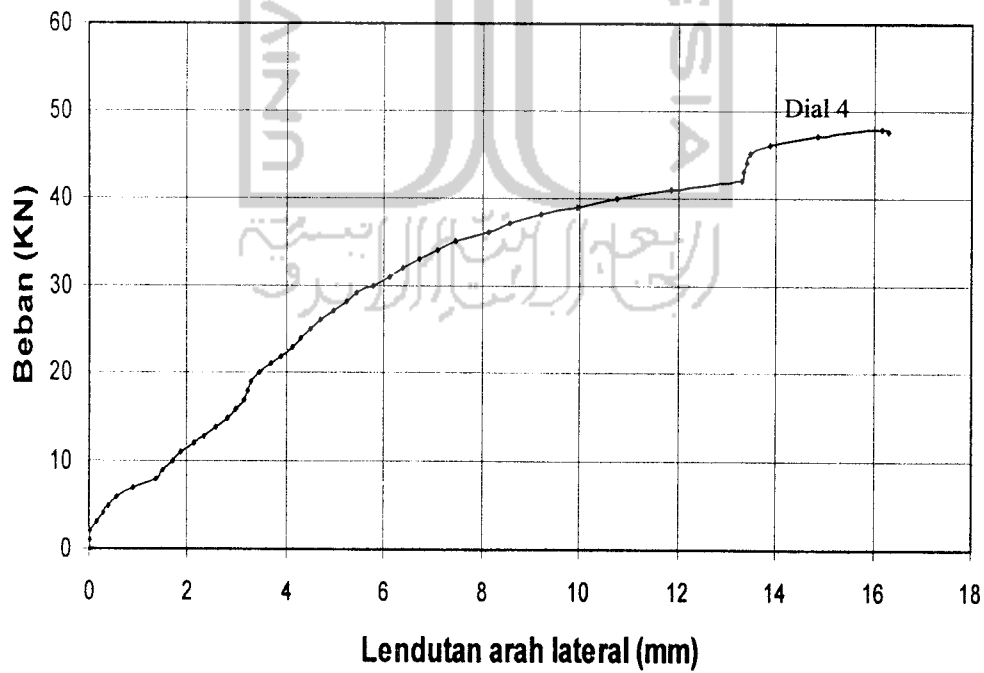
Beban (KN)	Lendutan			
	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial 4
0	0	0	0	0
1	2,5	20	9,5	0
2	25	43	17	0
3	41	63	35	0
4	59	85	52	-1
5	80,5	108	74	-8,5
6	98,5	128	102	-17
7	115	148	116,5	-24
8	133	167	136	-32
9	153	188	148	-41
10	170	209	174	-49
11	186,5	228	196	-61
12	203	247	225,5	-70
13	219,5	269	235	-92
14	240	290	253	-94
15	251,5	310	265	-96
16	279	342	291	-101
17	286	350	308,5	-105
18	301	367	314	-119
19	317	385	321	-121
20	334,5	405	336	-128
21	350	422	355	-137
22	366,5	442	372	-146
23	383,5	463	385	-156
24	401	482	412	-165
25	417	502	423	-174
26	433	523	443	-183
27	450	542	459	-190
28	468,5	563	475	-198
29	485,5	585	497	-206
30	504	607	521	-217
31	522,5	627	534	-225
32	539	649	544	-232
33	555,5	669	561	-240
34	573,2	690	580	-249
35	590,5	710	602	-258

Lanjutan Tabel Pengujian Profil  $\nabla$ GandaTanpa Pengaku

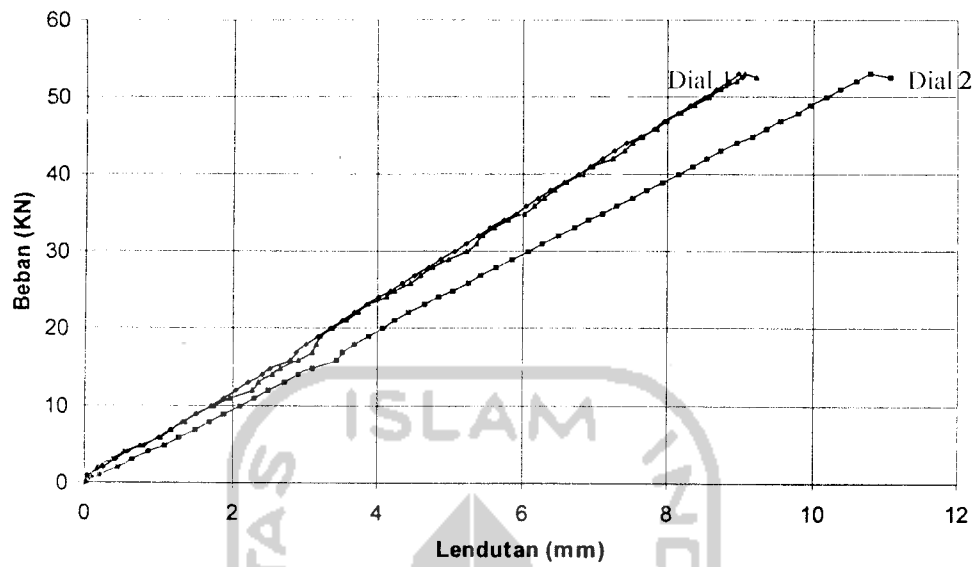
36	36	604,8	728	692,5	-266
37	37	621,5	749	701	-274
38	38	638,5	770	716	-283
39	39	657,1	791	777	-291
40	40	677	815	787	-303
41	41	691,5	833	793,5	-311
42	42	710	853	802	-321
43	43	725,5	873	816	-331
44	44	741,5	893	881	-342
45	45	760	915	887	-354
46	46	780	936	893	-365
47	47	795	955	900	-375
48	48	813	978	980	-387
49	49	829,5	995	981	-395
50	50	848,5	1018	987	-405
51	51	865,5	1038	992	-415
52	52	883,5	1058	1000	-425
53	53	897	1079	1080	-444
54	52,5	901	1105	1093	-452



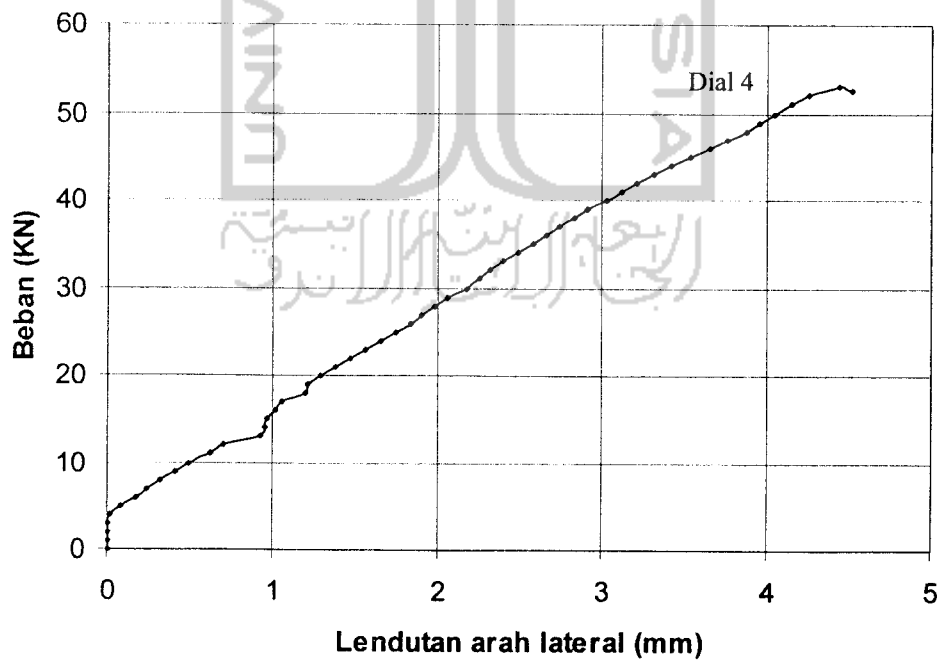
**Grafik Hubungan Beban-Lendutan Gelagar ▽**



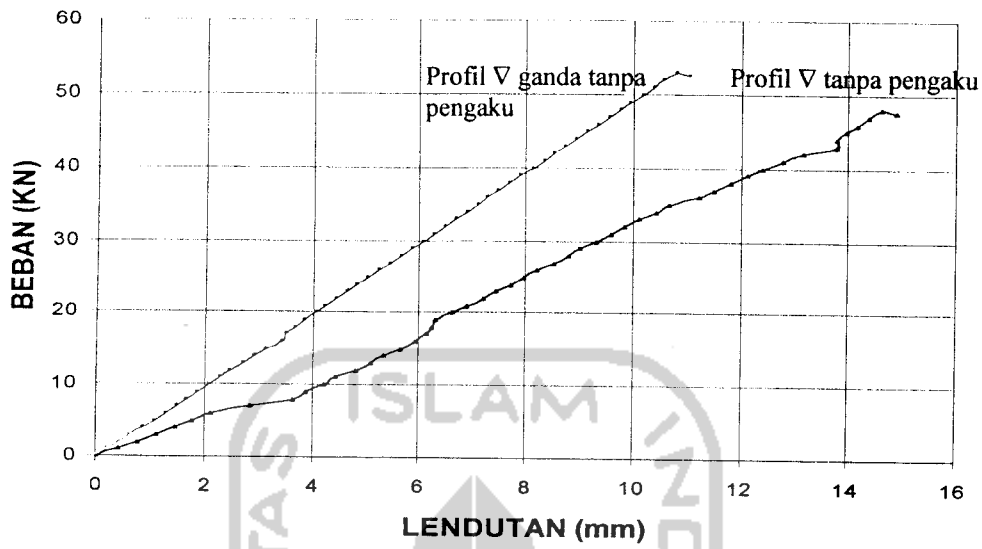
**Grafik hubungan Beban-Lendutan kesamping (lateral) Gelagar ▽**



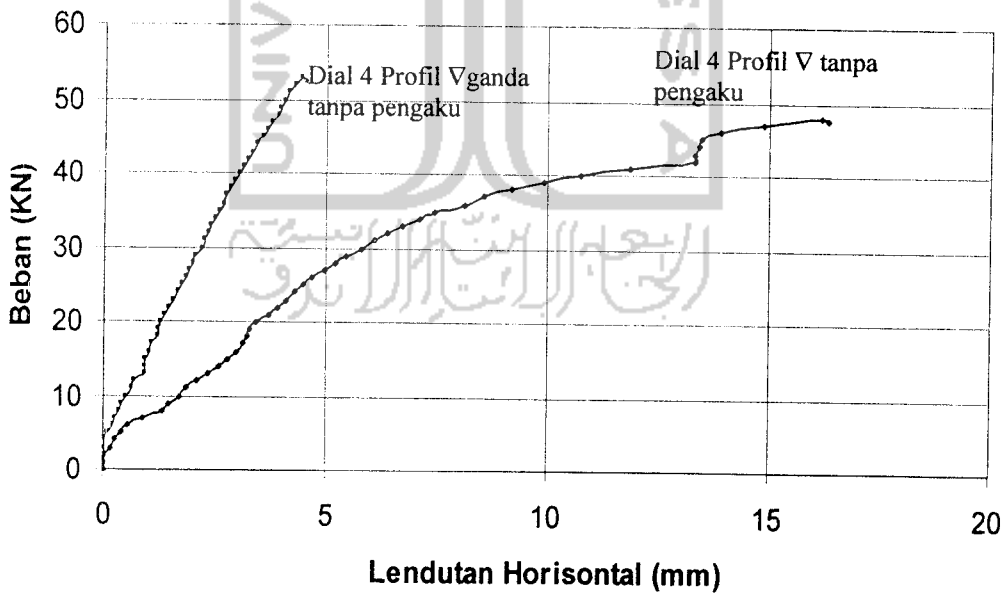
**Grafik Hubungan Beban-Lendutan Gelagar Vganda**



**Grafik hubungan Beban-Lendutan kesamping (lateral) Gelagar Vganda**



**Grafik Rasio Hubungan Beban Lendutan ditengah bentang Gelagar ∇ dan ∇ Ganda**



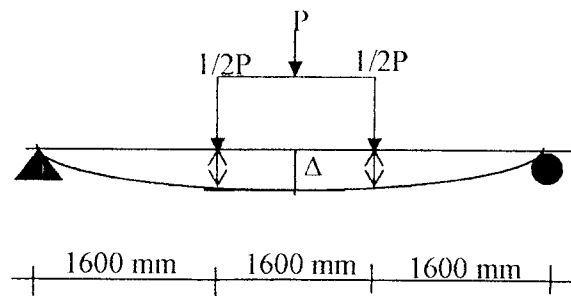
**Grafik Rasio Hubungan Beban Lendutan arah lateral Gelagar ∇ dan ∇ Ganda**

# Lampiran 5





## Perhitungan Lendutan Secara Teoritis

Benda Uji Profil  $\nabla$ 

$$\text{Lendutan teori } \Delta = \frac{P L^3}{48 EI}$$

$$P = 50,453 \text{ kN} = 50453 \text{ N}$$

$$EI = 200000 \cdot 5067,0076 \cdot 10^4$$

$$EI = 1,013 \cdot 10^{13}$$

$$L = 4800 \text{ mm}$$

$$a = 4800 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{50453 \cdot 4800^3}{48 \cdot 1,013 \cdot 10^{13}}$$

$$\Delta \text{ teoritis} = 11,47 \text{ mm}$$

**Benda uji Profil ▽**

$$\text{Lendutan teori } \Delta = \frac{P L^3}{48 EI}$$

$$P = 91,619 \text{ kN} = 91619 \text{ N}$$

$$EI = 200000 \cdot 6921,6866 \cdot 10^4$$

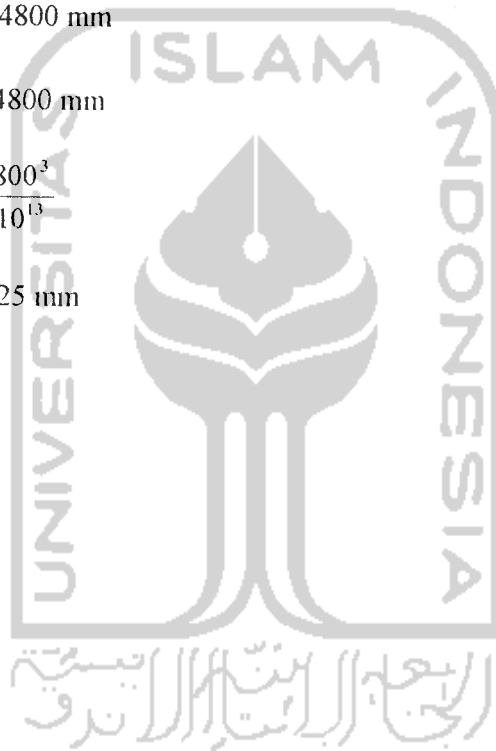
$$EI = 1,384 \cdot 10^{13}$$

$$L = 4800 \text{ mm}$$

$$a = 4800 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{91619 \cdot 4800^3}{48 \cdot 1,384 \cdot 10^{13}}$$

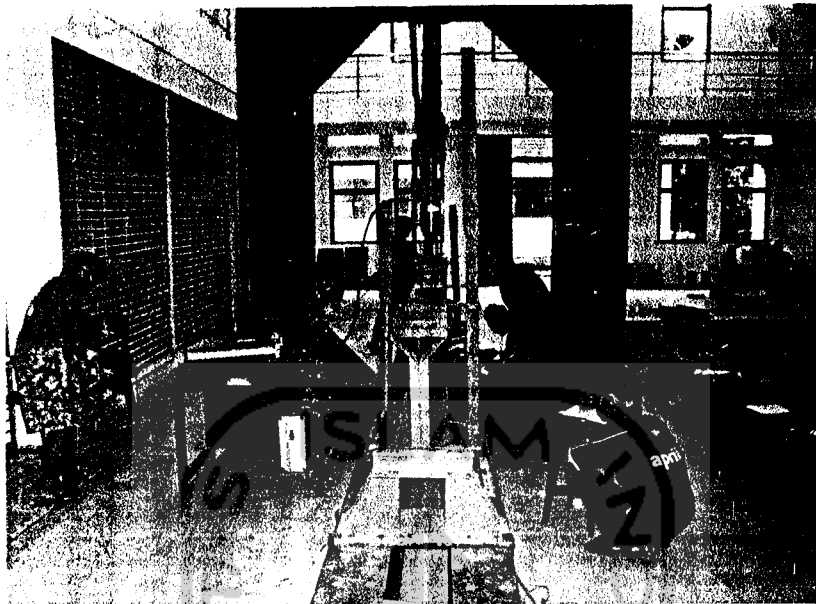
$$\Delta \text{ teoritis} = 15,25 \text{ mm}$$



# Lampiran 6



## LAMPIRAN 6



**Gambar Profil  $\nabla$  Tanpa Pengaku Saat Pengujian**

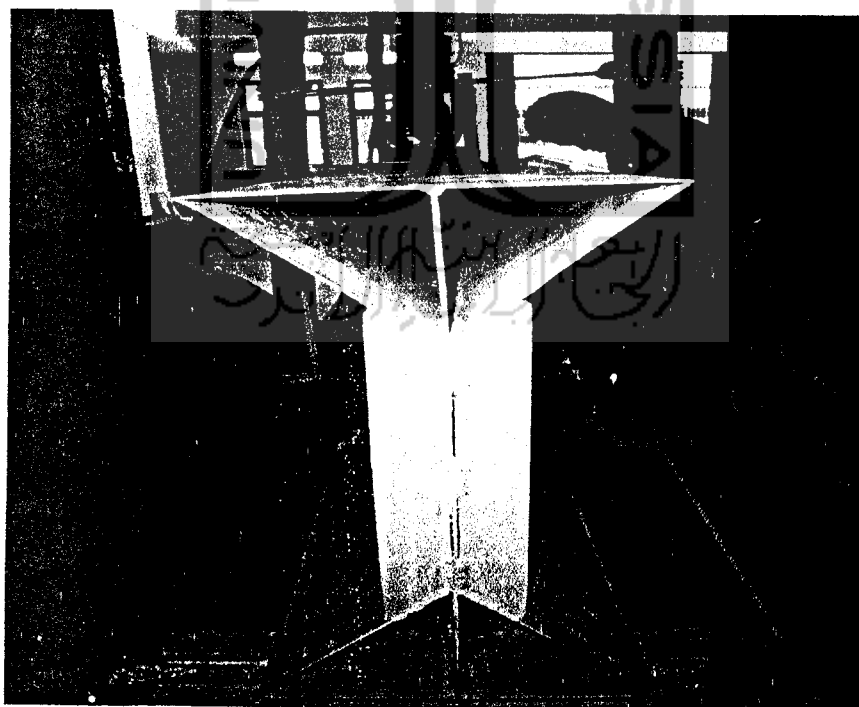


**Gambar Profil  $\nabla$  Tanpa Pengaku Setelah Pengujian**

## LAMPIRAN 6

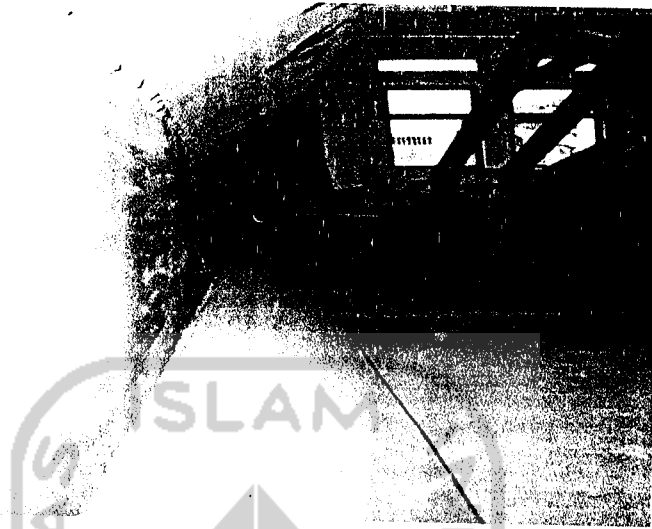


**Gambar Profil  $\nabla$  Ganda Tanpa Pengaku Saat Pengujian**



**Gambar Profil  $\nabla$  Ganda Tanpa Pengaku Setelah Pengujian**

## LAMPIRAN 6



**Gambar Profil  $\nabla$  Ganda Mengalami Tekuk Lokal pada Badan Setelah Pengujian**

