

TUGAS AKHIR

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
MADJARA/BELI	
TGL. TERIMA :	.....
NO. JUDUL :	.....
NO. INV. :	5120001701001
NO. INDUK :	.....

**PERILAKU LENTUR GELAGAR PELAT  
PENAMPANG I DAN V-SHAPED FLANGE  
TERHADAP PEMBEBANAN STATIK  
(STUDI EKSPERIMENTAL)**



Di susun oleh :

Nama : NANANG LUBIS M.F.  
No. Mhs : 00 511 386

Nama : ANANG ARIFIN  
No. Mhs : 01 511 173

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
JOGJAKARTA  
2005**

## HALAMAN PENGESAHAN

### PERILAKU LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG I DAN V-SHAPED FLANGE TERHADAP PEMBEBANAN STATIK

*Disusun oleh :*

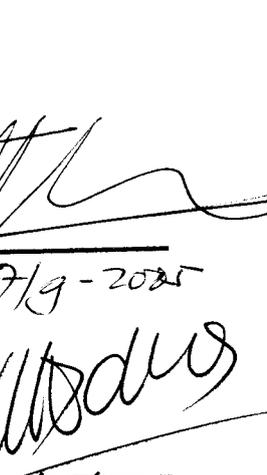
Nanang Lubis                      00 511 386  
Anang Arifin                        01 511 173

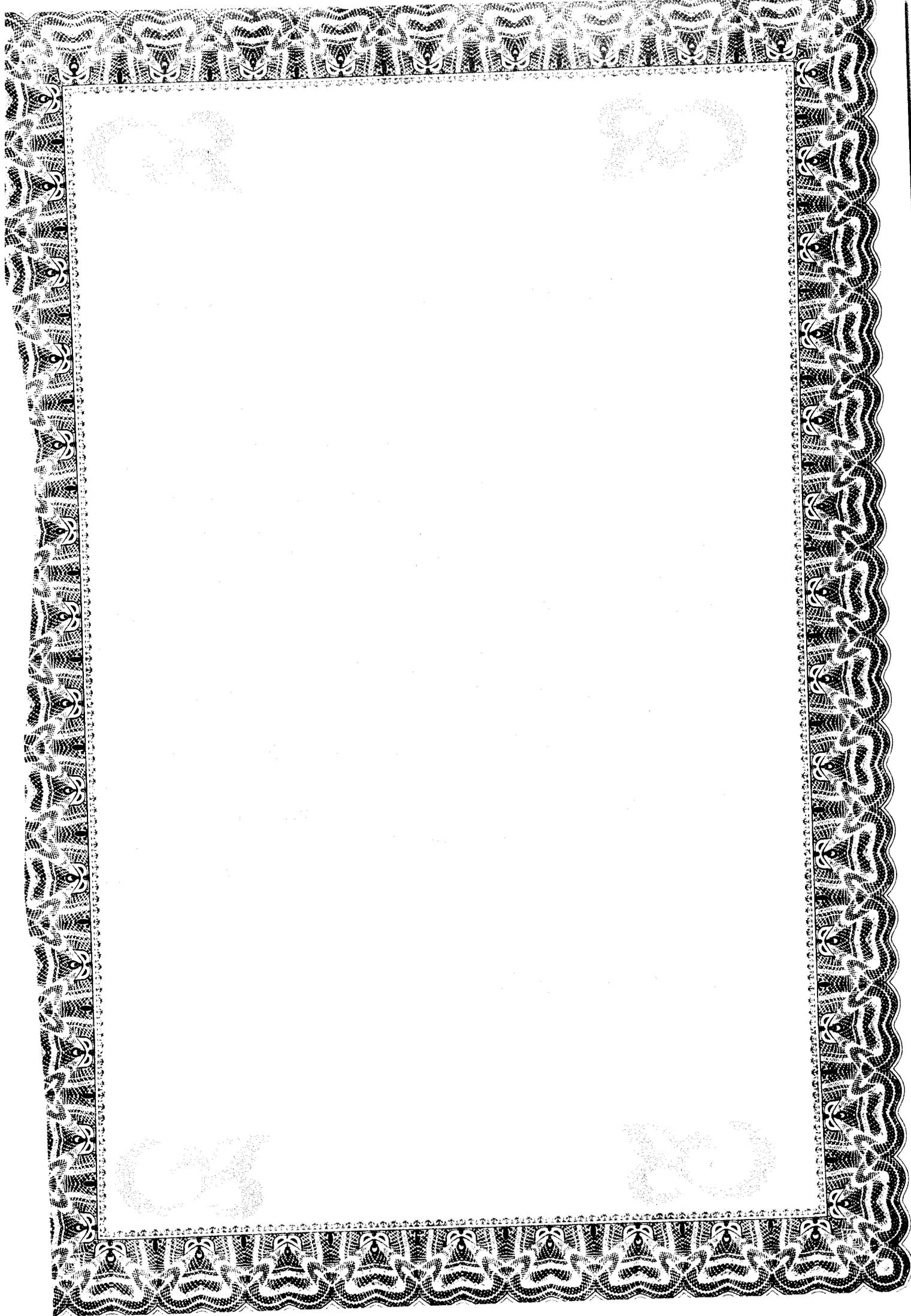
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

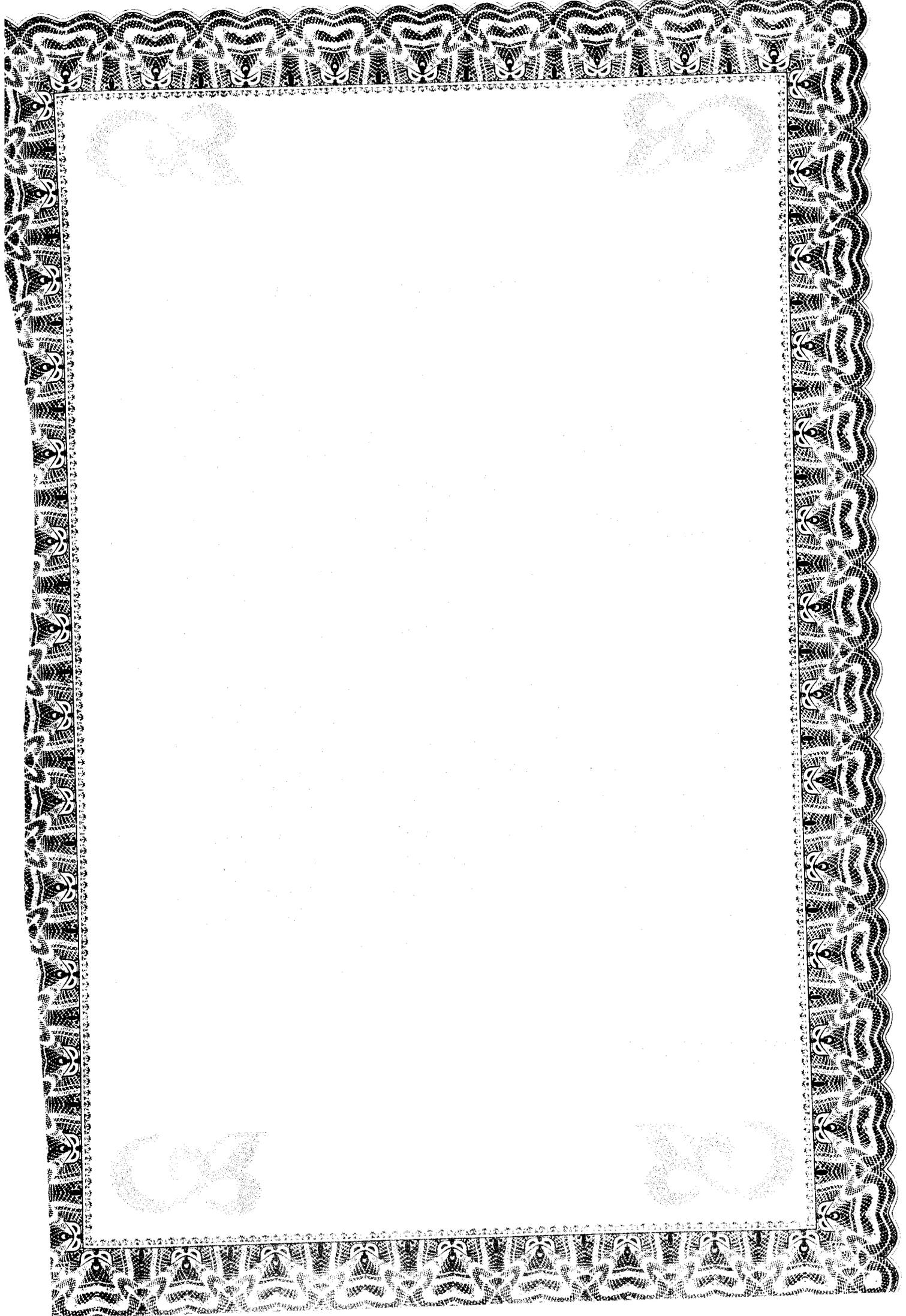
Ir. Fatkhurrohman N, MT  
Dosen Pembimbing I

  
Tanggal: 7/9-2005

Ir. H. Suharyatmo, MT  
Dosen Pembimbing II

  
Tanggal: 7/9/2005





## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Puji syukur kita panjatkan kehadiran 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 Strata satu (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, Universitas Islam Indonesia, untuk mendapatkan satu pengetahuan baru dari hasil penelitian yang dilakukan.

Pada kesempatan ini tidak berlebihan kiranya menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT selaku Dosen Pembimbing I.

4. Bapak Ir. H. Suharyatmo MT. selaku Dosen Pembimbing II.
5. Ibu dan Bapak serta kakak dan adik-adikku tercinta atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala doa-nya.
6. Teman-teman dekatku yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
7. 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.*

Jogjakarta, September 2005

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>ABSTRAKSI</b> .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Manfaat Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Keaslian Penelitian.....	4
1.6 Lokasi Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5

<b>BAB III</b>	<b>LANDASAN TEORI</b> .....	8
3.1	Gelagar Pelat.....	8
3.2	Tegangan Kritis Pelat.....	9
3.2.1	Pelat Memikul Tekanan Merata.....	10
3.2.2	Pelat Memikul Lentur .....	11
3.2.3	Pelat Memikul Geser.....	12
3.3	Kapasitas Lentur Gelagar Pelat.....	13
3.4	Tekuk Pada Sayap.....	14
3.5	Tekuk Pada Bidang Badan.....	15
3.5.1	Tekuk Pada Badan Akibat Lentur.....	15
3.5.2	Tekuk Pada Badan Akibat Geser .....	16
3.6	Tekuk Puntir ( <i>Torsional Bucling</i> ).....	18
3.6.1	Tekuk Puntir – Lateral Elastis.....	18
3.6.2	Tekuk Puntir – Lateral Tak Elastis .....	19
3.7	Kekuatan Geser Nominal-Termasuk Aksi Medan Tarik .....	20
3.8	Hubungan Beban Lendutan .....	20
3.9	Hubungan Momen-Kelengkungan.....	22
3.10	Daktilitas.....	24
3.11	Hipotesis .....	25
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN</b> .....	26
4.1	Tahap- Tahap Penelitian .....	26
4.2	Persiapan Bahan dan Alat .....	27
4.2.1	Bahan .....	27

4.2.2	Peralatan Penelitian.....	27
a.	Loading Frame.....	27
b.	Dial Gauge Loading Frame.....	28
c.	Dukungan Sendi dan Rol.....	29
d.	Hidraulic Jack.....	30
e.	Mesin Uji Kuat Tarik.....	30
4.3	Model Benda Uji.....	31
4.3.1	Benda Uji Pendahuluan.....	31
4.3.2	Benda Uji Gelagar Pelat Penampang $\nabla$ .....	31
4.4	Pembuatan Benda Uji.....	32
4.5	Langkah Langkah Penelitian.....	32
4.5.1.	Uji Kuat Tarik Baja dan Uji Kuat Geser Las.....	33
4.5.2.	Uji Kuat Lentur Baja.....	33
<b>BAB V</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>34</b>
5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	34
5.2	Hasil Pengujian Kuat Geser Las.....	35
5.3	Hasil Pengujian Lentur Gelagar Pelat Penampang I dan $\nabla$ .....	35
5.3.1	Grafik Hasil Pengujian Gelagar I dan Gelagar $\nabla$ .....	36
5.3.2	Hubungan Beban-Lendutan Gelagar I Versus $\nabla$ .....	38
5.3.3	Rasio Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Gelagar I dan $\nabla$ .....	40
5.3.4	Rasio Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Gelagar I dan $\nabla$ .....	41
5.3.5	Hubungan Rasio $M_n/M_y$ dengan $H/t_w$ Gelagar I dan $\nabla$ .....	43
5.3.6	Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan Pengujian.....	44

5.3.7	Analisa Data Rasio Beban-Lendutan Secara Teoritis Dengan Beban Lendutan Pengujian.....	44
5.3.8	Analisa Data Rasio Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Teoritis Dengan Pengujian Gelagar I dan $\nabla$ .....	45
5.4	Pembahasan .....	46
5.4.1	Kuat Tarik Baja Berdasarkan Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja .....	46
5.4.2	Hubungan beban-Lendutan Pengujian .....	46
5.4.3	Rasio Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) gelagar I dan $\nabla$ .....	47
5.4.4	Rasio Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Gelagar I dan $\nabla$ .....	48
5.4.5	Hubungan Rasio $M_n/M_y$ dengan $h/t_w$ Gelagar I dan $\nabla$ ...	48
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>50</b>
6.1	Kesimpulan .....	50
6.2	Saran .....	51
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>52</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Gelagar Pelat Penampang I dan $\nabla$ .....	8
Gambar 3.2	Koefisien tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana.....	10
Gambar 3.3	Koefisien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni.....	11
Gambar 3.4	Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada pelat badan : baja A36.....	14
Gambar 3.5	Defleksi tekuk pelat pada sayap ( jepit-jepit).....	15
Gambar 3.6	Hubungan momen rotasi.....	18
Gambar 3.7	Lendutan balok .....	21
Gambar 3.8	Diagram momen .....	21
Gambar 3.9	Diagram geser.....	21
Gambar 3.10	Hubungan beban dan lendutan pada.....	22
Gambar 3.11	Gaya sayap akibat lengkungan geser.....	22
Gambar 3.12	Momen kelengkungan.....	22
Gambar 3.13	Grafik momen kelengkungan.....	24
Gambar 4.1	Bagan alir metode penelitian.....	26
Gambar 4.2	Bentuk fisik Loading Frame.....	28
Gambar 4.3	Dial Guage.....	29
Gambar 4.4	Dukungan sendi dan rol.....	29
Gambar 4.5	Hidraulic Jack .....	30

Gambar 4.6	Universal testing machine shimatzu UMH 30.....	30
Gambar 4.7	Benda uji untuk uji kuat tarik baja.....	31
Gambar 4.8	Benda uji untuk uji kuat geser las.....	31
Gambar 4.9	Model benda uji.....	32
Gambar 5.1	Grafik hubungan beban lendutan gelagar I benda uji 1.....	36
Gambar 5.2	Grafik hubungan beban lendutan gelagar I benda uji 2.....	37
Gambar 5.3	Grafik hubungan beban lendutan gelagar $\nabla$ benda uji 1.....	37
Gambar 5.4	Grafik hubungan beban lendutan gelagar $\nabla$ benda uji 2.....	38
Gambar 5.5	Grafik rasio hubungan beban lendutan gelagar I dan $\nabla$ benda uji 1.....	39
Gambar 5.6	Grafik rasio hubungan beban lendutan gelagar I dan $\nabla$ benda uji 2.....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Hasil pengujian kuat tarik baja.....	34
Tabel 5.2	Hasil pengujian kuat geser las .....	35
Tabel 5.3	Tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) profil I dan $\nabla$ .....	41
Tabel 5.4	Nilai koefisien tekuk ( k ) hasil penelitian profil I dan $\nabla$ .....	42
Tabel 5.5	Hasil pengujian $M_n/M_y$ terhadap $h/t_w$ profil I dan $\nabla$ .....	43
Tabel 5.6	Hubungan beban lendutan pengujian.....	44
Tabel 5.7	Daktilitas simpangan dari hubungan beban lendutan pengujian.....	44
Tabel 5.8	Rasio beban lendutan secara teoritis dengan beban lendutan pengujian.....	45
Tabel 5.9	Rasio tegangan kritis.....	45

## 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
bE	=	Lebar efek dimana tegangan maksimum dapat dianggap sama rata yang dapat memberikan kapasitas tebal yang tepat.
bf	=	Lebar flens
C <sub>b</sub>	=	Faktor untuk menghitung gradien momen kekuatan balok, nilainya 1,0-2,3
C <sub>c</sub>	=	Rasio kerampingan $KL/r$ yang memisahkan antara kolom panjang dan pendek ASD
C <sub>v</sub>	=	Rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh
C <sub>w</sub>	=	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 <sub>a</sub>	=	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
$M_{er}$	=	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 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 Aw terhadap luas penampang Af salah satu flens
- $\sigma$  = Tegangan
- $\pi$  = Konstanta = 3,15

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Lembar Konsultasi.....	1
Lampiran 2	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja dan kuat Geser Las.....	1
Lampiran 3	Perhitungan Benda Uji.....	5
Lampiran 4	Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) hasil pengujian.....	12
Lampiran 5	Hasil Pembebanan Benda Uji.....	19
Lampiran 6	Hubungan Momen Kelengkungan.....	28
Lampiran 7	Perhitungan Rasio Momen Nominal terhadap Momen Leleh ( $M_n/M_y$ ) .....	36
Lampiran 8	Foto Benda Uji.....	38

## 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  $\nabla$  lebih kaku dibandingkan dengan gelagar penampang I, karena diproporsikan sayap atas diberi pengaku berbentuk  $\nabla$ . Penelitian eksperimental menggunakan empat benda uji dengan spesifikasi, panjang total 4800 mm, menggunakan pelat dengan tebal 2 mm baik pada sayap dan badan. Untuk tinggi ( $h$ ) pada gelagar I = 400 dan pada gelagar  $\nabla$  = 226,8 mm sedangkan untuk lebar ( $b$ ) masing-masing benda uji tetap yaitu 200 mm dan profil L30x30x3 digunakan sebagai pengaku dukung. Bertujuan untuk mendapatkan kurva hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ), beban-tinggi badan ( $P-h$ ), momen-kelengkungan ( $M-\phi$ ), nilai koefisien tekuk ( $k$ ), nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ), rasio momen nominal dengan momen leleh ( $M_n/M_y$ ) dan nilai kekakuan lentur ( $EI$ ) serta daktilitasnya ( $\epsilon$ ). Hasil penelitian eksperimental ini diperoleh bahwa kekuatan gelagar  $\nabla$  meningkat sangat signifikan, kekuatan gelagar  $\nabla$  meningkat 2,7 kali terhadap gelagar I atau meningkat sebesar 174% dari gelagar I. Kekakuan gelagar  $\nabla$  meningkat sebesar = 1,48 kali terhadap gelagar I atau meningkat sebesar 50,3% dari gelagar I. Untuk nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) pada gelagar  $\nabla$  meningkat 2,1 kali terhadap gelagar I atau meningkat sebesar 101,3% dari gelagar I. Dengan penambahan pengaku bentuk  $\nabla$  pada gelagar I nilai koefisien tekuk ( $k$ ) pada sayap meningkat sangat signifikan yaitu 10,1 kali atau meningkat sebesar 912%, sedang pada badan meningkat sedikit yaitu 1,2 kali atau meningkat sebesar 20% dari gelagar I. Untuk rasio  $M_n/M_y$  pada gelagar  $\nabla$   $M_n/M_y$  meningkat 2,02 kali terhadap gelagar I atau meningkat sebesar 101,67% dari gelagar I.

### Kata Kunci

- Beban-lendutan, momen-kelengkungan, koefisien tekuk, tegangan kritis, momen nominal-momen leleh.
- Gelagar  $\nabla$ -Shaped Flange atau Gelagar V atau Gelagar  $\nabla$

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Baja struktural penampang I cocok digunakan sebagai komponen struktur yang memikul beban transversal atau beban momen atau beban lentur. Kendala yang dihadapi yaitu kapasitas penampang I yang tersedia di pasaran terbatas dan hanya dapat digunakan untuk struktur dengan bentang yang pendek. Pada kasus bentang panjang, kapasitas profil I yang tersedia tidak memenuhi sehingga alternatif untuk mengatasinya adalah dengan membentuk modifikasi baja struktural. Gelagar plat yang tersusun dari plat tipis dengan bentuk profil I merupakan salah satu bentuk modifikasi.

Penampang gelagar ada bermacam – macam, salah satunya adalah gelagar plat penampang  $\nabla$  ( Delta ). Gelagar plat penampang delta ini dikemukakan karena penggunaan gelagar plat di Indonesia kurang atau belum banyak digunakan. Macam-macam gelagar plat penampang delta antara lain :  *$\nabla$ -Shaped compression flange, Both  $\nabla$ -Shaped,  $\nabla$ -Shaped flange dan Tubular flange.*

Penampang gelagar plat biasanya mempunyai rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/t_w$ ) cukup besar sehingga penampang gelagar plat tidak kompak. Kapasitas lentur gelagar plat di batasi oleh masalah instabilitas (tekuk) yang dapat menyebabkan (Premature Collapse) yaitu keruntuhan di bawah tegangan leleh yang berupa tekuk lokal badan atau sayap. Disini yang menjadi masalah adalah

bagaimana cara meningkatkan nilai kekakuan dari elemen-elemen plat badan maupun sayap.

Ada tiga pola kegagalan dini (mode failure) yang mungkin dialami oleh gelagar plat, yaitu :

1. Tekuk lokal pada sayap ( *Flens Local Buckling* atau *FLB* )
2. Tekuk lokal pada badan balok ( *Web Local buckling* atau *WLB* )
3. Tekuk puntir lateral ( *Lateral Torsional Buckling* atau *LTB* )

Ketiga pola kegagalan tersebut terjadi jika perbandingan  $b/t$ ,  $h/t$ , dan  $L/r_y$  besar. 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  $\nabla$  yaitu :

1. Memperoleh kapasitas lentur dan rasio kapasitas lentur gelagar I dan  $\nabla$ .
2. Mendapatkan hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ) pada gelagar I dan  $\nabla$ .
3. Memperoleh rasio tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) gelagar I dan  $\nabla$ .
4. Memperoleh nilai koefisien tekuk plat ( $k$ ) gelagar I dan  $\nabla$ .
5. Memperoleh  $M_n/M_y$  dari gelagar I dan  $\nabla$

### 1.3. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui :

1. Memperoleh desain gelagar plat penampang  $\nabla$  yang mempunyai kekuatan menahan beban vertical besar dan lendutan yang dihasilkan kecil dari gelagar plat penampang  $\nabla$ .
2. Memperoleh pengetahuan tentang gelagar plat penampang  $\nabla$ .
3. Memberikan alternatif lain sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan, jika ditemukan permasalahan-permasalahan yang identik dengan penelitian ini, sehingga kebijaksanaan yang diambil dapat lebih optimal.
4. Memberikan masukan kepada pembaca sebagai pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan bangunan struktur baja.
5. Dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penelitian gelagar pelat.

### 1.4. Batasan Masalah

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

1. Benda uji berupa gelagar plat penampang delta ( $\nabla$ ).
2. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung las.
3. Pengujian hanya pada kuat lentur gelagar plat dengan pembebanan statis secara bertahap.
4. Dimensi gelagar delta konstan yaitu sayap dengan ketebalan 2 mm, lebar 200 mm dan badan dengan ketebalan 2 mm, tinggi 400 mm.

### **1.5. Keaslian Penelitian**

Berdasarkan studi literatur dan kajian–kajian pustaka yang telah dilakukan, penelitian tentang perilaku gelagar pelat penampang  $\nabla$  belum pernah dilakukan, meskipun pernah namun bentuk dan ukuran sampel berbeda. Dengan demikian penelitian ini adalah asli.

### **1.6. Lokasi Penelitian**

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

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

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

**Salmon dan Johnson (1991)** mengemukakan tiga tipe desain gelagar plat yaitu:

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

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, 1980**)

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).

Jika plat 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).

Koefisien tekuk untuk elemen plat segi empat datar yang ditekan merata terhadap aspek rasio  $a/b$  yang tidak diperkuat 0,425 sedangkan elemen plat yang diperkuat mempunyai nilai antara 4,00 sampai 6,97.

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 ketidakstabilan 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**).

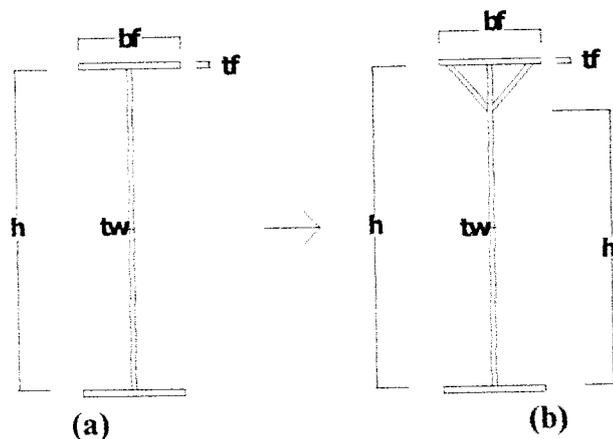
Penelitian yang dilakukan oleh **Basler (1959)** mengungkapkan bahwa gelagar plat dengan pengaku yang jaraknya dinyatakan dengan tepat memiliki kelakuan (setelah ketidakstabilan terjadi) hampir mirip seperti rangka batang, dengan badan sebagai pemikul gaya tarik diagonal dan pengaku sebagai pemikul gaya tekan.

**Spiegel dan Limbrunner (1991), Bowles (1980), Salmon dan Johnson (1996)** mengemukakan bahwa sesudah panel badan tipis yang diperkaku menekuk dalam geser, panel tersebut masih dapat menahan beban, jika ini terjadi badan yang menekuk mengalami tarik diagonal dan pengaku mengalami gaya tekan, perilaku ini disebut aksi medan tarik.

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

**3.1. Gelagar Pelat**

Gelagar pelat penampang  $\nabla$  (  *$\nabla$ -Shape* ) dibuat dari elemen-elemen pelat yang didesain dari dua sayap ( atas dan bawah ) dan satu pelat badan seperti profil I yang ditambah pengaku badan dan sayap tekan, sehingga mempunyai kekuatan lebih besar dibanding dengan gelagar pelat penampang I. Kuat lentur gelagar pelat biasanya dibatasi oleh tekuk, yaitu tekuk lokal dan tekuk puntir lateral. Tekuk lokal merupakan hasil dari rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ) dan ( $h/t$ ), sedang tekuk puntir lateral merupakan rasio dari  $Lb/rt$ . Semakin besar  $b/t$  dan  $h/t$ , maka tegangan kritis (  $F_{cr}$  ) meningkat, dan semakin besar  $L/ry$ , maka momen kritis (  $M_{cr}$  ) semakin besar.



**Gambar 3.1** (a) Gelagar pelat penampang I dan (b) penampang  $\nabla$

### 3.2. Tegangan Kritis Plat

Persamaan differensial untuk lenturan plat homogen yang dikemukakan oleh Timoshenko (1959) yang ditunjukkan pada persamaan 3.1

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

dengan : w = lendutan lateral, q = komponen beban transversal akibat lenturan pelat, D = kekakuan lentur persatuan panjang pelat. Solusi persamaan 3.1 menghasilkan persamaan 3.2, yaitu :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.2)$$

$$F_{cr} = \frac{Mn_y}{I} \quad (3.3)$$

$$k = \frac{12(1-\mu^2)(h/t)^2}{\pi^2 E}, \text{ untuk badan} \quad (3.4)$$

$$k = \frac{12(1-\mu^2)(b/t)^2}{\pi^2 E}, \text{ untuk sayap} \quad (3.5)$$

dengan: k = koefisien tekuk pelat,  $\mu$  = poisson rasio, b = lebar pelat, t = tebal pelat.

$$k = \left[ \frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.6)$$

Dari persamaan diatas, untuk mencari Momen kritis girder maka tegangan kritis sayap dikali dengan tinggi gelagar dikurangi tebal flens untuk sayap, sedang

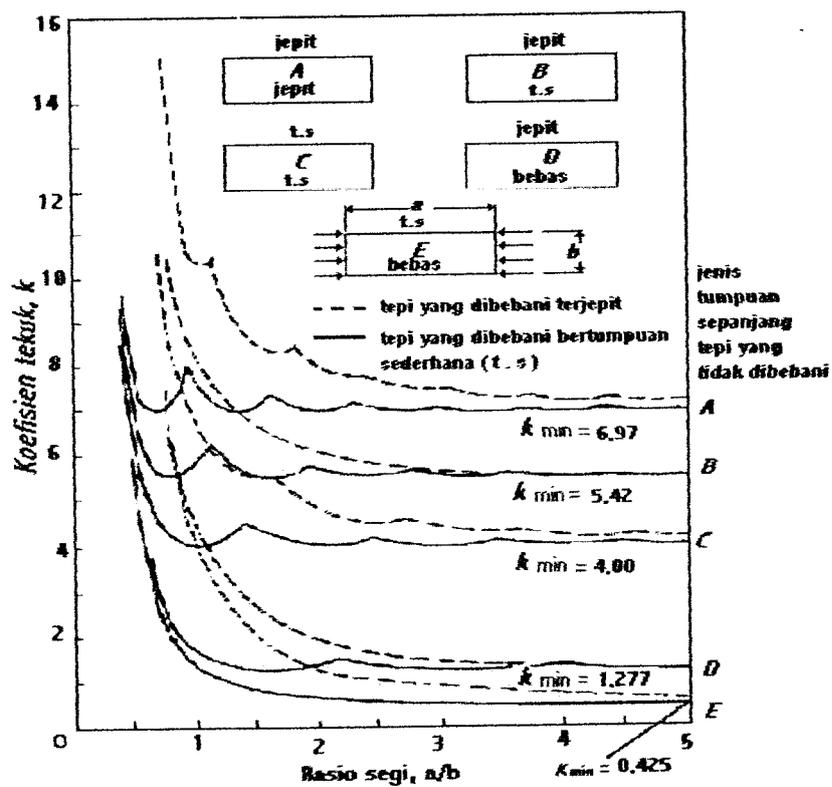
untuk badan tegangan kritis badan dikali tinggi gelagar dikurangi tebal flens kuadrat dikali 1/6 tebal badan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$Mcr\ girder = Mcr\ flens + Mcr\ web \quad (3.7)$$

$$Mcr\ girder = [Fcr_{flens}(h-t_f)] + \left[ Fcr_{web} \left( \frac{1}{6} \right) tw(h-t_f)^2 \right] \quad (3.8)$$

### 3.2.1. Pelat memikul Tekanan Merata

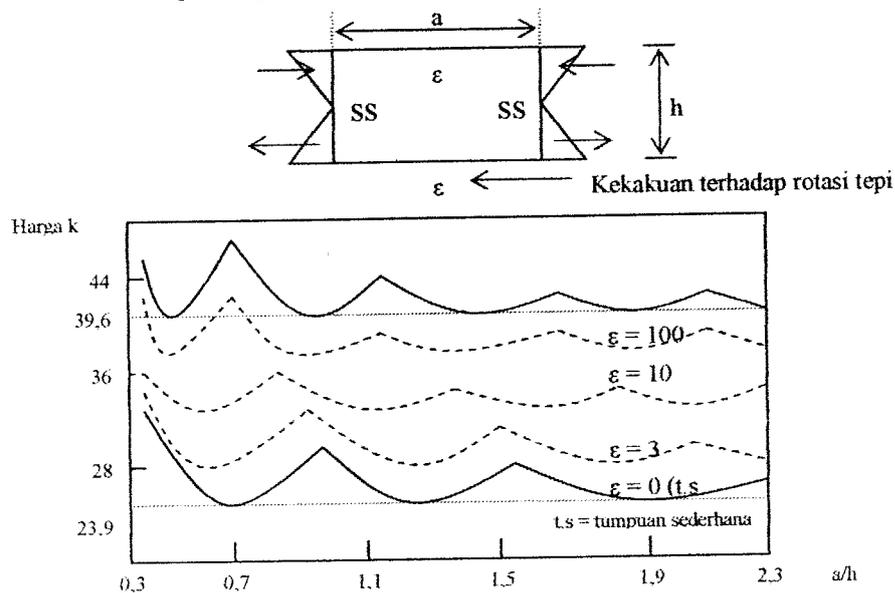
Nilai k untuk pelat yang memikul tekan merata dengan berbagai kondisi tepi (jepit, bebas, dan tumpuan sederhana) ditunjukkan gambar 3.2



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-sendi (grafik B)  $k_{\min} = 5,42$ ; untuk sendi-sendi (grafik C)  $k_{\min} = 4,00$ ; untuk jepit- bebas (grafik D)  $k_{\min} = 1,277$ ; untuk sendi bebas (grafik E)  $k_{\min} = 0,425$ .

### 3.2.2. Pelat memikul Lentur

Untuk pelat-pelat yang memikul lentur. Koefisien tekuk pelat-pelat yang memikul lentur ditunjukkan pada gambar 3.3.



**Gambar 3.3.** Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni (dari Handbook of Structural Stability, Vol. 1 [6.69](p.92))

Pada Gambar 3.3. 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 dari berbagai benda uji dengan rasio  $a/h$  bervariasi yaitu 12, 9,6 dan 8

### 3.2.3. Pelat Memikul Geser

Untuk perencanaan, Persamaan 3.2 dan 3.6 biasanya dinyatakan dalam  $h$  (tinggi badan tanpa sokongan) dan  $a$  (jarak antara pengaku). jika kita hendak memakai  $h/t$  sebagai rasio stabilitas pada penyebut, maka persamaan untuk  $k$  diperlukan. Untuk semua harga  $a/h$ , Persamaan bisa dituliskan sebagai :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 Ek}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.9)$$

dengan :

$$k = 4,0 + 5,34/(a/h)^2, \text{ untuk } a/h \leq 1 \quad (3.10)$$

$$k = 4,0/(a/h)^2 + 5,34, \text{ untuk } a/h \geq 1 \quad (3.11)$$

Tampak pada Persamaan 3.8 dan 3.9 bila  $a/h$  semakin kecil maka nilai  $k$  akan semakin besar.

Persamaan 3.7 ditulis dalam bentuk tanpa hubungan dimensi, yaitu rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan leleh geser,

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 Ek}{(12)(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.12)$$

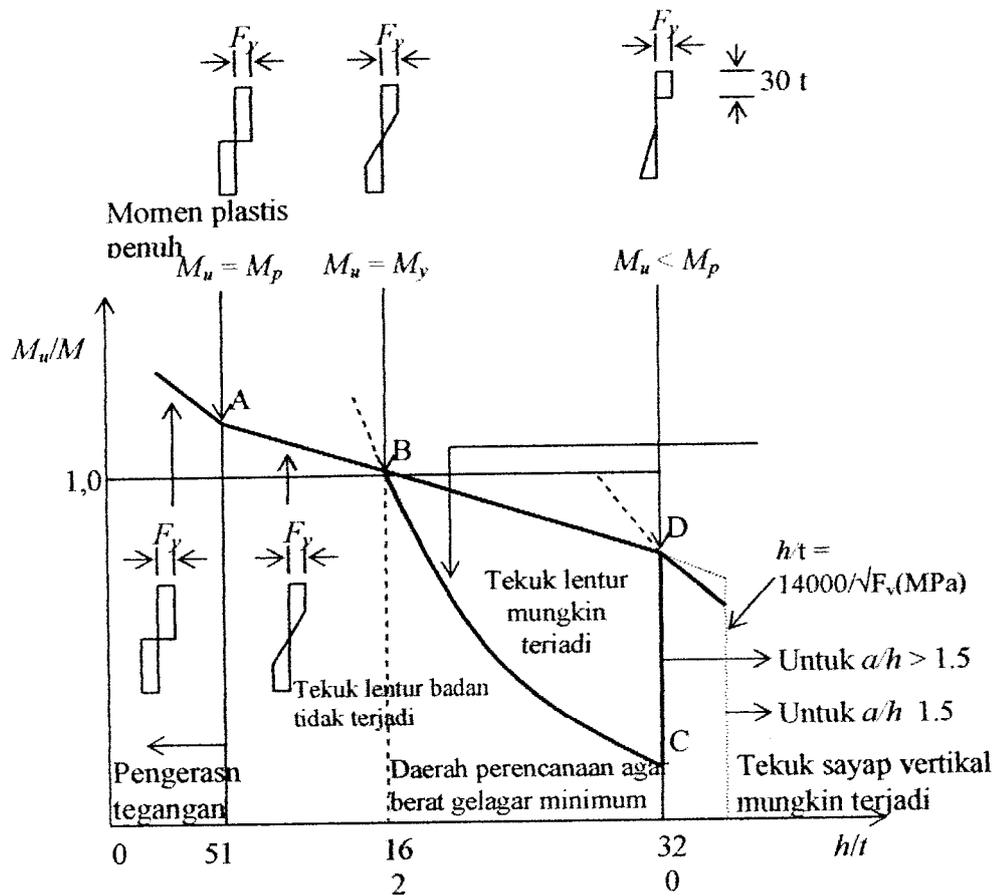
### 3.3. Kapasitas Lentur Gelagar Pelat

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.

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t_w}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.13)$$

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. Pada gelagar tanpa pengaku terjadi penurunan grafik secara drastis ini berarti tekuk lentur mungkin terjadi. Daerah perencanaan agar berat gelagar minimum pada daerah B-D, bila perencanaan pada daerah area A-B akan diperoleh gelagar yang kuat terhadap tekuk lentur badan.

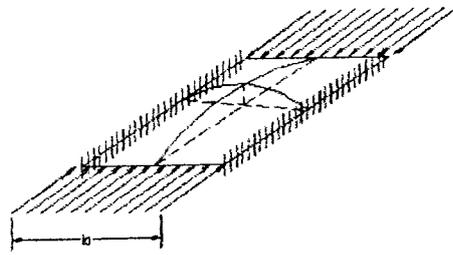
Dengan demikian kapasitas lentur gelagar serta kekuatan purna tekuk gelagar akan meningkat.



**Gambar 3.4** Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan : baja A36 (Salmon dan Johnson, 1996)

### 3.4. Tekuk pada Sayap

Gambar 3.5 merupakan elemen pelat yang diperkuat, yang bertumpu sepanjang dua tepi yang sejajar pembebanan. Untuk tumpuan jepit-jepit (Grafik 3.1)  $k_{min} = 6,97$ ; Untuk mencegah terjadinya tekuk pelat pada sayap maka nilai  $f_c < F_{cr}$ .



**Gambar 3.5.** Defleksi tekuk pelat pada sayap (jepit-jepit).  
(dari Salmon dan Johnson, 1992)

Persamaan (3.14) tegangan mencegah flens tekan mengalami tekuk vertikal

$$fc = \frac{\sigma_f A_f d \theta}{t_w dx} = \frac{2 \sigma_f A_f \epsilon_f}{t_w h} \quad (3.14)$$

Persamaan (3.11) disamakan dengan tegangan tekuk elastis akan diperoleh

$$\frac{h}{t_w} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{24(1-\mu^2)} \left( \frac{A_w}{A_f} \right) \left( \frac{1}{\sigma_f \epsilon_f} \right)} \quad (3.15)$$

$h/t_w$  dipengaruhi oleh luas badan ( $A_w$ ), luas sayap ( $A_f$ ), tegangan sayap ( $\sigma_f$ ), regangan sayap ( $\epsilon_f$ ). Apabila  $A_f$ ,  $\sigma_f$ ,  $\epsilon_f$  kecil, maka akan diperoleh  $h/t_w$  besar. Sedangkan bila  $A_w$  besar maka akan diperoleh  $h/t_w$  besar (pelat badan ramping)

### 3.5. Tekuk Pada Bidang Badan

#### 3.5.1. Tekuk Pada Badan Akibat Lentur

Untuk lentur pada bidang plat dijabarkan oleh Timoshenko dan Kriger (1959), tegangan kritis (dengan  $E = 200\,000$  MPa) bisa dikatakan terletak antara :

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

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

maka pilih harga  $k$  yang lebih dekat dengan 39.6, misal 80 persen dari perbedaan terhadap harga yang lebih tinggi. Dapat kita katakan bahwa ,

$$F_{cr} = \frac{5696000}{(h/t_w)^2} MPa \quad (3.16)$$

Tekuk lentur semacam ini tidak akan terjadi bila,

$$\frac{h}{t_w} \leq \sqrt{\frac{5696000}{F_{cr, MPa}}} = \frac{2387}{\sqrt{F_{cr}}} \quad (3.17)$$

### 3.5.2. Tekuk Pada Badan Akibat Geser

#### a. Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut **Salmon dan Johnson (1986)**, Untuk kasus geser murni bisa dituliskan sebagai (dengan mengganti  $F$  dengan  $\tau$  untuk tegangan geser)

$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left( \frac{\text{sisipendek}}{t} \right)^2} \quad (3.18)$$

Untuk kasus tepi bertumpuan sederhana (yakni perpindahan dicegah tetapi rotasi terhadap tepi tidak dikekang),

$$k = 5,34 + 4,0 \left( \frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \quad (3.19)$$

dengan

$$k = 4,0 + 5,34/(a/h)^2, \text{ untuk } a/h \leq 1 \quad (3.20)$$

$$k = 4,0/(a/h)^2 + 5,34, \text{ untuk } a/h \geq 1 \quad (3.21)$$

Dari persamaan 3.16 dan 3.19 tampak bahwa semakin kecil nilai  $a/h$  maka nilai koefisien tekuk geser plat ( $k$ ) akan menjadi besar, dengan meningkatnya nilai koefisien tekuk geser plat maka nilai kapasitas geser plat akan meningkat.

Dalam AISC-1.10.5, persamaan 3.16 ditulis dalam bentuk tanpa dimensi, dengan mendefinisikan koefisien  $C_v$  sebagai rasio antara tegangan geser pada saat tertekuk dan tegangan leleh geser,

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 Ek}{(12)(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.22)$$

#### b. Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni

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

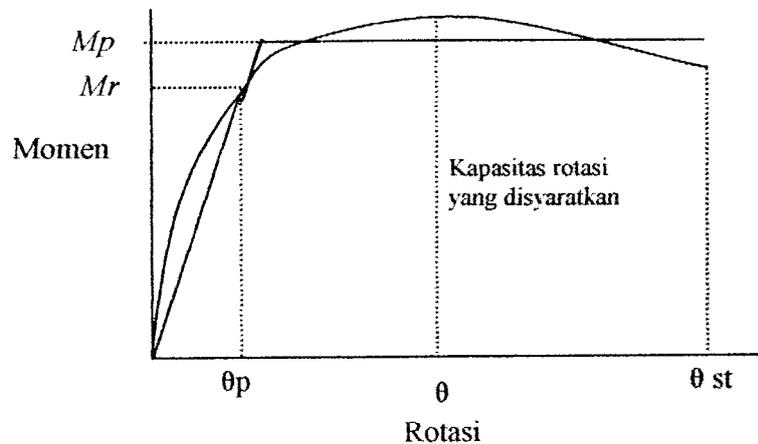
$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_p \cdot \tau_{cr(\text{elastikide al})}} \quad (3.23)$$

Batas proporsional diambil sebagai  $0,8 \tau_y$ , yang lebih besar daripada untuk tekan dalam flens, karena efek tegangan sisa lebih sedikit. Pembagian Persamaan 3.22 dengan  $\tau_y$  untuk mendapatkan  $C_v$  dan tegangan menggunakan Persamaan 3.21 memberikan

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{491}{h/t_w} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \quad (3.24)$$

### 3.6. 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 3.6



**Gambar 3.6** Hubungan momen - rotasi (Salmon dan Johnson, 1996)

- Kekuatan momen plastis  $M_p$  tercapai dan kemampuan deformasi yang besar.
- Perilaku tak-elastis dimana kekuatan momen dipengaruhi oleh tegangan sisa dan mungkin tidak tercapai  $M_p$
- Perilaku elastis dimana kekuatan momen dikontrol oleh tekuk elastis; tekuk flens lokal, tekuk badan balok, atau tekuk puntir lateral.

#### 3.6.1. Tekuk Puntir-Lateral Elastis

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

$$EI \frac{d^2 v}{dz^2} = M = M_0 \quad (3.25)$$

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 3.24 dapat dikalikan dengan suatu faktor  $C_b$ . Dengan demikian secara umum:

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{\left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 C_w I_y + EI_y GJ} \quad (3.26)$$

### 3.6.2. Tekuk Puntir-Lateral Tak Elastis

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

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 E}{L^2} \sqrt{C_w J_y} \quad (3.27)$$

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 maksimum.

$$\frac{L_b}{r_y} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{2 f_y} \left(\frac{hA}{Z_x}\right)} \quad (3.28)$$

### 3.7. Kekuatan Geser Nominal – Termasuk Aksi Medan Tarik

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

$$V_n = \tau_{cr} A_w \quad (3.29)$$

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

$$V_n = C_v \tau_y A_w \quad (3.30)$$

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

$$V_n = (0.6F_y) A_w \quad (3.31)$$

Kekuatan Geser dalam Rentang Beban Layanan

$$\left( \frac{V_n}{\gamma / \phi} = \frac{V_n}{FS} \right) \geq V \quad (3.32)$$

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

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

$V$  = geser beban layanan

### 3.8. Hubungan Beban-Lendutan

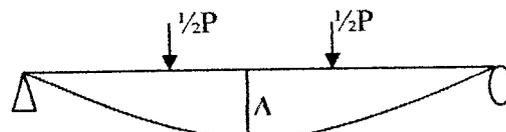
Hubungan beban-lendutan untuk tipe pembebanan seperti Gambar 3.10 seperti yang di tulis oleh **Krigger dan Timoshenko (1997)**,

$$\Delta = \frac{Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \quad (3.33)$$

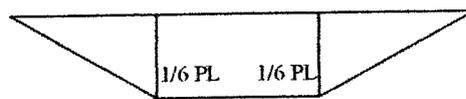
Rumus kekakuan ( $k$ ) yaitu :

$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (3.34)$$

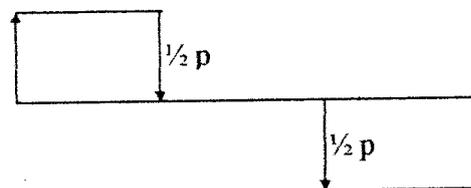
Dimana :  $k$  = kekakuan (kN/mm),  $P$  = beban (kN),  $\Delta$  = lendutan ( mm )



**Gambar 3.7** Lendutan balok

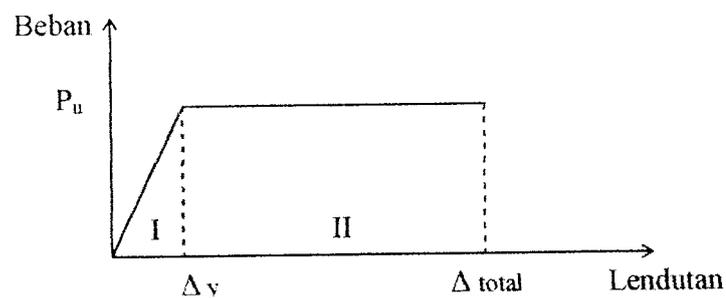


**Gambar 3.8** Diagram momen



**Gambar 3.9** Diagram geser

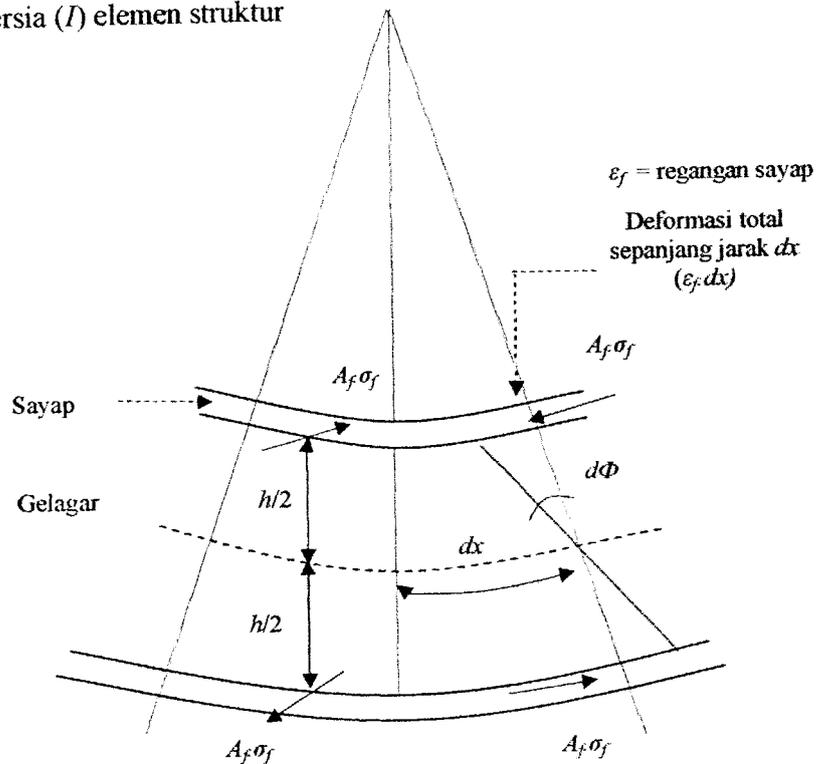
dengan :  $\Delta$  = defleksi balok,  $P$  = beban balok,  $E$  = modulus elastis bahan,  $L$  = panjang bentang balok,  $I$  = momen inersia penampang,  $a$  = jarak beban dari dukungan. Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier seperti pada Gambar 3.10



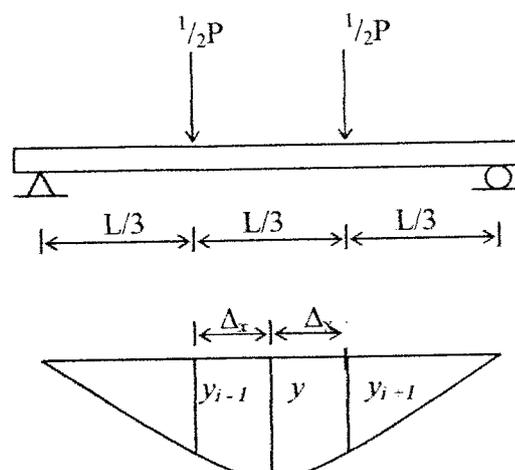
**Gambar 3.10** Hubungan Beban dan Lendutan pada Balok

### 3.9. Hubungan Momen-Kelengkungan

Kelengkungan ( $1/\rho$ ) berbanding lurus dengan momen ( $M$ ) pada elemen struktur dan berbanding terbalik dengan hasil kali modulus elastisitas ( $E$ ) dan momen inersia ( $I$ ) elemen struktur



Gambar 3.11 Gaya sayap akibat lengkungan gelagar (Salmon dan Johnson, 1996)



Gambar 3.12 Momen-kelengkungan

Mengacu pada gambar 3.11  $dy/dx$  dicari dengan persamaan :

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.35)$$

karena  $(2\Delta x)$  adalah konstanta maka;

$$\frac{d}{d_x}(2\Delta x) = 0 \quad (3.36)$$

Kemudian persamaan disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \quad (3.37)$$

Persamaan 3.36 digunakan dalam penelitian ini karena lebih sederhana dan tidak memerlukan peralatan khusus.

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \quad (3.38)$$

Mengacu kepada Gambar 3.8 didapat momen ( $M$ ) :

$$M = \frac{1}{6} p l \quad (3.39)$$

Sehingga dapat disimpulkan besar  $EI$  dengan rumus :

$$EI = \frac{M}{\Phi} \quad (3.40)$$

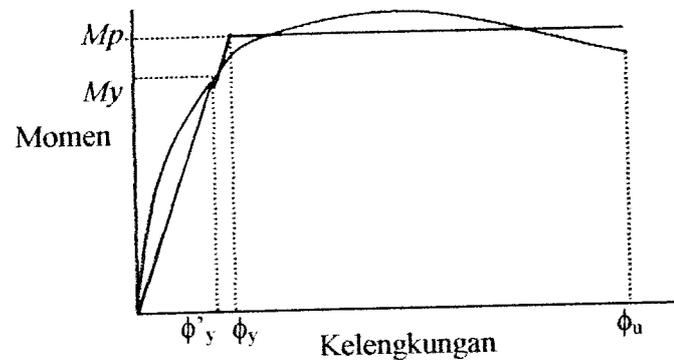
$$M = EI \cdot \Phi \quad (3.41)$$

$$M_n/M_y = \frac{F_{cr} \cdot S_x}{F_y \cdot S_x} \quad (3.42)$$

jika  $f = (\sigma)$  maka persamaan untuk kelengkungan yang mendekati adalah

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (3.43)$$

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} \quad (3.44)$$



**Gambar 3.13** Grafik momen kelengkungan

### 3.10. Daktilitas

Kelakuan inelastis yang daktil bisa meningkatkan beban yang mampu dipikul batang dibanding dengan beban yang ditahan jika suatu struktur tetap dalam keadaan elastis. Bila seluruh tinggi balok meleleh, diperoleh batas atas dari kekuatan momen yang disebut kekuatan plastis. Proses pembebanan di luar daerah elastis akan menyebabkan perubahan pada daktilitasnya, sedangkan daktilitas itu sendiri dirumuskan :

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

dengan :  $\varepsilon_{tot}$  = regangan total,  $\varepsilon_y$  = regangan pada saat leleh pertama

### 3.11. Perhitungan Inersia Secara Teoritis

Secara teoritis dengan menggunakan persamaan untuk mencari inersia dari gelagar I yaitu :

$$I_x = \int y^2 \cdot dA \quad (3.46)$$

Integral dari persamaan 3.46 diperoleh hasil persamaan 3.47

$$I_x = \left( \frac{1}{12} \right) BH^3 \quad (3.47)$$

Untuk inersia dari suatu profil, maka inersia ( $I_x$ ) elemen suatu profil pada persamaan 3.47 ditambah luas elemen dikali jarak titik berat elemen dengan titik berat profil, seperti terlihat pada persamaan 3.48

$$I_x = \left( \frac{1}{12} \right) BH^3 + (A \cdot y^2) \quad (3.48)$$

Dimana :  $I_x$  = Inersia terhadap sumbu x, B = lebar elemen yang ditinjau

H = Tinggi elemen yang ditinjau, A = Luas elemen yang ditinjau

y = Jarak titik berat elemen terhadap titik berat profil.

Dari persamaan diatas dengan menggunakan persamaan 3.46 diperoleh inersia ( $I_x$ ) untuk gelagar I = 42987733,33  $mm^4$ , sedang untuk gelagar V diperoleh inersia ( $I_x$ ) = 45223494,528  $mm^4$ , sesuai dengan perhitungan pada lampiran 3, diperoleh rasio Inersia ( $I_x$ ) gelagar V / I = 1,05.

### 3.12. Perhitungan Beban Secara Teoritis Berdasarkan Tegangan Geser

Gaya geser yang dapat dipikul oleh badan pada gelagar dapat dihitung melalui persamaan 3.29 yaitu :

$$V_n = \tau_{cr} A_w \quad (3.29)$$

Untuk mencari  $\tau_{cr}$  menggunakan persamaan 3.22, yaitu

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 Ek}{(12)(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.22)$$

Dari persamaan diatas diperoleh  $\tau_{cr}$  gelagar I = 25,26 N/mm<sup>2</sup>, sedang untuk  $\tau_{cr}$  gelagar  $\nabla$  = 204,8 N/mm<sup>2</sup>. Rasio dari  $\tau_{cr}$  gelagar I /  $\tau_{cr}$  gelagar  $\nabla$  adalah 0.1233. atau dengan penambahan elemen berbentuk  $\nabla$  pada gelagar I meningkatkan nilai  $\tau_{cr}$  sebesar 8.108 kali. Hasil perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 3 halaman 9-11.

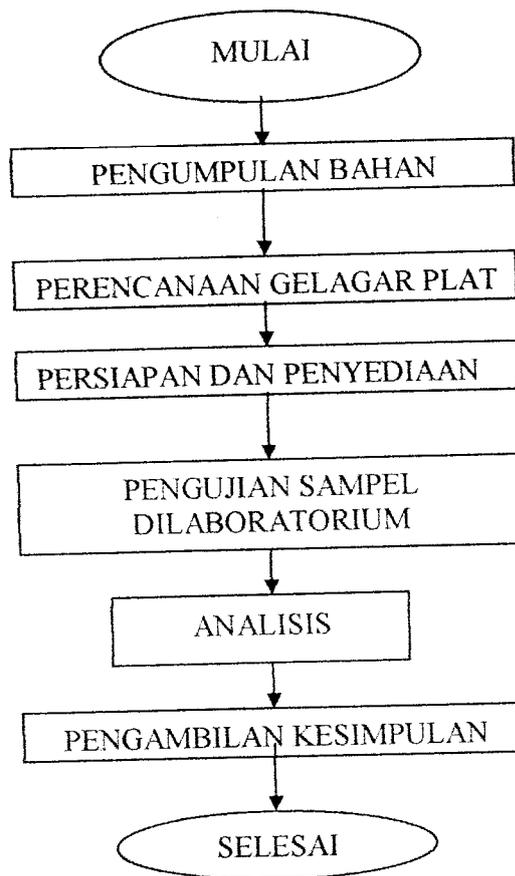
### 3.13. Hipotesis

Penambahan elemen  $\nabla$  pada gelagar pelat penampang I akan meningkatkan momen inersia gelagar I dan memperkecil nilai h sehingga kapasitas lentur dan kapasitas geser gelagar pelat penampang  $\nabla$  lebih besar dari gelagar pelat penampang I dan koefisien tekuk ( k ) gelagar pelat penampang  $\nabla$  lebih besar dari gelagar pelat penampang I, selain itu nilai L/rt akan meningkat sehingga momen kritis (Mcr) gelagar pelat penampang  $\nabla$  lebih besar dari gelagar pelat 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.

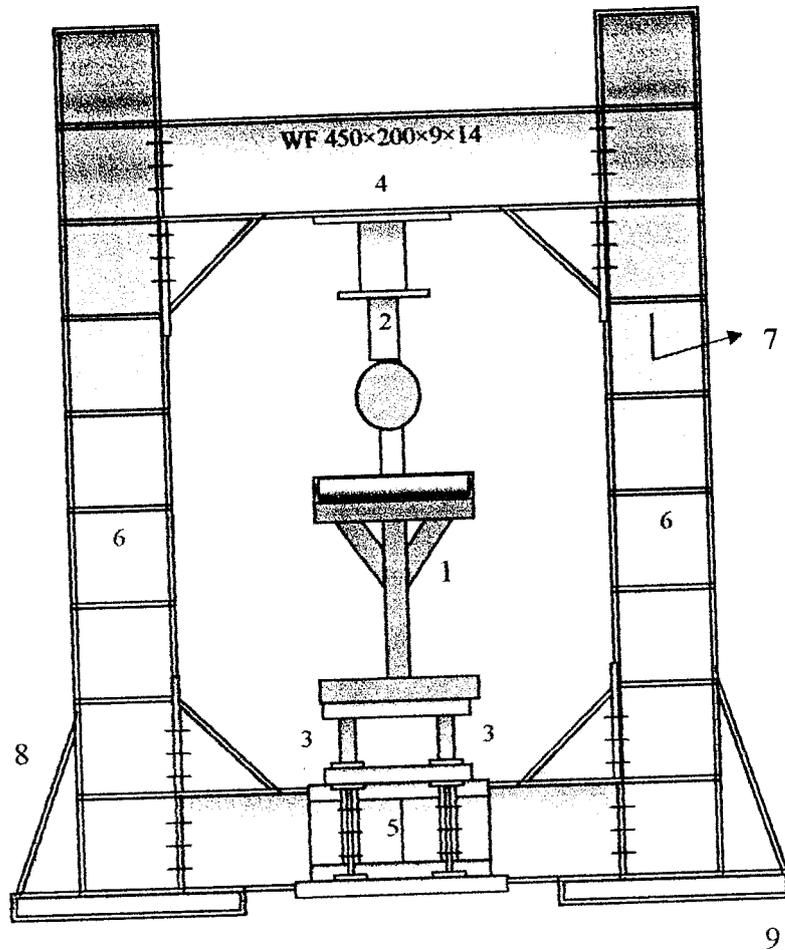
### 4.2.2. Peralatan penelitian

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

a. *Loading Frame*

*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 :

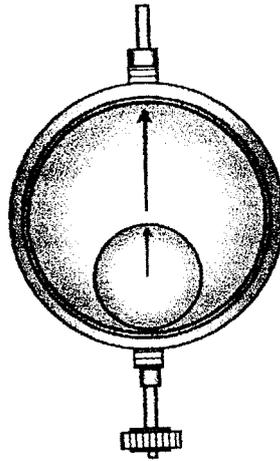
1. Model Balok
2. Hydraulic Jack
3. Dukungan
4. Balok Portal (bisa digeser)
5. Balok Lintang
6. Kolom
7. Pengaku
8. Angkur
9. Plat Dasar

**Gambar 4.2.** *Loading Fram*

*b. Dial Gauge*

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan

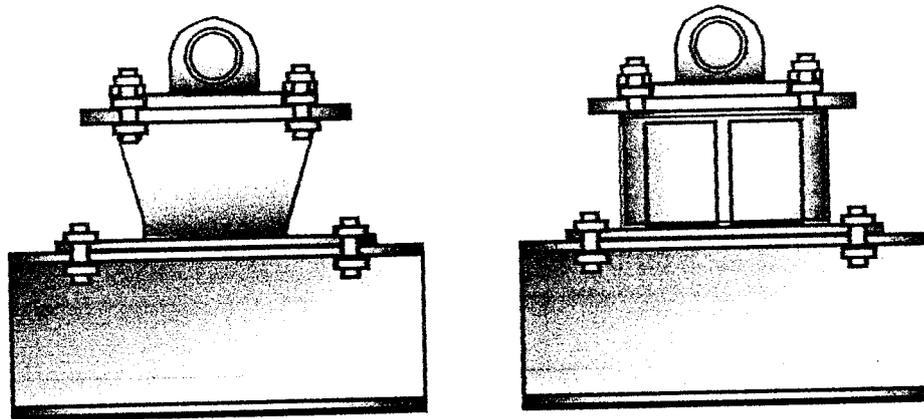
maksimal 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm. Dalam penelitian ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak tiga buah ( Gambar 4.2.)



**Gambar 4.2.3.** *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 4.2.4.



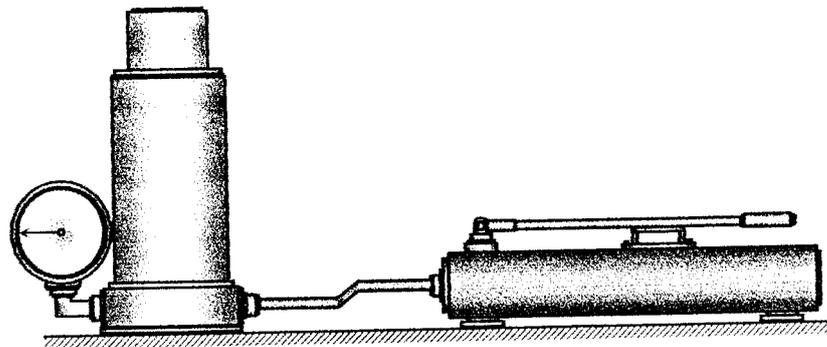
(a) *Dukungan Sendi*

(b) *Dukungan Rol*

**Gambar 4.2.4.** *Dukungan Sendi dan Rol*

d. *hydraulic Jack*

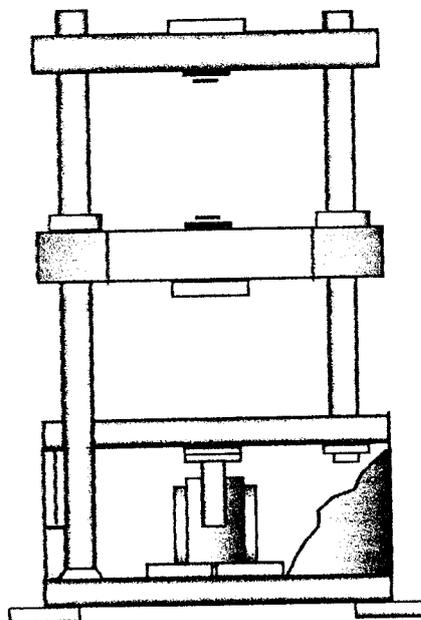
Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur gelagar plat skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan 0,5 ton. ( lihat Gambar 4.2.5. )



Gambar 4.2.5. *Hidraulic Jack*

e. *Mesin Uji Kuat Tarik*

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu universal Testing Machine (UTM) merk Shimizu type UMH-330 dengan kapasitas 30 ton, seperti pada Gambar 4.2.6.



Gambar 4.2.6. *Universal Testing Machine Shimizu UMH30*

### 4.3. Model Benda Uji

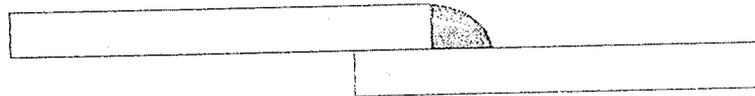
Pada penelitian ini, sebelum melakukan pengujian kapasitas lentur gelagar plat penampang  $\nabla$ -Shapes, dibuat terlebih dahulu benda uji untuk mencari tagangan leleh plat ( $F_y$ ) dan dilaksanakan di laboratorium.

#### 4.3.1. Benda Uji Pendahuluan

Benda uji yang digunakan sebanyak tiga buah, adapun bentuk dari benda uji seperti gambar berikut :



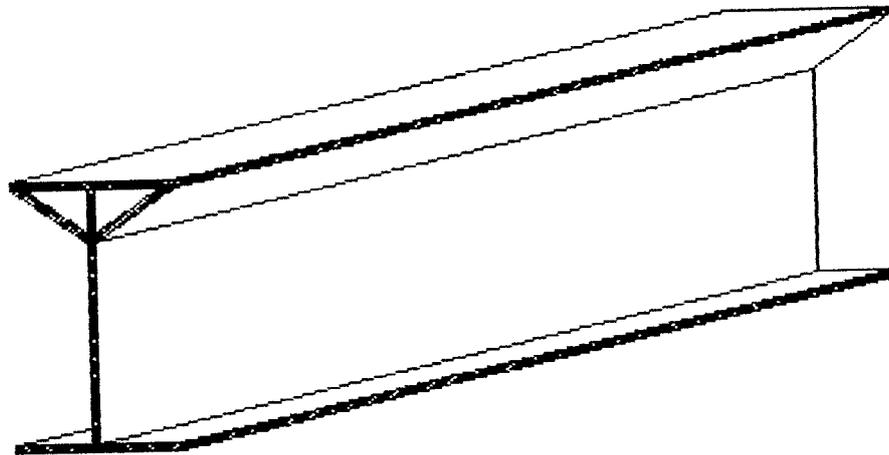
**Gambar 4.7.** Benda Uji Untuk Uji Kuat Tarik



**Gambar 4.8.** Benda Uji Untuk Uji Kuat Geser Las

#### 4.2.2. Benda uji gelagar pelat penampang $\nabla$

Model benda uji yaitu plat yang dirancang seperti profil I kemudian diberi pengaku bagian sayap atasnya sehingga berbentuk  $\nabla$ , dan untuk pembandingan dalam penelitian menggunakan galagar I. Adapun model benda uji tersebut seperti gambar dibawah ini :



**Gambar 4.9.** Model benda uji.

#### **4.4. Pembuatan Benda Uji**

Sebelum membuat benda uji, terlebih dahulu melakukan perhitungan dimensi gelagar plat dengan penampang  $\nabla$ -Shapes dan 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 dari pelat 2 mm memanjang.
3. Membuat gelagar I sebagai pembanding dalam penelitian

#### **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 Tarik Baja dan Uji Kuat Geser Las

1. Pemasangan benda uji pada alat uji tarik Universal Testing Material (UTM) merk shimatzu type UMH-30 dengan kapasitas 30 ton.
2. Benda uji di *setting* hingga benda uji tersebut siap di uji, kemudian mesin di atur kapasitasnya.
3. Kemudian dilakukan pembacaan beban pada kondisi leleh, beban maksimum dan beban pada saat patah.

#### 4.5.2. 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 300 kg. 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 Pengujian Kuat Tarik Baja

Sampel uji kuat tarik baja dibuat dari pelat baja tebal 2 mm dan elemen profil L 30 x 30 x 3, masing - masing sebanyak tiga sampel. Pengujian tersebut menggunakan alat *Universal Testing Machine ( UTM )* merk *Shimitzu type UMH-30* dan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil kuat tarik baja yang ditunjukkan pada tabel 5.1.

**Tabel 5.1** Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

NO	Benda Uji	$f_y$ ( MPa )	$f_u$ ( MPa )
1	Pelat	240	350
2	Profil Siku ( L )	370	420

Dari tabel 5.1 diatas, didapatkan  $f_u/f_y$  pelat =  $350/240 = 1,458$  , sedang  $f_u/f_y$  profil siku ( L ) =  $420/370 = 1,135$ .  $f_u/f_y$  untuk pelat dengan tebal 2 mm lebih besar 1,285 kali dari profil siku ( L ) 30 x 30 x 3 . Jadi baja profil siku (L) mempunyai kuat tarik yang lebih besar sehingga dalam pengujian yang lebih dahulu leleh adalah pelat benda uji. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran 2 dan untuk gambar pelaksanaan pengujian pada lampiran 9.

## 5.2. Hasil Pengujian Kuat Geser Las

Pengujian kuat tarik dan geser las menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* merk *Shimitzu* type *UMH-30* dan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Sampel yang dipakai untuk pengujian kuat tarik las sebanyak 3 (tiga) sampel, dengan ukuran panjang las 10 mm dengan ketebalan 3,14 mm. Dari pengujian tersebut mendapatkan hasil kuat tarik las ditunjukkan dalam tabel 5.2.

**Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Geser Las**

No	P Maksimum ( N )	Fu ( MPa )
1	9212	460.6
2	7448	372.4
3	7791	389.55

Nilai tegangan ( Fu ) elastis rata-rata :

$$f_u = \frac{460,6 + 372,4 + 389,6}{3} = 407,5166 \text{ MPa} , \text{ dipakai } f_u = 410 \text{ MPa}$$

Dari hasil tersebut tidak memenuhi persyaratan las E 70 ksi setara dengan 490 MPa, tetapi memenuhi persyaratan las E 60 ksi setara dengan 360 MPa. Jadi dalam pengujian yang leleh terlebih dahulu adalah pada pelat benda uji bukan pada sambungan las. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 2.

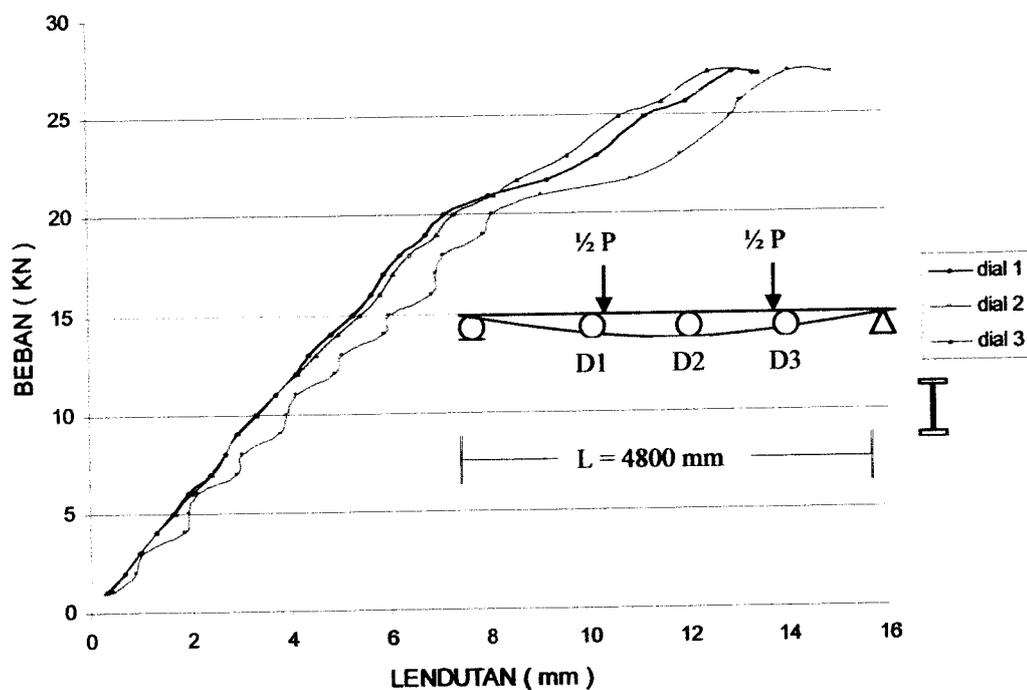
## 5.3. Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang I dan V

Pengujian kuat lentur gelagar pelat penampang I dan V menggunakan *Loading Frame* dan sumber beban dibangkitkan dari *Hidraulic Jack*. Dilaksanakan

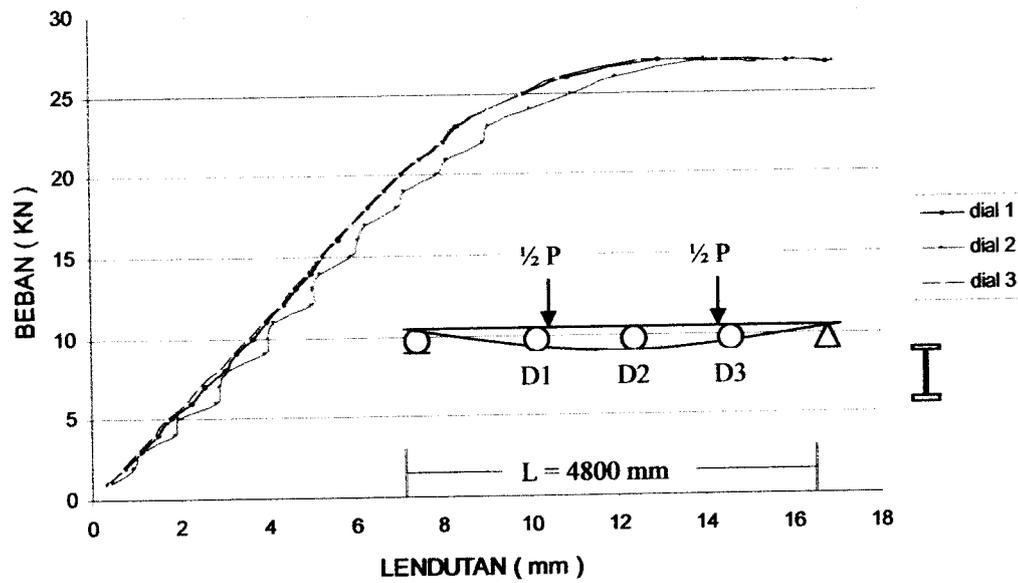
di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada lampiran 5, sedang untuk foto pelaksanaan pengujian dapat dilihat pada lampiran 9.

### 5.3.1. Grafik Hasil Pengujian Gelagar I dan Gelagar V.

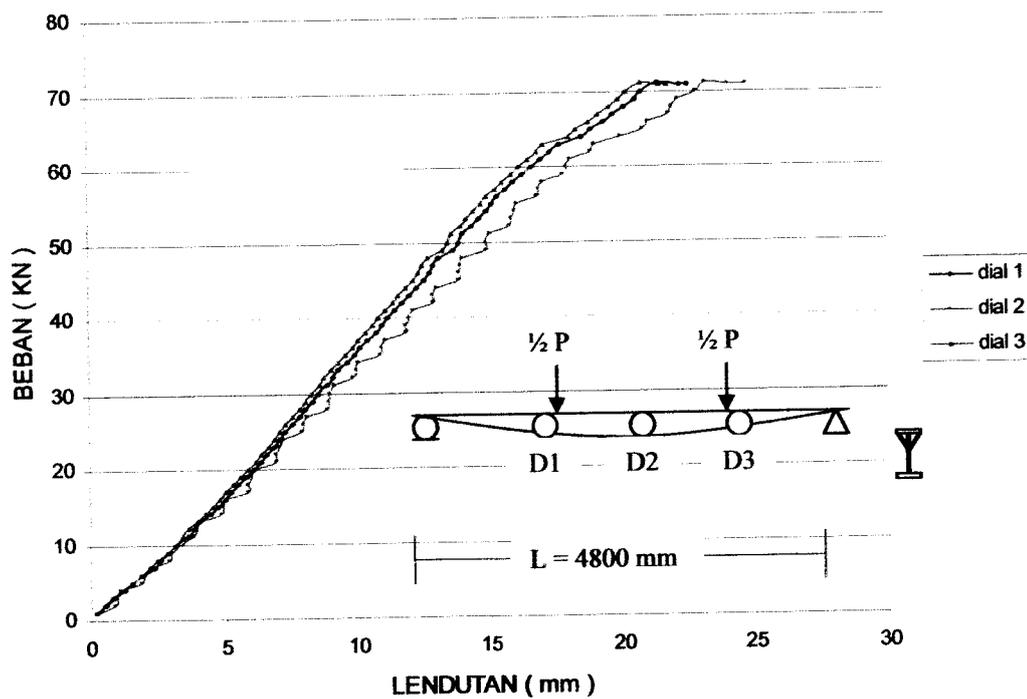
Pengujian kuat lentur gelagar pelat ini diberikan dua beban yang terletak sepanjang 1,60 m yang terletak pada tengah bentang. Kemudian secara bertahap gelagar pelat tersebut diberi kenaikan beban sebesar 100 kg (1,0 kN), kemudian setiap tahap pembebanan lendutan yang terjadi dibaca dan dicatat pada tabel. Data pengujian dapat dilihat pada lampiran 5. Dari data hasil pengujian ketiga benda uji tersebut dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan lentur seperti pada gambar 5.1, 5.2, 5.3 dan 5.4



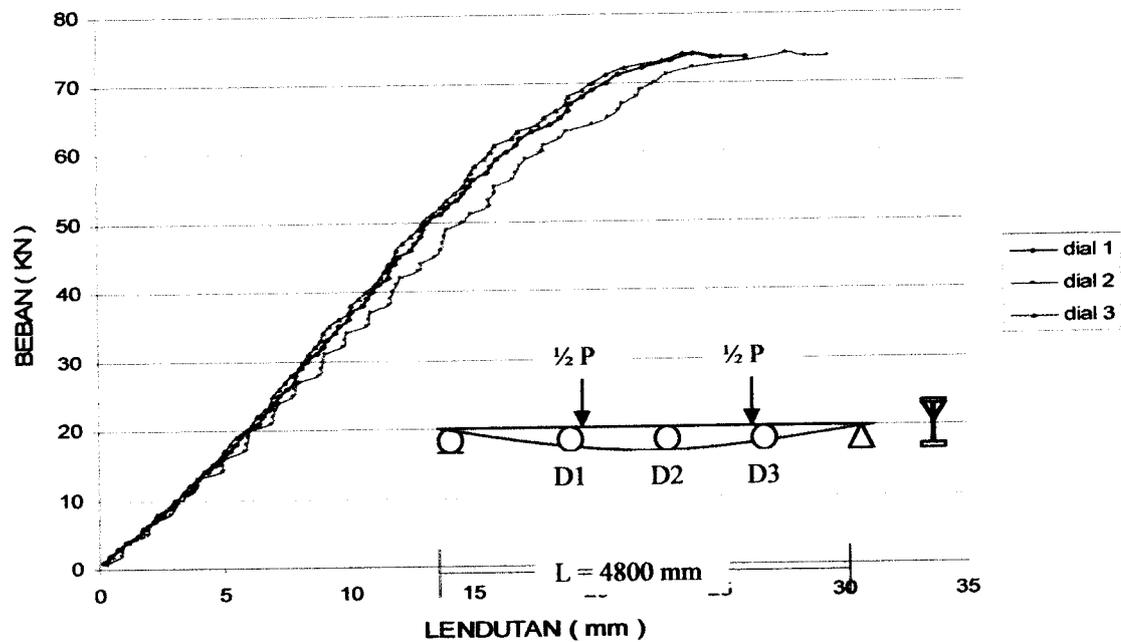
**Gambar 5.1** Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar I benda uji 1



**Gambar 5.2** Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar I benda uji 2



**Gambar 5.3** Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar V benda uji 1

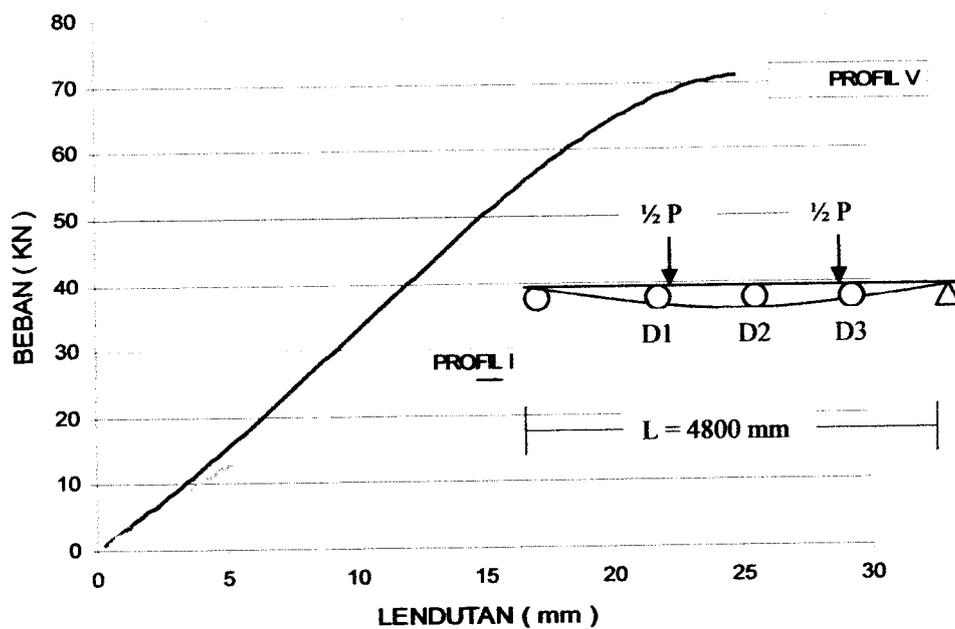


**Gambar 5.4** Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar  $\nabla$  benda uji 2

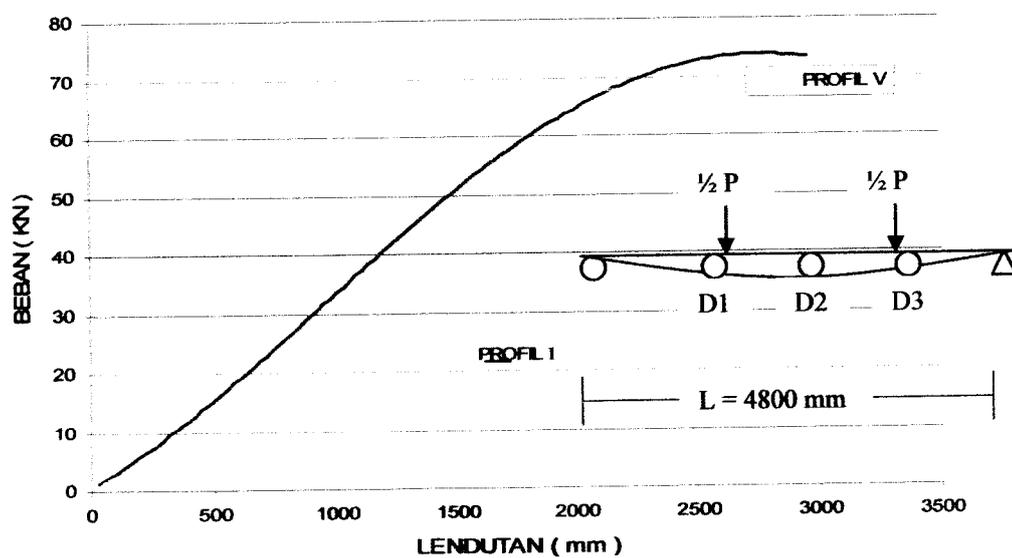
Tampak bahwa pada gambar 5.1, 5.2, 5.3, dan gambar 5.4 pembacaan dial 2 yang terletak di tengah bentang mempunyai lendutan lebih besar dari dial 1 & 3 yang terletak disepertiga bentang. Jadi lendutan maksimumnya berada di tengah bentang. Setelah beban maksimum pembacaan dial yang menghasilkan besarnya lendutan maksimum mengalami penurunan. Kemudian beban menjadi konstan dan tidak mengalami kenaikan lagi.

### 5.3.2. Hubungan Beban-Lendutan Gelagar I Versus Gelagar $\nabla$

Untuk mengetahui lendutan yang seharusnya terjadi pada gelagar pelat pelat profil I dan  $\nabla$ , maka dilakukan perhitungan lendutan hasil pengujian. Berikut ini grafik perbandingan hubungan beban lendutan hasil pengujian untuk masing-masing benda uji.



**Gambar 5.5** Grafik Hubungan Beban Lendutan Gelagar I dan  $\nabla$  benda uji 1



**Gambar 5.6** Grafik Hubungan Beban Lendutan Gelagar I dan  $\nabla$  benda uji 2

Pada grafik gambar 5.5. dan gambar 5.6. kekuatan gelagar  $\nabla$  meningkat sangat signifikan, terlihat gelagar I hanya mampu menahan beban 2700 kg dan gelagar  $\nabla$  mampu menahan beban 7400 kg atau meningkat sebesar 174 % dari gelagar I. Untuk mencari kekakuan dari gelagar dapat dicari dengan persamaan (5.1) :

$$k = \frac{Py}{\Delta y} \quad (5.1)$$

Dari rumus tersebut diperoleh nilai kekakuan ( $k$ ) untuk gelagar I = 1,93 kN/mm, sedang untuk gelagar  $\nabla$  = 2,86 kN/mm. Jadi dengan penambahan pelat berbentuk  $\nabla$  pada gelagar I akan meningkatkan kekakuan sebesar = 1,48 kali atau meningkat sebesar 54,6%.

### 5.3.3. Rasio Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Gelagar I dan $\nabla$

Setelah pengujian terhadap gelagar I dan  $\nabla$  didapatkan beban maksimum ( $P$ ) pada kedua gelagar tersebut yaitu untuk gelagar I = 27 kN sedang untuk gelagar  $\nabla$  = 74 kN. Dari beban tersebut didapatkan momen maksimum dengan persamaan (5.2) :

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

Karena inersia dari kedua profil sudah diketahui, maka dapat diperoleh nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) Profil I dan  $\nabla$  dengan persamaan (5.3):

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

dan hasil dari perhitungan dapat dilihat pada lampiran 4 dan tabel 5.3.

**Tabel 5.3** Tegangan Kritis (  $F_{cr}$  ) Profil I dan  $\nabla$ 

Benda Uji	$F_{cr}$	
	I	$\nabla$
1	102.15	201,208
2	101.89	209,710
Rata-rata	102,02	205,459

Dari Tabel 5.3 di atas, dapat di lihat bahwa nilai tegangan kritis (  $F_{cr}$  ) pada profil  $\nabla$  lebih besar dibanding dengan tegangan kritis (  $F_{cr}$  ) pada profil I, hal ini terjadi karena pengaruh momen inersia pada profil tersebut sehingga nilai tegangan kritis (  $F_{cr}$  ) pada gelagar  $\nabla$  meningkat 2,1 kali atau meningkat sebesar 101,3% terhadap gelagar I. Hasil perhitungan dapat dilihat pada pada lampiran 4.

#### 5.3.4. Rasio Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Gelagar I dan $\nabla$

Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh beban maksimum (  $P$  ) dan tegangan kritis (  $F_{cr}$  ) dari profil I dan  $\nabla$ , karena  $F_{cr}$  yang didapat lebih kecil dari  $F_y$  atau  $F_{cr} < F_y$ , maka untuk menghitung nilai koefisien tekuk (  $k$  ) dipakai  $F_y$ , sehingga dapat dicari nilai koefisien tekuk (  $k$  ) hasil penelitian pada sayap dengan persamaan (5.4) :

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

dan badan dengan persamaan (5.5) :

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

Secara teoritis nilai koefisien tekuk ( $k$ ) untuk profil I apabila diasumsikan sebagai tumpuan sederhana adalah 0,425 pada sayap sedangkan badan adalah 23,9 sedang untuk profil  $\nabla$  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 I dan  $\nabla$

• Sayap

Benda Uji	Profil I	Profil $\nabla$
1	0,5620	5,57
2	0,5615	5,80
Rata-rata	0,5618	5,69

• Badan

Benda Uji	Profil I	Profil $\nabla$
1	22,48	25,376
2	22,45	26,449
Rata-rata	22,465	25,912

Dari tabel 5.4 di atas, dapat diperoleh rasio nilai koefisien tekuk ( $k$ ) pada sayap gelagar  $\nabla$  meningkat, sedangkan pada badan, rasio nilai koefisien tekuk ( $k$ ) gelagar  $\nabla$  sedikit meningkat terhadap nilai koefisien tekuk ( $k$ ) gelagar I. Jadi dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien tekuk gelagar  $\nabla$  pada badan hanya meningkat sedikit yaitu 1,2 kali atau meningkat sebesar 20 % terhadap gelagar I, sedang pada

sayap peningkatan nilai koefisien tekuk (  $k$  ) sangat signifikan yaitu sebesar 10,1 kali atau meningkat sebesar 912 % terhadap gelagar I.

### 5.3.5. Hubungan Rasio $Mn/My$ dengan $h/tw$ Gelagar I dan $\nabla$ .

Dari hasil pengujian diperoleh tabel hubungan rasio  $Mn/My$  terhadap  $h/tw$  yang ditunjukkan Tabel 5.5

**Tabel 5.5** Hasil pengujian  $Mn/My$  terhadap  $h/tw$  Profil I dan  $\nabla$

Benda Uji	Mn / My		$\nabla / I$
	I	$\nabla$	
1	0,426	0,8384	1,96
2	0,423	0,8738	2,06
Rata-rata	0,4245	0,8561	2,02

Rumus yang digunakan untuk mencari  $Mn/My$  yaitu dengan persamaan (5.6):

$$\frac{Mn}{My} = \frac{F_{cr \text{ pengujian}} \cdot S_{x \text{ profil}}}{F_y \cdot S_{x \text{ profil}}}, \quad (5.6)$$

karena pada penyebut dan pembilang terdapat nilai  $S_x \text{ profil}$  yang sama, maka  $S_x \text{ profil}$  dapat dihilangkan, menjadi persamaan (5.7) :

$$\frac{Mn}{My} = \frac{F_{cr \text{ pengujian}}}{F_y}, \quad (5.7)$$

Tampak bahwa dari tabel 5.6. terjadi peningkatan  $Mn/My$  pada gelagar  $\nabla$  sebesar 2,02 kali atau meningkat sebesar 101,67 % terhadap gelagar I.

### 5.3.6. Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan Pengujian

Dari data hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar 5.1 dapat dijelaskan seperti pada Tabel 5.6 maka didapatkan kekakuan ( $k$ ) sesuai persamaan 5.1 dan daktilitas simpangan, yang ditunjukkan pada Tabel 5.7.

**Tabel 5.6.** Hubungan Beban-Lendutan Pengujian

Benda Uji (mm)	Beban ( $P_y$ ) kN	Lendutan( $\Delta_y$ ) mm	Kekakuan ( $k$ )
Gelagar I	27	14,05	1,93
Gelagar $\nabla$	74	19,52	2,86

**Tabel 5.7.** Daktilitas Simpangan dari Hubungan Beban-Lendutan Pengujian

Benda Uji (mm)	Beban (P) kN	Lend ( $\Delta_y$ ) mm	Lend. maks.( $\Delta_u$ ) mm	Daktilitas ( $\Delta_u/\Delta_y$ )
Gelagar I	27	14,05	17	1,209
Gelagar $\nabla$	74	19,52	29,52	1,512

### 5.3.7 Analisa Data Rasio Beban-Lendutan Secara Teoritis Dengan Beban-Lendutan Pengujian

Dari Gambar (5.1),(5.2),(5.3) dan (5.4) dapat disimpulkan seperti pada Tabel 5.8 perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 8.

**Tabel 5.8.** Rasio Beban-Lendutan Teoritis dengan Beban-Lendutan pengujian  
(  $P_{\text{teoritis}} \neq P_{\text{pengujian}}$  )

No	Benda Uji (mm)	P Uji (kN)	$P_{\text{teoritis}}$ Lentur (kN)	$\Delta$ Uji (mm)	$\Delta$ Lentur (mm)
1	I	27	26,8445	17	12,325
2	∇	74	72,4299	29,52	19,523

### 5.3.9. Analisa Data Rasio Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Teoritis Dengan Pengujian Gelagar I dan ∇.

Dari perhitungan tegangan kritis (  $F_{cr}$  ) sesuai persamaan 3.2 dan hasil pengujian seperti pada Lampiran 3 dan 4, dapat dianalisa seperti pada Tabel 5.9 di bawah ini.

**Tabel 5.9** Rasio Tegangan Kritis (  $F_{cr}$  ) Gelagar I dan ∇

Benda Uji	$F_{cr}$ Teoritis (MPa)	$F_{cr}$ Pengujian (MPa)
Gelagar I	108,005	102,02
Gelagar ∇	335,61	205,459

Dari Tabel 5.10 terlihat bahwa untuk profil I dan ∇,  $F_{cr}$  Teoritis lebih besar dibanding  $F_{cr}$  pengujian, dengan rasio untuk gelagar pelat profil I  $F_{cr}$  pengujian = 0,945  $F_{cr}$  teoritis, sedang rasio untuk gelagar pelat profil ∇  $F_{cr}$  pengujian = 0,624  $F_{cr}$  teoritis.



## 5.4. Pembahasan

### 5.4.1 Kuat Tarik Baja Berdasarkan Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik pelat baja maka baja dengan  $F_y = 240$  MPa dan  $F_u = 350$  MPa dapat digolongkan sebagai baja carbon, dan hasil pengujian kuat tarik Profil L (30x30x3) dengan  $F_y = 370$  MPa dan  $F_u = 420$  MPa maka baja dapat digolongkan sebagai baja carbon, dengan asumsi bahwa  $F_y$  kurang dari 700 MPa termasuk baja carbon.

Dari hasil diatas,  $f_u/f_y$  untuk pelat =  $\frac{350}{240} = 1,458$  , sedang  $f_u/f_y$  untuk profil siku ( L ) =  $\frac{420}{370} = 1,135$ . Jadi  $f_u/f_y$  untuk pelat dengan tebal 2 mm lebih besar 1,285 kali dari profil siku ( L ) 30 x 30 x 3 . Jadi baja profil siku (L) mempunyai kuat tarik yang lebih besar sehingga dalam pengujian yang lebih dahulu leleh adalah pelat benda uji.

### 5.4.2 Hubungan Beban-Lendutan Pengujian

Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa pada sayap gelagar mengalami tekuk lokal, sedang pada badan belum mengalami tekuk. Hal ini dapat dilihat pada lampiran 9 gambar no. 4 dan no. 6.

Dengan mengamati Gambar 5.1 - Gambar 5.6 serta lampiran 5, dapat dilihat bahwa pada saat beban maksimum pada profil I yaitu 27 kN, lendutan yang terjadi pada profil I sampel 1 = 15,34 mm, profil I sampel 2 = 14,05 mm, sedang untuk profil  $\nabla$  sampel 1 = 8,07 mm dan sampel 2 = 7,99 mm. Disini terlihat rasio kekuatan pada gelagar pelat untuk menahan lendutan yaitu profil I = 0,55 profil  $\nabla$ .

Hal itu disebabkan semakin tinggi ( $h$ ) gelagar maka nilai kekakuan lentur ( $ED$ )nya semakin meningkat karena dipengaruhi oleh inersia penampang yang semakin besar. Dari keempat benda uji tersebut, diperoleh suatu pernyataan bahwa dengan penambahan pengaku berbentuk  $\nabla$  pada sayap atas, dapat meningkatkan inersia sebesar = 1,05 kali atau meningkat sebesar 5,2%, dan kekakuan sebesar = 1,48 kali atau meningkat sebesar 50,3%.

#### 5.4.3. Rasio Nilai Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) Gelagar I dan Gelagar $\nabla$

Untuk tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) yang terjadi setelah pengujian kuat lentur dari berbagai benda uji sebagai berikut ; Gelagar I benda uji 1 adalah 102,15 Mpa, Gelagar pelat profil I benda uji 2 adalah 101,89 Mpa sedang untuk Gelagar pelat profil  $\nabla$  benda uji 1 adalah 201,208 Mpa, Gelagar pelat profil  $\nabla$  benda uji 2 adalah 209,710 Mpa, seperti terlihat pada Tabel 5.3. Rasio tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dari gelagar pelat profil I dan  $\nabla$  yaitu  $F_{cr}$  profil I = 0.48  $F_{cr}$  profil  $\nabla$ .

Dari Lampiran 4 dapat diamati bahwa dengan penambahan pengaku berbentuk  $\nabla$  pada sayap atas maka akan meningkatkan nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ). Untuk rasio tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) Gelagar I dan Gelagar  $\nabla$  dapat dilihat tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) Gelagar I lebih kecil dibandingkan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) Gelagar  $\nabla$ . Hal itu disebabkan nilai koefisien tekuk ( $k$ ) Gelagar pelat profil I yang terjadi baik badan atau sayap dari berbagai benda uji lebih kecil dibandingkan nilai koefisien tekuk ( $k$ ) Gelagar pelat profil  $\nabla$ , setelah pengujian kuat lentur.

Jadi penambahan pengaku berbentuk  $\nabla$  pada sayap atas gelagar pelat profil I akan meningkatkan nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) sebesar 2,1 kali atau meningkat sebesar 101,3%.

#### 5.4.4. Rasio Nilai Koefisien Tekuk ( $k$ ) Gelagar I dan $\nabla$

Dengan mengamati Tabel 5.4 dapat dilihat nilai koefisien tekuk ( $k$ ), pada sayap semakin kecil rasio  $h/t$  maka nilai koefisien tekuknya semakin besar, sedangkan pada badan semakin kecil rasio  $h/t$  maka nilai koefisien tekuk ( $k$ ) semakin kecil.

Dapat dilihat pada tabel 5.4 bahwa dengan penambahan pengaku berbentuk  $\nabla$  pada sayap atas, dapat meningkatkan nilai koefisien tekuk ( $k$ ) pada sayap atas yaitu dari 0,5618 menjadi 5,685 atau meningkat sebesar 912%. sedang pada badan nilai faktor kekakuan ( $k$ ) mengalami sedikit peningkatan dari 22,48 menjadi 26,449 atau meningkat sebesar 15,1%.

Dari pengujian tersebut, bahwa dengan penambahan pengaku sayap bentuk  $\nabla$  pada profil I dapat diperoleh peningkatan nilai koefisien tekuk ( $k$ ) sayapnya yaitu = 10,1 kali atau meningkat sebesar 912%. Sedang pada badan, peningkatan nilai koefisien tekuk ( $k$ ) yang diperoleh yaitu = 1,2 kali atau meningkat sebesar 20%.

#### 5.4.5. Hubungan Rasio $M_n/M_y$ dengan $h/t_w$ Gelagar I dan $\nabla$ .

Dari Tabel 5.5. dapat diamati bahwa nilai  $M_n/M_y$  pada gelagar pelat profil I lebih kecil dibandingkan dengan gelagar pelat profil  $\nabla$ . Hal ini terjadi karena nilai

tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dari gelagar pelat profil I lebih kecil dibandingkan dengan nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) gelagar pelat profil  $\nabla$ . Selain itu, rasio dari  $h/tw$  pada badan gelagar pelat profil I juga lebih besar dari gelagar pelat profil  $\nabla$ , semakin kecil nilai  $h/tw$  maka akan meningkatkan nilai  $Mn/My$ .

Dari tabel 5.5, dapat diperoleh bahwa rasio  $Mn/My$  dari Profil I dan  $\nabla$  yang terjadi pada hasil pengujian yaitu  $Mn/My$  Profil I = 0,48  $Mn/My$  Profil  $\nabla$ . Ternyata rasio  $Mn/My$  dari gelagar pelat Profil I dan  $\nabla$  berbanding lurus dengan rasio tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) dari gelagar pelat profil I dan  $\nabla$  yaitu terjadi peningkatan sebesar 2.1 kali.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

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

- 1) Kekuatan gelagar  $\nabla$  meningkat sangat signifikan, kekuatan gelagar  $\nabla$  meningkat 2,7 kali terhadap gelagar I atau meningkat sebesar 174% dari gelagar I.
- 2) Kekakuan gelagar  $\nabla$  meningkat sebesar = 1,48 kali terhadap gelagar I atau meningkat sebesar 50,3% dari gelagar I.
- 3) Untuk nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) pada gelagar  $\nabla$  meningkat 2,1 kali terhadap gelagar I atau meningkat sebesar 101,3% dari gelagar I.
- 4) Dengan penambahan pengaku bentuk  $\nabla$  pada gelagar I nilai koefisien tekuk ( $k$ ) pada sayap meningkat sangat signifikan yaitu 10,1 kali atau meningkat sebesar 912%, sedang pada badan meningkat sedikit yaitu 1,2 kali atau meningkat sebesar 20% dari gelagar I.
- 5) Untuk rasio  $M_n/M_y$  pada gelagar  $\nabla$   $M_n/M_y$  meningkat 2,02 kali terhadap gelagar I atau meningkat sebesar 101,67% dari gelagar I.

## 6.2. Saran

Untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang gelagar pelat penampang I dan V perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

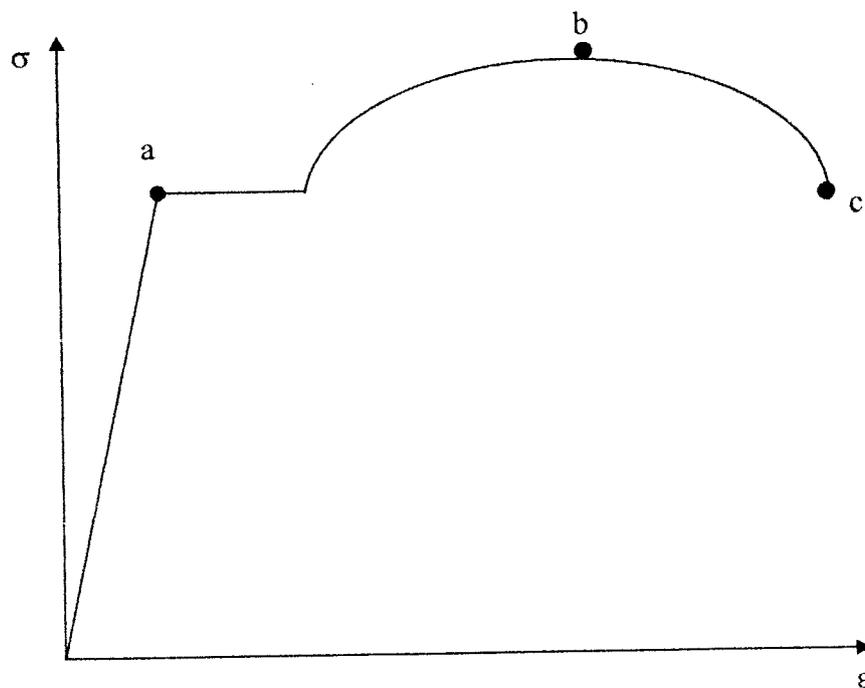
- 1) Pada pengujian lentur perlu dilakukan perubahan variasi-variable sampel.
- 2) Pada gelagar pelat penampang V dapat divariasikan bentuk sudut pada sayap atas.
- 3) Konsentrasi tidak dibatasi dengan diperpanjang Gelagar pelat sehingga akan tampak lebih jelas lendutan yang terjadi.
- 4) Pembebanan dapat dirubah tidak pada sepertiga bentang
- 5) Perlu diperhatikan pada pembuatan sampel dan saat pengujian sehingga mendapatkan data yang lebih baik.
- 6) Pada ujung gelagar ditambah lateral support agar tidak terjadi keruntuhan akibat lateral.

# LAMPIRAN I

LAMPIRAN 2

**HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA**

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap kekuatan kuat tarik pelat baja dengan tebal 2mm dan profil L30x30x3. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII Jogjakarta. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut :

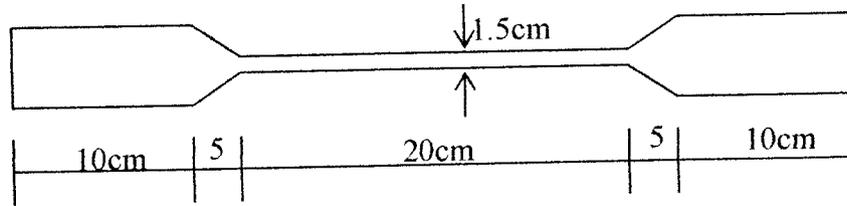


Keterangan :

a = Beban luluh ; b = Beban maksimum; c = Beban patah

$$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A} \quad F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$$

a. Pelat Baja



$t = 0.2 \text{ cm}$

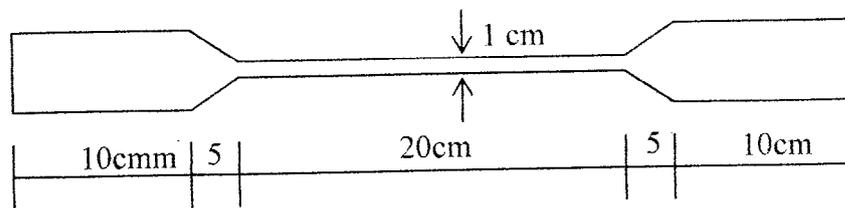
$A = 1.5 \text{ cm} \times 0.2 \text{ cm} = 0.3 \text{ cm}^2$

NO	P luluh (kg)	P maks (kg)	P patah (kg)	$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1.	645	965	75	2150 = 215 Mpa	3216 = 321.6 Mpa
2.	760	1137,5	200	2533.3 = 253.3 Mpa	3791.7 = 379.2 Mpa
3.	730	1045	75	2433.3 = 243.3 Mpa	3483.3 = 348.3 Mpa

$F_y = \frac{215 + 253.3 + 243.3}{3} = 237.21 \text{ Mpa}$  , dipakai  $F_y = 240 \text{ Mpa}$

$F_u = \frac{321.6 + 379.2 + 348.3}{3} = 349.7 \text{ Mpa}$  , dipakai  $F_u = 350 \text{ Mpa}$

b. Profil L30x30x3



$t = 0.3 \text{ cm}$

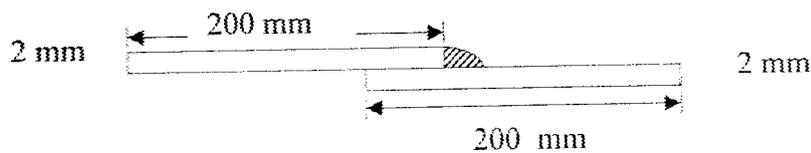
$A = 1 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm} = 0.3 \text{ cm}^2$

NO	P luluh (kg)	P maks (kg)	P patah (kg)	$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1.	960	1120	425	3200 = 320 Mpa	3733.3 = 373.3 Mpa
2.	1150	1305	370	3833.3 = 383.3 Mpa	4350 = 435 Mpa
3.	1225	1355	325	4083.3 = 408.3 Mpa	4516.7 = 451.7 Mpa

$$F_y = \frac{320 + 383.3 + 408.3}{3} = 370.1 \text{ Mpa} , \text{ dipakai } F_y = 370 \text{ Mpa}$$

$$F_u = \frac{373.3 + 435 + 451.7}{3} = 420,01 \text{ Mpa} , \text{ dipakai } F_u = 420 \text{ Mpa}$$

c. Uji Tarik Las



ketebalan las (h) =  $0.5 \times t \times \sqrt{2} = 0.5 \times 2 \times \sqrt{2} = 1.41 \text{ mm}$   
 luasan (A) =  $1.41 \times 14 = 19.74 \text{ mm}^2$

Gambar Benda Uji Tarik Las

P maksimum ( N )	Fy ( Mpa )
9212	460,6
7488	372,4
7791	389,6

$$F_y = \frac{460,6 + 372,4 + 389,6}{3} = 407,5166 \text{ Mpa, dipakai } F_y = 410 \text{ Mpa}$$

$$\text{Elektroda 70 Ksi} = 70 \times 1000 \times 0,07 = 490 \text{ Mpa}$$

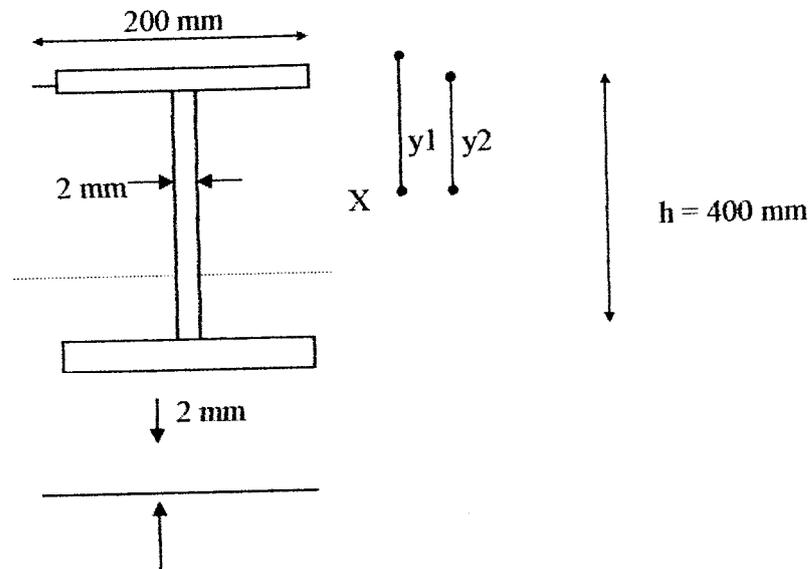
$$\text{Elektroda 60 Ksi} = 60 \times 1000 \times 0,06 = 360 \text{ Mpa}$$

Maka las pada benda uji memenuhi las Elektroda 60 Ksi setara dengan 360 Mpa.

# LAMPIRAN 3

### PERHITUNGAN BENDA UJI

#### Perhitungan Beban Teoritis berdasarkan Tegangan Lentur Benda Uji 1



$$I_{x \text{ sayap}} = 2 \left( \frac{1}{12} 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 201^2 \right)$$

$$= 32321066,67 \text{ mm}^4$$

$$I_{x \text{ badan}} = \left( \frac{1}{12} 2 \cdot 400^3 + 400 \cdot 2 \cdot 0^2 \right)$$

$$= 10666666,67 \text{ mm}^4$$

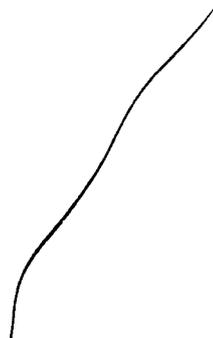
$$I_{x \text{ profil}} = I_{\text{sayap}} + I_{\text{badan}}$$

$$I_{x \text{ profil}} = 32321066,67 + 10666666,67$$

$$I_{x \text{ profil}} = 42987733,33 \text{ mm}^4$$

$$M = \frac{1}{6} P L$$

$$F_{cr} \leq f = \frac{M y}{I}$$



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

$$F_y = 240 \text{ Mpa} = 240 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\text{Nilai } k \text{ teoritis pada sayap} = 0,425$$

$$F_{cr \text{ sayap}} = \frac{0,425 \pi^2 200000}{12 (1 - 0,3^2) (200/2)^2}$$

$$F_{cr \text{ sayap}} = 7,675 \text{ Mpa}$$

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

$$\text{Nilai } k \text{ teoritis pada badan} = 23,9$$

$$F_{cr \text{ badan}} = \frac{23,9 \pi^2 200000}{12 (1 - 0,3^2) (400/2)^2}$$

$$F_{cr \text{ badan}} = 108,005 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr \text{ sayap}} = 7,675 \text{ Mpa}, F_{cr \text{ badan}} = 108,005 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$P_{maks \text{ sayap}} = \frac{6 F_{cr \text{ sayap}} I_{x \text{ total}}}{L \cdot y1}$$

$$P_{maks \text{ sayap}} = \frac{6 \cdot 7,675 \cdot 42987733,33}{4800 \cdot 202}$$

$$P_{maks \text{ sayap}} = 2041,5441 \text{ N}$$

$$P_{maks \text{ sayap}} = 2,0415 \text{ kN}$$

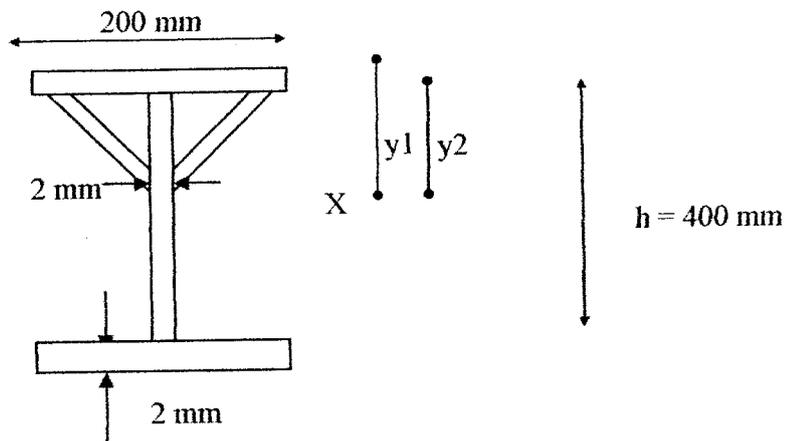
$$P_{maks \text{ badan}} = \frac{6 F_{cr \text{ badan}} I_{x \text{ total}}}{L \cdot y2}$$

$$P_{maks \text{ badan}} = \frac{6 \cdot 108,005 \cdot 42987733,33}{4800 \cdot 200}$$

$$P_{maks \text{ badan}} = 26844,5 \text{ N}$$

$$P_{maks \text{ badan}} = 26,8445 \text{ kN}$$

$$P_{maks \text{ sayap}} = 2,0415 \text{ kN} < P_{maks \text{ badan}} = 26,8445 \text{ kN}$$

**Benda Uji 2 Gelagar ▽**

- Titik Berat

Statis momen terhadap sisi bawah

$Y_b =$

$$\frac{\{(200 \cdot 2)\} + \{(2 \cdot 226,8)(113,4 + 2)\} + \{(200 \cdot 3 \cdot 2) + (173,2 \cdot 2)\} * \left\{173,2 \cdot \frac{2}{3} + 226,8 + 2\right\}}{\{(200 \cdot 2) + (226,8 \cdot 2) + [(200 \cdot 3 \cdot 2) + (173,2 \cdot 2)]\}}$$

$$Y_b = \frac{400 + 52345,44 + 532373,973}{400 + 453,6 + 1546,4}$$

$$Y_b = 243,8 \text{ mm}$$

$$Y_a = 404 \text{ mm} - 243,8 \text{ mm} = 160,2 \text{ mm}$$

- Inersia Sayap dan Badan

$$\begin{aligned} I_{x \text{ sayap atas}} &= \left( \frac{1}{12} 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 159,2^2 \right) \\ &= 2166917,333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{x \text{ v}} &= 2 \left( \frac{1}{12} 2 \cdot 173,2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 73,6^2 \right) \\ &= 4343567,413 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{x \text{ badan}} &= \left( \frac{1}{12} 2 \cdot 400^3 + 400 \cdot 2 \cdot 0^2 \right) \\ &= 10666666,67 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{x \text{ sayap bawah}} &= \left( \frac{1}{12} 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 242,8^2 \right) \\
 &= 23580869,33 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_x \text{ profil} &= I_{x \text{ sayap atas}} + I_{x v} + I_{x \text{ badan}} + I_{x \text{ sayap bawah}} \\
 &= 2166917,333 + 4343567,413 + 10666666,67 + 23580869,33 \\
 &= 45223494,528 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{cr \text{ sayap}} &= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1-0,3^2) \left( \frac{b}{t} \right)^2} \\
 &= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 20000}{12(1-0,3^2) \left( \frac{173,2}{2} \right)^2} \\
 &= 72.231 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ Maksimum Sayap} &= \frac{6 \cdot 72.231 \cdot 45223494,52}{4800 \cdot 160,2} \\
 &= 22971,228 \text{ N} \\
 &= 22,971 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{cr \text{ badan}} &= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1-0,3^2) \left( \frac{h}{t} \right)^2} \\
 &= \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 20000}{12(1-0,3^2) \left( \frac{226,8}{2} \right)^2} \\
 &= 335,61 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$P \text{ Maksimum badan} = \frac{6 \cdot 335,61 \cdot 45223494,528}{4800 \cdot 226,8}$$

$$= 75390,2 \text{ N}$$

$$= 75,39 \text{ KN}$$

Jadi P Maksimum terpakai benda uji  $V = 75,39 \text{ KN}$

### Perhitungan Beban Teoritis berdasarkan Tegangan Geser Gelagar I

- Gaya geser yang dapat dipikul oleh badan pada gelagar I yaitu:

$$V_{cr} = A_w \cdot \tau_{cr}$$

$$A_w = h \cdot t_w = 400 \cdot 2 = 800 \text{ mm}^2$$

$$\text{Untuk } a/h = 1600 / 400 = 4 \Rightarrow a/h \geq 1$$

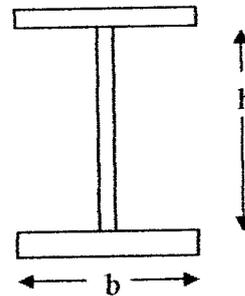
$$K = \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} + 5,34$$

$$K = \frac{4}{(4)^2} + 5,34 = 5,59$$

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

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E \cdot 5,59}{12 \cdot (1 - 0,3^2) (400/2)^2}$$

$$= 25,26 \text{ N/mm}^2$$



Jadi diperoleh gaya geser sebesar

$$V = 800 \cdot 25,26 \cdot 10^{-3} = 20,208 \text{ KN}$$

$$V = 0,5 P ; P = 2 \cdot 20,208 = 40,4 \text{ KN}$$

### Perhitungan Beban Teoritis berdasarkan Tegangan Geser Gelagar ▽

- Gaya geser yang dapat dipikul oleh badan pada gelagar ▽ yaitu:

$$V_{n1} = V_{cr1} w_1 + V_{cr2} w_2$$

$$V_{cr1} = A_{w1} \cdot \tau_{cr1}$$

$$V_{cr2} = A_{w2} \cdot \tau_{cr2}$$

$$A_{w1} = h_1 \cdot t_w = 173,2 \cdot 2 = 346,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{w2} = h_2 \cdot t_w = 226,8 \cdot 2 = 453,6 \text{ mm}^2$$

$$K_1 \text{ Untuk } a/h = 2400 / 173,2 = 13,86 \Rightarrow a/h \geq 1$$

$$K_1 = \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} + 5,34$$

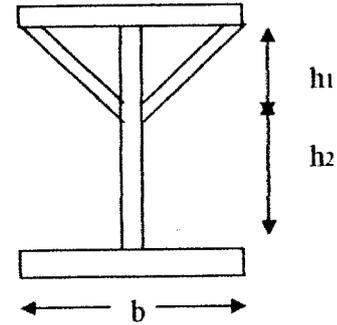
$$K_1 = \frac{4}{(13,86)^2} + 5,34 = 5,36$$

$$K_2 \text{ Untuk } a/h = 2400 / 226,8 = 10,58 \Rightarrow a/h \geq 1$$

$$K_2 = \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} + 5,34$$

$$K_2 = \frac{4}{(10,58)^2} + 5,34 = 5,38$$

$$\begin{aligned} \tau_{cr1} &= \frac{\pi^2 E k_1}{12 \cdot (1 - \mu^2) (h/t)^2} \\ &= \frac{\pi^2 E \cdot 5,36}{12 \cdot (1 - 0,3^2) (173,2/2)^2} \\ &= 129,2 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\tau_{cr2} &= \frac{\pi^2 E k_2}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \\ &= \frac{\pi^2 E \cdot 5,38}{12(1-0,3^2)(226,8/2)^2} \\ &= 75,6 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Jadi diperoleh gaya geser sebesar

$$V_{cr1} = 346,4 \cdot 129,2 \cdot 10^{-3} = 44,8 \quad \text{KN}$$

$$V_{cr2} = 453,6 \cdot 75,6 \cdot 10^{-3} = 34,3 \quad \text{KN}$$

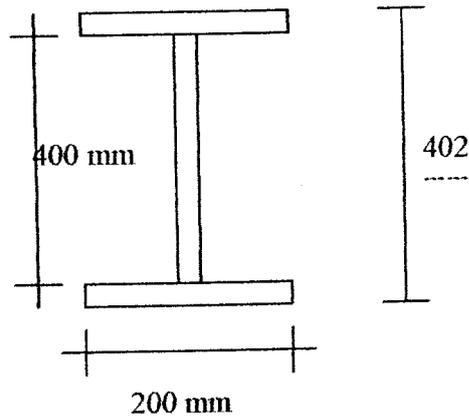
$$V_n = 44,8 + 34,3 = 79,1 \text{ KN}$$

$$V_n = 0,5 P ; P = 2 \cdot 79,1 = 158,2 \text{ KN}$$

# LAMPIRAN 4

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

- Profil I



- Gelagar Pelat I Benda Uji 1

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

$$S_x = I_x / y$$

$$M = 1/6 P L$$

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

$$I_{total} = 42987733,34$$

$$Y = 0,5 d = 0,5 \cdot 404 = 202 \text{ mm}$$

$$P_{maks} = 27,18 \text{ KN} = 2718 \text{ Kg}$$

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

$$M = \frac{1}{6} 2718 \cdot 4800 = 2174400 \text{ Kg mm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{y} = \frac{42987733,34}{202} = 212810,5611 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{2174400}{212810,5611} = 10,218 \text{ Kg/mm}^2 = 102,2 \text{ N/mm}^2$$

$$= 102,2 \text{ Mpa}$$

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

Karena  $F_{cr}$  yang didapat lebih kecil dari  $F_y$  atau  $F_{cr} < F_y$ , maka untuk mencari nilai koefisien tekuk dipakai  $F_y$

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

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

$$= \frac{102,2 \cdot 12(1 - 0,3^2) \left(\frac{200}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000}$$

$$= 0,5620$$

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

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

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

$$= \frac{102,2 \cdot 12(1 - 0,3^2) \left(\frac{400}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000}$$

$$= 22,48$$

- **Gelagar Pelat I Benda Uji 2**

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

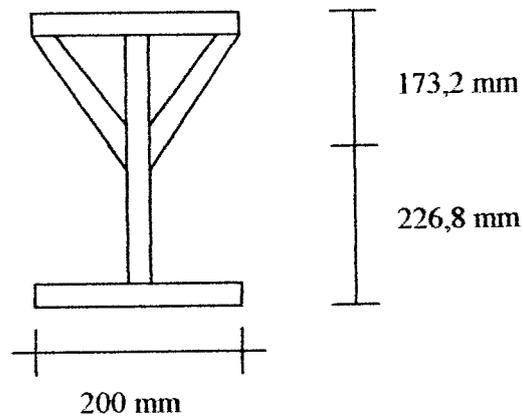
$$S_x = I_x / y$$

$$M = 1/6 P L$$

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

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

- Profil  $\nabla$



- Gelagar Pelat  $\nabla$  Benda Uji 1

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

$$S_x = I_x / y$$

$$M = 1/6 P L$$

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

$$I_{\text{total}} = 45223494,04 \text{ mm}^4$$

$$Y = 160,2 \text{ mm}$$

$$P_{\text{maks}} = 71 \text{ KN} = 7100 \text{ Kg}$$

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

$$M = \frac{1}{6} 7100 \cdot 4800 = 5680000 \text{ Kg mm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{y} = \frac{45223494,04}{160,2} = 282293,97 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{5680000}{282293,97} = 20,1208 \text{ Kg/mm}^2 = 201,208 \text{ N/mm}^2$$

$$= 201,208 \text{ Mpa}$$

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

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{k \cdot \pi^2 E}{12(1-0,3^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \\ k &= \frac{F_{cr} \cdot 12(1-0,3^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2}{\pi^2 \cdot E} \\ &= \frac{201,208 \cdot 12(1-0,3^2) \left(\frac{200}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} \\ &= 5,57 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{k \cdot \pi^2 E}{12(1-0,3^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2} \\ k &= \frac{F_{cr} \cdot 12(1-0,3^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2}{\pi^2 \cdot E} \\ &= \frac{201,208 \cdot 12(1-0,3^2) \left(\frac{226,8}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} \\ &= 25,376 \end{aligned}$$

- **Gelagar Pelat  $\nabla$  Benda Uji 2**

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

$$S_x = I_x / y$$

$$M = 1/6 P L$$

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

$$I_{\text{total}} = 45223494,04 \text{ mm}^4$$

$$Y = 160,2 \text{ mm}$$

$$P_{\text{maks}} = 74 \text{ KN} = 7400 \text{ Kg}$$

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

$$M = \frac{1}{6} 7400 \cdot 4800 = 5920000 \text{ Kg mm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{y} = \frac{45223494,04}{160,2} = 282293,97 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{5920000}{282293,97} = 20,9710 \text{ Kg/mm}^2 = 209,710 \text{ N/mm}^2$$

$$= 209,710 \text{ Mpa}$$

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

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

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

$$= \frac{209,710 \cdot 12 \cdot (1-0,3^2) \left(\frac{200}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000}$$

$$= 5,80$$

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

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

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

$$= \frac{209,710 \cdot 12 \cdot (1-0,3^2) \left(\frac{226,8}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000}$$

$$= 26,449$$

- Sayap

Benda Uji	Profil I	Profil V
1	0,5620	5,57
2	0,5615	5,80

- Badan

Benda Uji	Profil I	Profil V
1	22,48	25,376
2	22,45	26,449

# LAMPIRAN 5

## Hasil Pembebanan Benda Uji

## HASIL PENGUJIAN BEBAN LENDUTAN PROFIL I SAMPEL 1

NO	BEBAN ( KN )	DEFLEKSI		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	1	35	45	30
2	2	68	90	66
3	3	96	105	98
4	4	130	186	132
5	5	164	195	166
6	6	195	211	200
7	7	238	290	241
8	8	268	303	270
9	9	291	378	295
10	10	329	391	332
11	11	368	412	371
12	12	410	489	415
13	13	438	502	450
14	14	481	588	495
15	15	525	602	540
16	16	565	688	580
17	17	591	692	608
18	18	623	708	642
19	19	676	791	698
20	20	711	811	732
21	21	803	911	812
22	21.76	923	1089	860
23	22.94	1022	1190	964
24	24.92	1120	1289	1068
25	25.72	1200	1310	1152
26	27.18	1295	1534	1246
27	27.07	1335	1490	1345

**HASIL PENGUJIAN BEBAN LENDUTAN PROFIL I SAMPEL  
2**

NO	BEBAN ( KN )	DEFLEKSI		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	1	33	43	38
2	2	71	93	66
3	3	110	110	103
4	4	148	185	140
5	5	179	195	170
6	6	224	280	213
7	7	255	290	244
8	8	300	310	288
9	9	328	390	320
10	10	364	399	354
11	11	393	412	385
12	12	434	495	427
13	13	461	500	453
14	14	496	517	490
15	15	523	591	517
16	16	560	605	554
17	17	592	626	588
18	18	627	696	624
19	19	667	714	662
20	20	705	790	700
21	21	748	810	745
22	22	802	896	800
23	23	837	910	834
24	24	910	1005	908
25	25	991	1101	986
26	26	1090	1203	1070
27	27	1300	1405	1255
28	26.92	1590	1610	1440
29	26.84	1683	1700	1528

### HASIL PENGUJIAN BEBAN LENDUTAN PROFIL $\nabla$ SAMPEL 1

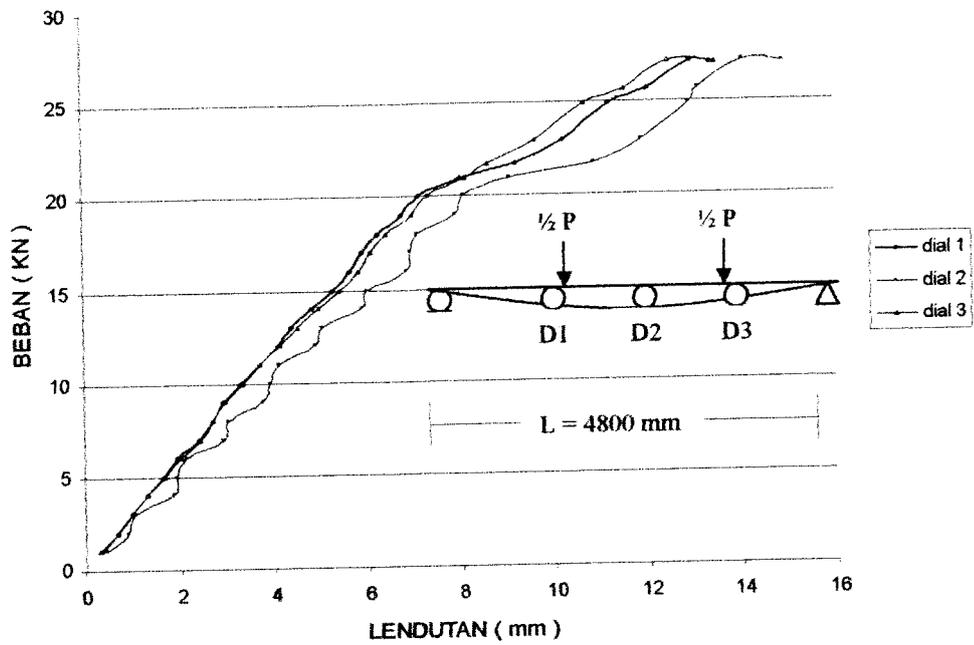
NO	BEBAN ( KN )	DEFLEKSI		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	1	20	31	24
2	2	55	90	50
3	3	84	95	80
4	4	125	115	113
5	5	152	190	156
6	6	186	200	187
7	7	235	223	215
8	8	260	290	242
9	9	286	303	283
10	10	314	325	312
11	11	360	387	340
12	12	386	397	366
13	13	405	415	395
14	14	445	490	425
15	15	471	492	450
16	16	499	505	480
17	17	526	586	505
18	18	554	588	533
19	19	581	601	559
20	20	608	613	588
21	21	635	688	614
22	22	655	691	632
23	23	682	705	660
24	24	705	722	682
25	25	728	788	705
26	26	752	796	729
27	27	782	807	755
28	28	804	888	779
29	29	832	890	805
30	30	848	896	820
31	31	884	916	855
32	32	907	984	875
33	33	930	995	901
34	34	961	1006	928
35	35	989	1089	956
36	36	1015	1092	981
37	37	1042	1106	1006
38	38	1073	1184	1035
39	39	1096	1189	1057
40	40	1118	1198	1081
41	41	1146	1211	1108
42	42	1173	1290	1134
43	43	1198	1294	1158

44	44	1226	1308	1187
45	45	1257	1388	1217
46	46	1276	1390	1236
47	47	1290	1395	1251
48	48	1313	1405	1273
49	49	1370	1490	1328
50	50	1387	1496	1345
51	51	1404	1504	1360
52	52	1434	1582	1392
53	53	1462	1590	1418
54	54	1490	1602	1445
55	55	1512	1613	1470
56	56	1536	1687	1492
57	57	1573	1696	1529
58	58	1600	1710	1555
59	59	1633	1789	1588
60	60	1667	1798	1618
61	61	1702	1815	1652
62	62	1736	1891	1686
63	63	1770	1905	1712
64	64	1857	2002	1804
65	65	1892	2088	1838
66	66	1941	2106	1885
67	67	1976	2187	1917
68	68	2018	2197	1957
69	69	2059	2222	1996
70	70	2082	2288	2020
71	71	2145	2321	2082
72	70.8	2223	2405	2150
73	70.8	2253	2479	2177

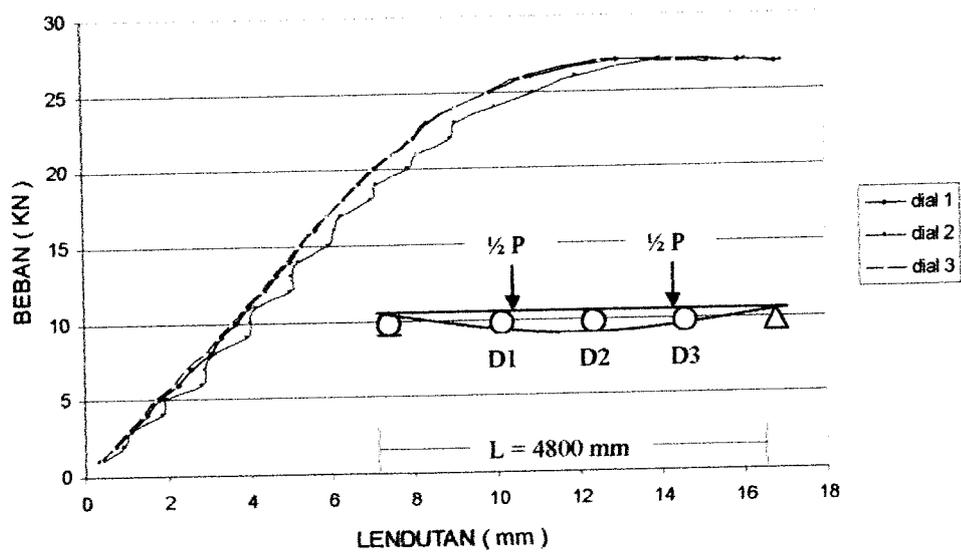
### HASIL PENGUJIAN BEBAN LENDUTAN PROFIL $\nabla$ SAMPEL 2

NO	BEBAN ( KN )	DEFLEKSI		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	1	18	29	21
2	2	42	86	45
3	3	75	90	78
4	4	110	115	113
5	5	152	186	157
6	6	186	196	175
7	7	221	222	214
8	8	256	284	231
9	9	280	300	281
10	10	302	320	312
11	11	354	372	332
12	12	379	390	360
13	13	395	402	394
14	14	435	489	415
15	15	462	490	448
16	16	487	502	478
17	17	521	577	496
18	18	550	584	520
19	19	561	598	550
20	20	596	604	588
21	21	635	688	614
22	22	650	690	631
23	23	679	701	659
24	24	700	716	682
25	25	715	774	692
26	26	749	784	720
27	27	782	799	746
28	28	786	884	765
29	29	804	887	796
30	30	830	896	812
31	31	875	902	844
32	32	900	980	862
33	33	916	990	893
34	34	947	995	896
35	35	965	1079	924
36	36	1002	1087	965
37	37	1013	1096	1002
38	38	1064	1165	1014
39	39	1078	1175	1048
40	40	1102	1180	1078
41	41	1124	1198	1108
42	42	1163	1212	1132
43	43	1170	1286	1147

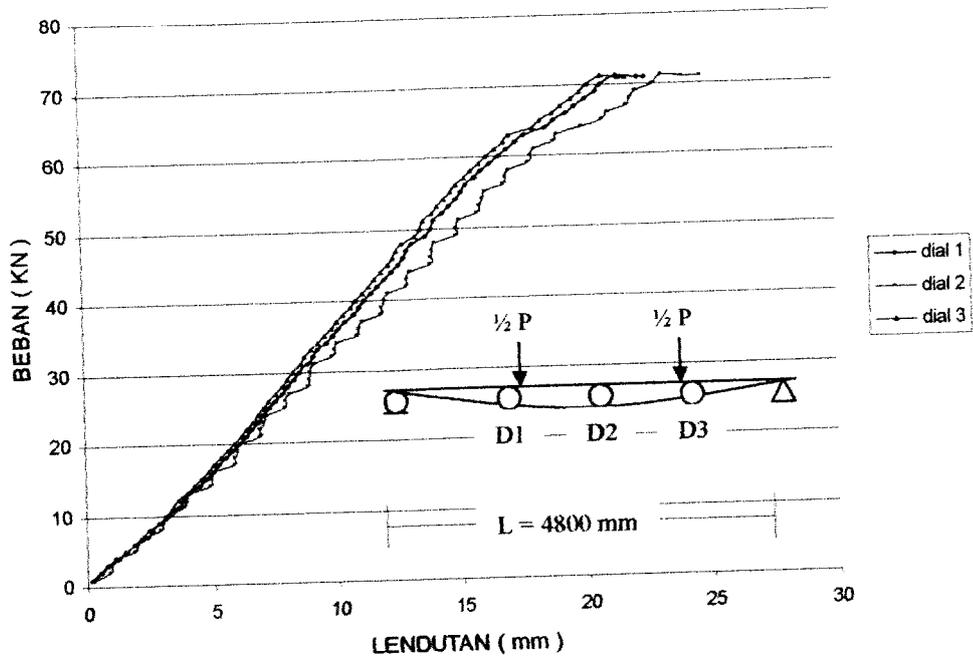
44	44	1189	1296	1166
45	45	1210	1354	1195
46	46	1255	1379	1200
47	47	1274	1389	1224
48	48	1296	1395	1258
49	49	1304	1402	1285
50	50	1325	1469	1302
51	51	1378	1498	1345
52	52	1400	1574	1379
53	53	1448	1578	1401
54	54	1469	1596	1435
55	55	1492	1602	1470
56	56	1510	1669	1482
57	57	1563	1685	1500
58	58	1585	1702	1520
59	59	1605	1732	1560
60	60	1645	1798	1586
61	61	1686	1799	1600
62	62	1702	1870	1669
63	63	1752	1895	1700
64	64	1824	1996	1775
65	65	1865	2065	1800
66	66	1900	2102	1856
67	67	1912	2124	1895
68	68	1954	2178	1902
69	69	1996	2194	1957
70	70	2052	2252	2001
71	71	2102	2300	2056
72	72	2201	2405	2132
73	73	2314	2623	2285
74	74	2410	2785	2368
75	73.5	2524	2865	2496
76	73.5	2617	2952	2481



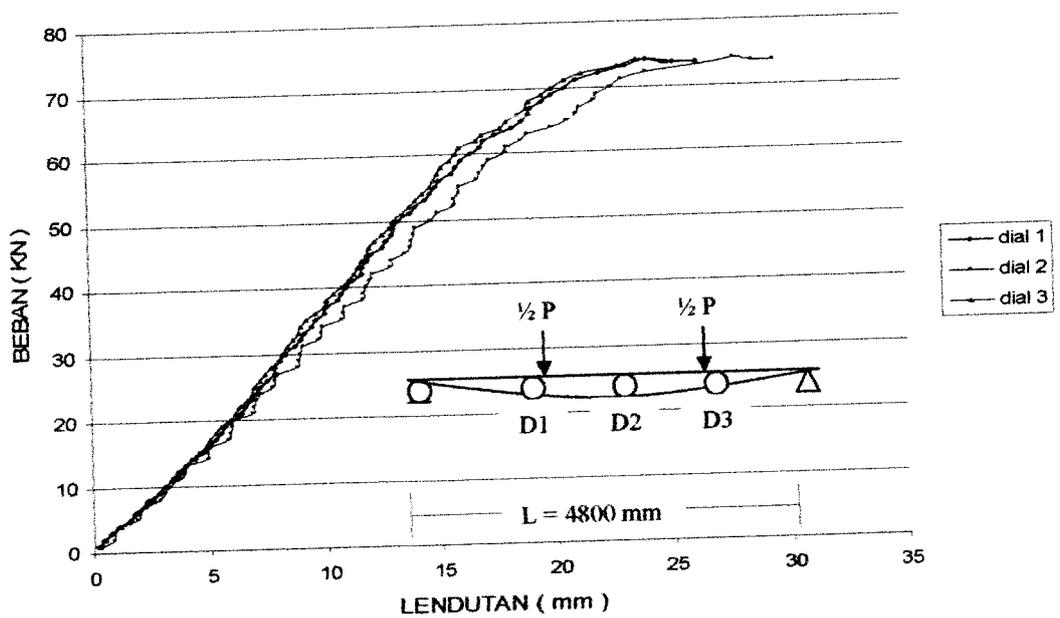
Gambar 5.1 Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar I benda uji 1



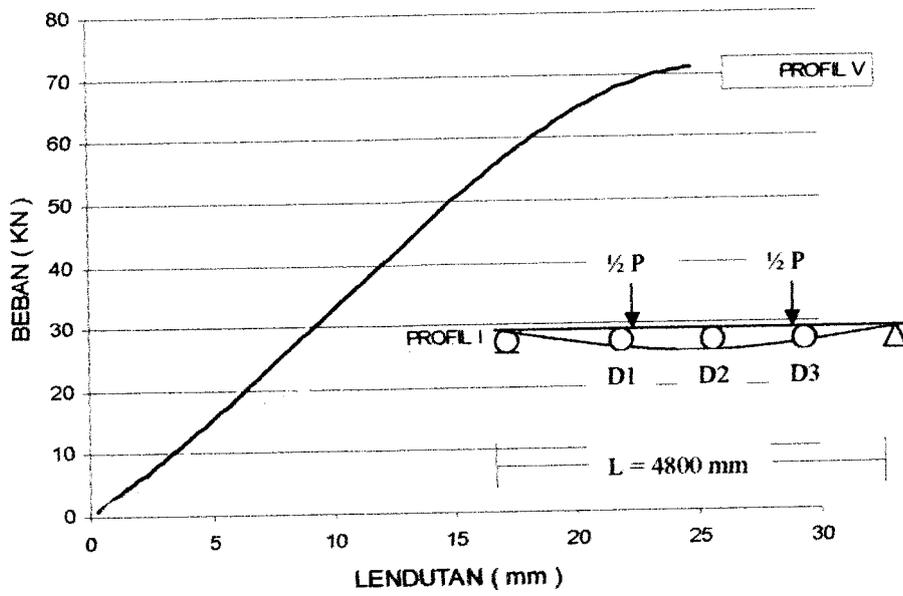
Gambar 5.2 Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar I benda uji 2



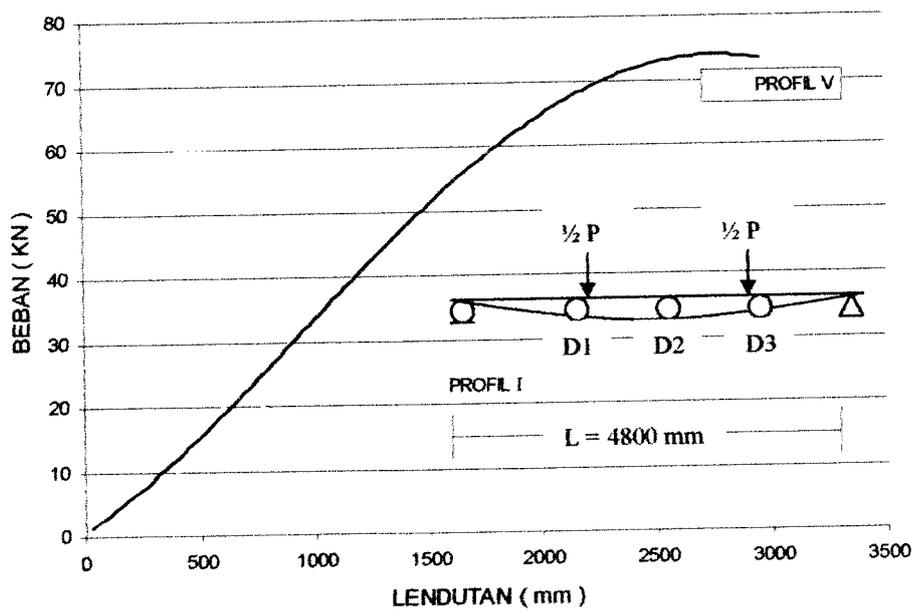
Gambar 5.3 Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar  $\nabla$  benda uji 1



Gambar 5.4 Grafik hubungan Beban-Lendutan Gelagar  $\nabla$  benda uji 2



Gambar 5.5 Grafik Rasio Hubungan Beban Lendutan Gelagar I dan  $\nabla$  benda uji 1



Gambar 5.6 Grafik Rasio Hubungan Beban Lendutan Gelagar I dan  $\nabla$  benda uji 2

# LAMPIRAN 6

# LAMPIRAN G

### Hubungan Momen- Kelengkungan Berdasarkan Pengujian.

Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Hasil Pengujian Profil I Benda Uji 1

NO	BEBAN ( KN )	DEFLEKSI			Momen ( KNmm )	Kelengkungan ( 1 / mm )
		Dial 1	Dial 2	Dial 3		
1	1	35	45	30	800	9.39803E-08
2	2	68	90	66	1600	1.87961E-07
3	3	96	105	98	2400	2.81941E-07
4	4	130	186	132	3200	3.75921E-07
5	5	164	195	166	4000	4.69901E-07
6	6	195	211	200	4800	5.63882E-07
7	7	238	290	241	5600	6.57862E-07
8	8	268	303	270	6400	7.51842E-07
9	9	291	378	295	7200	8.45823E-07
10	10	329	391	332	8000	9.39803E-07
11	11	368	412	371	8800	1.03378E-06
12	12	410	489	415	9600	1.12776E-06
13	13	438	502	450	10400	1.22174E-06
14	14	481	588	495	11200	1.31572E-06
15	15	525	602	540	12000	1.4097E-06
16	16	565	688	580	12800	1.50368E-06
17	17	591	692	608	13600	1.59767E-06
18	18	623	708	642	14400	1.69165E-06
19	19	676	791	698	15200	1.78563E-06
20	20	711	811	732	16000	1.87961E-06
21	21	803	911	812	16800	1.97359E-06
22	21.76	923	1089	860	17408	2.04501E-06
23	22.94	1022	1190	964	18352	2.15591E-06
24	24.92	1120	1289	1068	19936	2.34199E-06
25	25.72	1200	1310	1152	20576	2.41717E-06
26	27.18	1295	1405	1246	21744	2.55438E-06
27	27.07	1335	1490	1345	21656	2.54405E-06

## Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Hasil Pengujian Profil I Benda Uji 2

NO	BEBAN ( KN )	DEFLEKSI			Momen ( KNmm )	Kelengkungan ( 1 / mm )
		Dial 1	Dial 2	Dial 3		
1	1	33	43	38	800	9.39803E-08
2	2	71	93	66	1600	1.87961E-07
3	3	110	110	103	2400	2.81941E-07
4	4	148	185	140	3200	3.75921E-07
5	5	179	195	170	4000	4.69901E-07
6	6	224	280	213	4800	5.63882E-07
7	7	255	290	244	5600	6.57862E-07
8	8	300	310	288	6400	7.51842E-07
9	9	328	390	320	7200	8.45823E-07
10	10	364	399	354	8000	9.39803E-07
11	11	393	412	385	8800	1.03378E-06
12	12	434	495	427	9600	1.12776E-06
13	13	461	500	453	10400	1.22174E-06
14	14	496	517	490	11200	1.31572E-06
15	15	523	591	517	12000	1.4097E-06
16	16	560	605	554	12800	1.50368E-06
17	17	592	626	588	13600	1.59767E-06
18	18	627	696	624	14400	1.69165E-06
19	19	667	714	662	15200	1.78563E-06
20	20	705	790	700	16000	1.87961E-06
21	21	748	810	745	16800	1.97359E-06
22	22	802	896	800	17600	2.06757E-06
23	23	837	910	834	18400	2.16155E-06
24	24	910	1005	908	19200	2.25553E-06
25	25	991	1101	986	20000	2.34951E-06
26	26	1090	1203	1070	20800	2.44349E-06
27	27	1300	1405	1255	21600	2.53747E-06
28	26.92	1590	1610	1440	21536	2.52995E-06
29	26.84	1683	1700	1528	21472	2.52243E-06

Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Hasil Pengujian Profil  $\nabla$  Benda Uji 1

BEBAN ( KN )	DEFLEKSI			Momen ( KNmm )	Kelengkungan ( 1 / mm )
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
1	20	31	24	800	7.30064E-08
2	55	90	50	1600	1.46013E-07
3	84	95	80	2400	2.19019E-07
4	125	115	113	3200	2.92026E-07
5	152	190	156	4000	3.65032E-07
6	186	200	187	4800	4.38039E-07
7	235	223	215	5600	5.11045E-07
8	260	290	242	6400	5.84051E-07
9	286	303	283	7200	6.57058E-07
10	314	325	312	8000	7.30064E-07
11	360	387	340	8800	8.03071E-07
12	386	397	366	9600	8.76077E-07
13	405	415	395	10400	9.49084E-07
14	445	490	425	11200	1.02209E-06
15	471	492	450	12000	1.0951E-06
16	499	505	480	12800	1.1681E-06
17	526	586	505	13600	1.24111E-06
18	554	588	533	14400	1.31412E-06
19	581	601	559	15200	1.38712E-06
20	608	613	588	16000	1.46013E-06
21	635	688	614	16800	1.53314E-06
22	655	691	632	17600	1.60614E-06
23	682	705	660	18400	1.67915E-06
24	705	722	682	19200	1.75215E-06
25	728	788	705	20000	1.82516E-06
26	752	796	729	20800	1.89817E-06
27	782	807	755	21600	1.97117E-06
28	804	888	779	22400	2.04418E-06
29	832	890	805	23200	2.11719E-06
30	848	896	820	24000	2.19019E-06
31	884	916	855	24800	2.2632E-06
32	907	984	875	25600	2.33621E-06
33	930	995	901	26400	2.40921E-06
34	961	1006	928	27200	2.48222E-06
35	989	1089	956	28000	2.55523E-06
36	1015	1092	981	28800	2.62823E-06
37	1042	1106	1006	29600	2.70124E-06
38	1073	1184	1035	30400	2.77424E-06
39	1096	1189	1057	31200	2.84725E-06
40	1118	1198	1081	32000	2.92026E-06
41	1146	1211	1108	32800	2.99326E-06
42	1173	1290	1134	33600	3.06627E-06
43	1198	1294	1158	34400	3.13928E-06

44	1226	1308	1187	35200	3.21228E-06
45	1257	1388	1217	36000	3.28529E-06
46	1276	1390	1236	36800	3.3583E-06
47	1290	1395	1251	37600	3.4313E-06
48	1313	1405	1273	38400	3.50431E-06
49	1370	1490	1328	39200	3.57732E-06
50	1387	1496	1345	40000	3.65032E-06
51	1404	1504	1360	40800	3.72333E-06
52	1434	1582	1392	41600	3.79633E-06
53	1462	1590	1418	42400	3.86934E-06
54	1490	1602	1445	43200	3.94235E-06
55	1512	1613	1470	44000	4.01535E-06
56	1536	1687	1492	44800	4.08836E-06
57	1573	1696	1529	45600	4.16137E-06
58	1600	1710	1555	46400	4.23437E-06
59	1633	1789	1588	47200	4.30738E-06
60	1667	1798	1618	48000	4.38039E-06
61	1702	1815	1652	48800	4.45339E-06
62	1736	1891	1686	49600	4.5264E-06
63	1770	1905	1712	50400	4.59941E-06
64	1857	2002	1804	51200	4.67241E-06
65	1892	2088	1838	52000	4.74542E-06
66	1941	2106	1885	52800	4.81842E-06
67	1976	2187	1917	53600	4.89143E-06
68	2018	2197	1957	54400	4.96444E-06
69	2059	2222	1996	55200	5.03744E-06
70	2082	2288	2020	56000	5.11045E-06
71	2145	2321	2082	56800	5.18346E-06
70.8	2223	2405	2150	56640	5.16886E-06
70.8	2253	2479	2177	56640	5.16886E-06

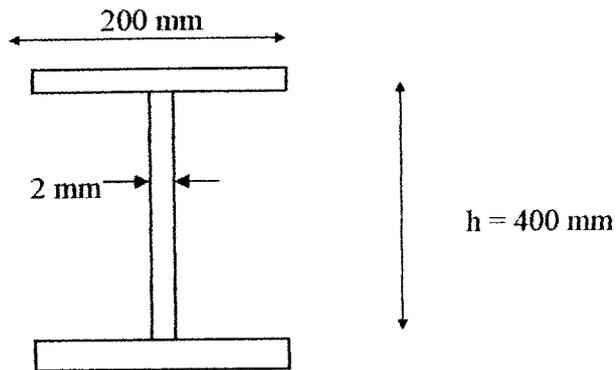
## Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Hasil Pengujian Profil V Benda Uji 2

BEBAN ( KN )	DEFLEKSI			Momen ( KNmm )	Kelengkungan ( 1 / mm )
	Dial 1	Dial 2	Dial 3		
1	18	29	21	800	7.30064E-08
2	42	86	45	1600	1.46013E-07
3	75	90	78	2400	2.19019E-07
4	110	115	113	3200	2.92026E-07
5	152	186	157	4000	3.65032E-07
6	186	196	175	4800	4.38039E-07
7	221	222	214	5600	5.11045E-07
8	256	284	231	6400	5.84051E-07
9	280	300	281	7200	6.57058E-07
10	302	320	312	8000	7.30064E-07
11	354	372	332	8800	8.03071E-07
12	379	390	360	9600	8.76077E-07
13	395	402	394	10400	9.49084E-07
14	435	489	415	11200	1.02209E-06
15	462	490	448	12000	1.0951E-06
16	487	502	478	12800	1.1681E-06
17	521	577	496	13600	1.24111E-06
18	550	584	520	14400	1.31412E-06
19	561	598	550	15200	1.38712E-06
20	596	604	588	16000	1.46013E-06
21	635	688	614	16800	1.53314E-06
22	650	690	631	17600	1.60614E-06
23	679	701	659	18400	1.67915E-06
24	700	716	682	19200	1.75215E-06
25	715	774	692	20000	1.82516E-06
26	749	784	720	20800	1.89817E-06
27	782	799	746	21600	1.97117E-06
28	786	884	765	22400	2.04418E-06
29	804	887	796	23200	2.11719E-06
30	830	896	812	24000	2.19019E-06
31	875	902	844	24800	2.2632E-06
32	900	980	862	25600	2.33621E-06
33	916	990	893	26400	2.40921E-06
34	947	995	896	27200	2.48222E-06
35	965	1079	924	28000	2.55523E-06
36	1002	1087	965	28800	2.62823E-06
37	1013	1096	1002	29600	2.70124E-06
38	1064	1165	1014	30400	2.77424E-06
39	1078	1175	1048	31200	2.84725E-06
40	1102	1180	1078	32000	2.92026E-06
41	1124	1198	1108	32800	2.99326E-06

42	1163	1212	1132	33600	3.06627E-06
43	1170	1286	1147	34400	3.13928E-06
44	1189	1296	1166	35200	3.21228E-06
45	1210	1354	1195	36000	3.28529E-06
46	1255	1379	1200	36800	3.3583E-06
47	1274	1389	1224	37600	3.4313E-06
48	1296	1395	1258	38400	3.50431E-06
49	1304	1402	1285	39200	3.57732E-06
50	1325	1469	1302	40000	3.65032E-06
51	1378	1498	1345	40800	3.72333E-06
52	1400	1574	1379	41600	3.79633E-06
53	1448	1578	1401	42400	3.86934E-06
54	1469	1596	1435	43200	3.94235E-06
55	1492	1602	1470	44000	4.01535E-06
56	1510	1669	1482	44800	4.08836E-06
57	1563	1685	1500	45600	4.16137E-06
58	1585	1702	1520	46400	4.23437E-06
59	1605	1732	1560	47200	4.30738E-06
60	1645	1798	1586	48000	4.38039E-06
61	1686	1799	1600	48800	4.45339E-06
62	1702	1870	1669	49600	4.5264E-06
63	1752	1895	1700	50400	4.59941E-06
64	1824	1996	1775	51200	4.67241E-06
65	1865	2065	1800	52000	4.74542E-06
66	1900	2102	1856	52800	4.81842E-06
67	1912	2124	1895	53600	4.89143E-06
68	1954	2178	1902	54400	4.96444E-06
69	1996	2194	1957	55200	5.03744E-06
70	2052	2252	2001	56000	5.11045E-06
71	2102	2300	2056	56800	5.18346E-06
72	2201	2405	2132	57600	5.25646E-06
73	2314	2623	2285	58400	5.32947E-06
74	2410	2785	2368	59200	5.40248E-06
73.5	2524	2865	2496	58800	5.36597E-06
73.5	2617	2952	2481	58800	5.36597E-06

**Perhitungan Momen (m) dengan Kelengkungan ( $\phi$ ) secara Teoritis pada**

**Kondisi Elastis.**



**Profil I ( 1 & 2 )**

Kondisi elastis.

$$M = Fcr \cdot \frac{1}{6} b \cdot h^2 = Fcr \cdot S_x \text{ profil}$$

$$Fcr = 7,675 \text{ Mpa} < Fy = 240 \text{ Mpa} \quad S_x \text{ profil} = 212810,5611 \text{ mm}^3$$

$$M = 7,675 \cdot 212810,5611 = 1633233,805 \text{ Nmm}$$

$$= 1633,2338 \text{ kNmm}$$

nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{7,675}{200000} = 3,8373 \cdot 10^{-5}$$

nilai kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{3,8373 \cdot 10^{-5}}{400/2} = 1,9186 \cdot 10^{-7} \text{ 1/mm}$$

**Profil ▽ ( 1 & 2 )**

Kondisi elastis.

$$M = Fcr \cdot \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = Fcr \cdot S_{x \text{ profil}}$$

$$Fcr = 72,231 \text{ Mpa} < Fy = 240 \text{ Mpa} \quad S_{x \text{ profil}} = 282293,97 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M &= 72,231 \cdot 282293,97 = 20390375,75 \text{ Nmm} \\ &= 20390,376 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{72,231}{200000} = 3,6115510^{-4}$$

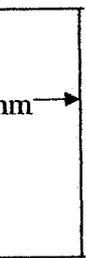
nilai kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{3,61155 \cdot 10^{-4}}{226,8/2} = 3,18478 \cdot 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

an Ra:

Profil

200



2

eoritis

0,0005

0,0005

4985

enguja

rpenguj

$F_y.S$

$$\frac{1,2}{10} = ($$

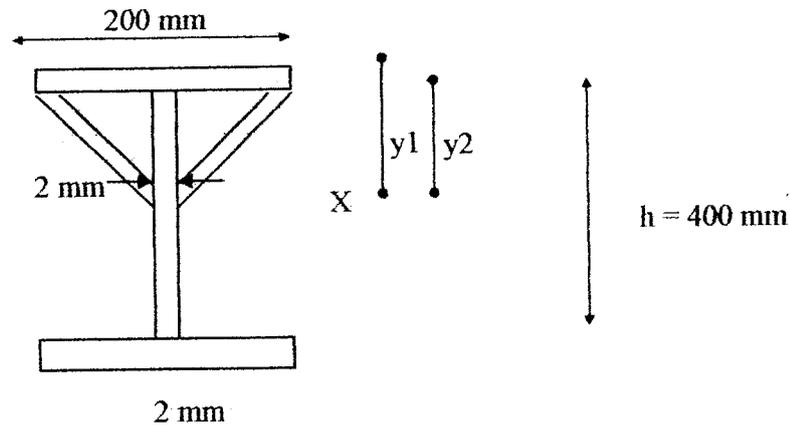
enguja

rpenguj

$F_y.S$

$$\frac{1,5}{10} = ($$

# LAMPIRAN 7

**Benda uji Profil ▽**

- **Teoritis**

$$\frac{Mn}{My} = \left[ 1 - 0,0005 \frac{Aw}{Af} \left( \frac{h}{tw} - \frac{970}{\sqrt{Fcr}} \right) \right]$$

$$\frac{Mn}{My} = \left[ 1 - 0,0005 \frac{(453,6)}{(1946)} \left( \frac{226,8}{2} - \frac{970}{\sqrt{72,231}} \right) \right]$$

$$\frac{Mn}{My} = 1$$

- **Pengujian Benda Uji 1**

$$\frac{Mn}{My} = \frac{Fcr_{pengujian} \cdot S_{x_{profil}}}{Fy \cdot S_{x_{profil}}}$$

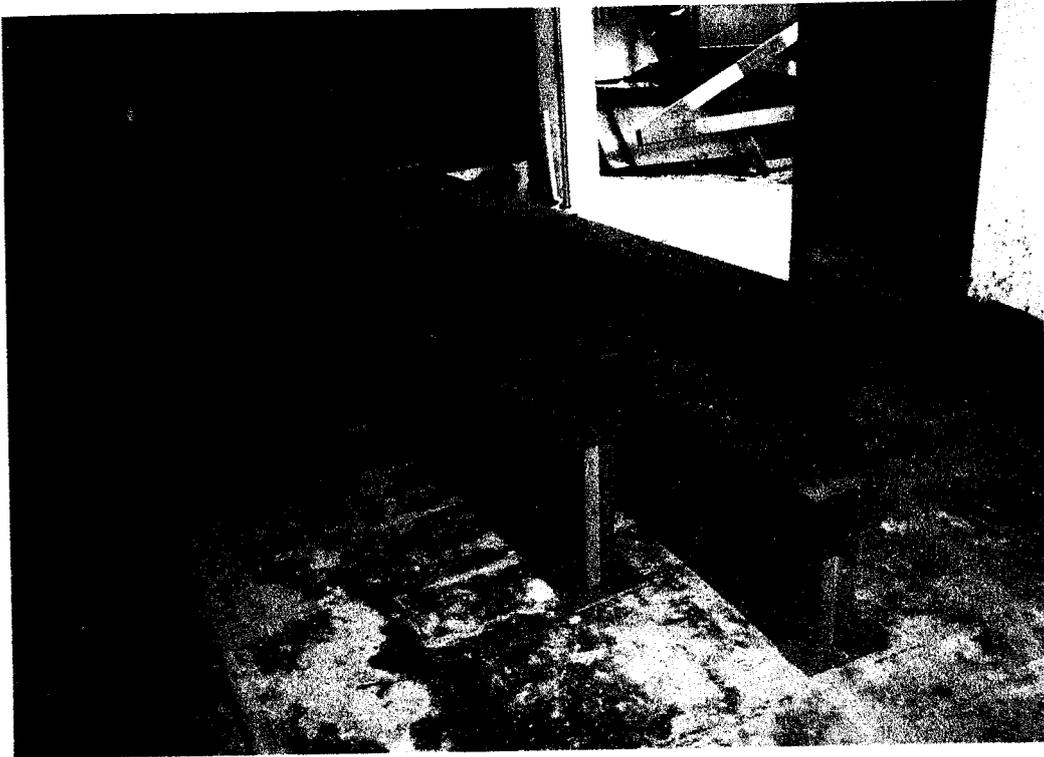
$$\frac{Mn}{My} = \frac{201,208}{240} = 0,8384$$

- **Pengujian Benda Uji 2**

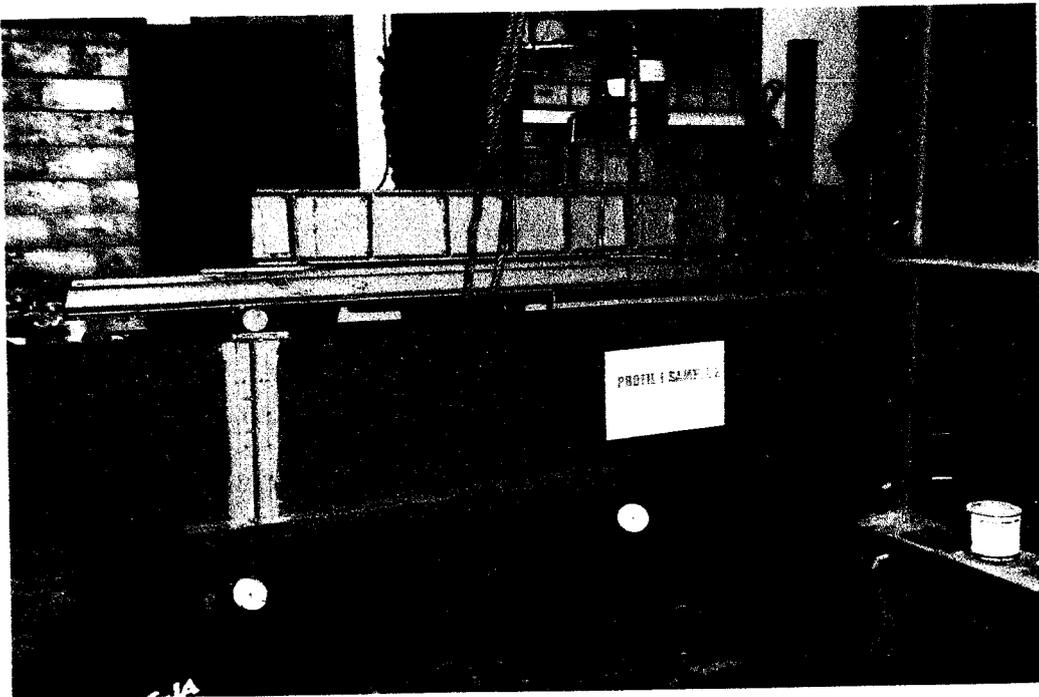
$$\frac{Mn}{My} = \frac{Fcr_{pengujian} \cdot S_{x_{profil}}}{Fy \cdot S_{x_{profil}}}$$

$$\frac{Mn}{My} = \frac{209,710}{240} = 0,8738$$

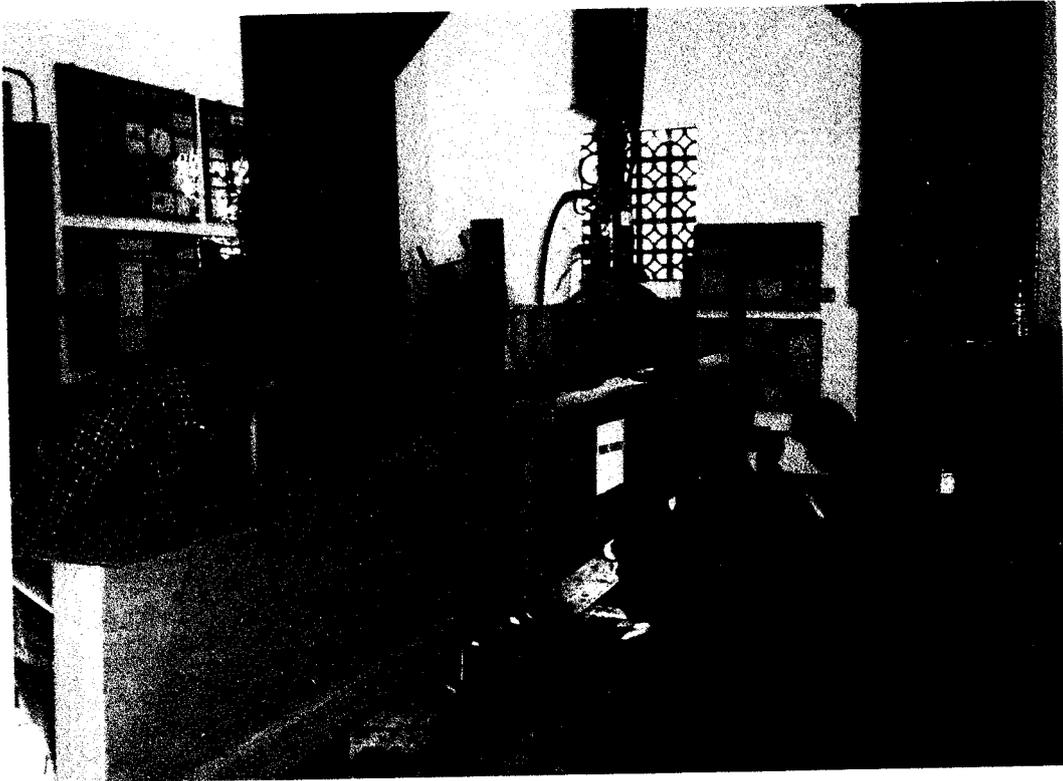
# LAMPIRAN 8



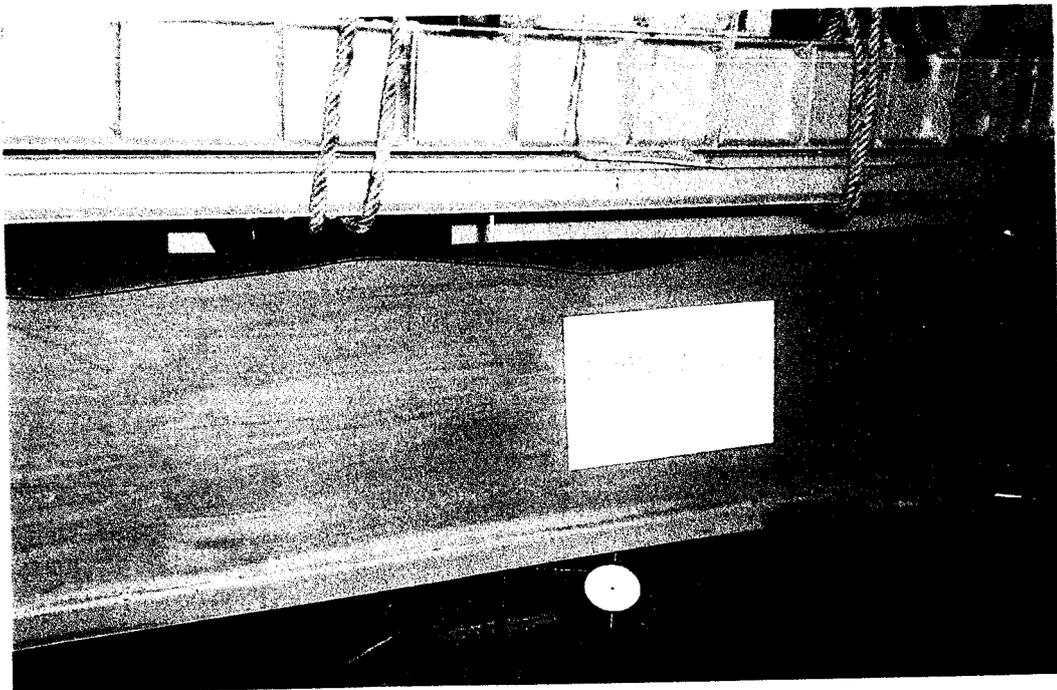
1. Benda Uji sebelum dilakukan pengujian



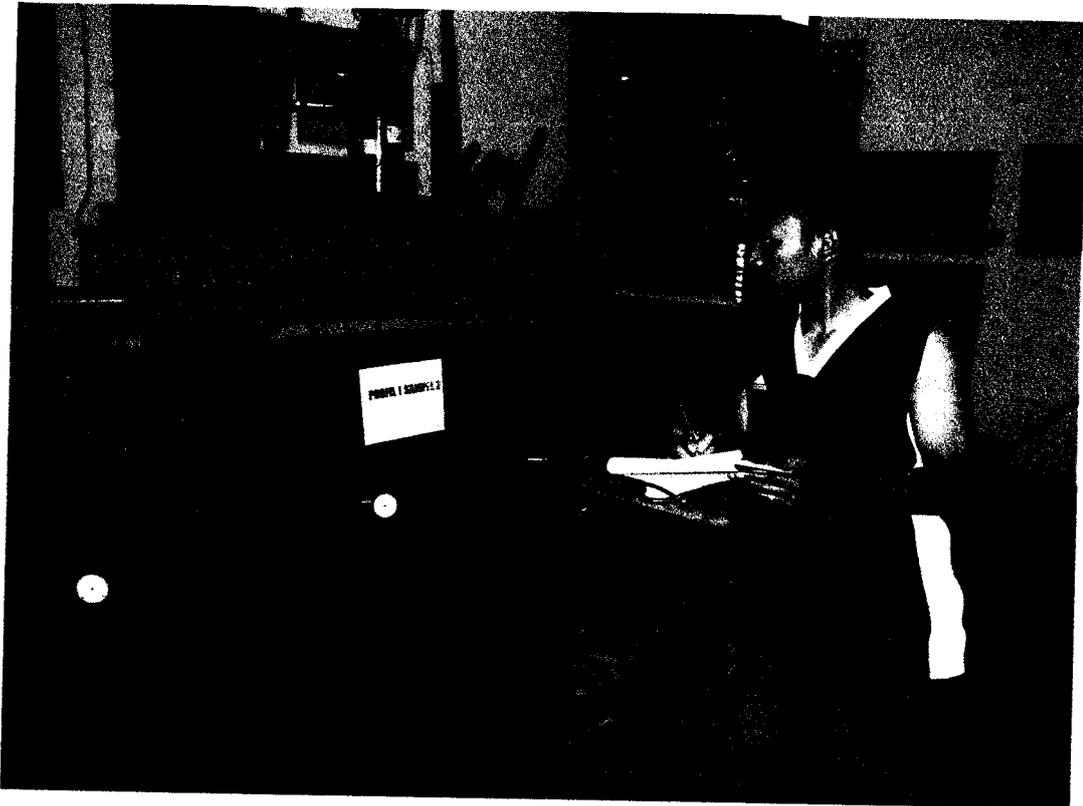
2. Pengesetan benda uji sebelum dilakukan pengujian



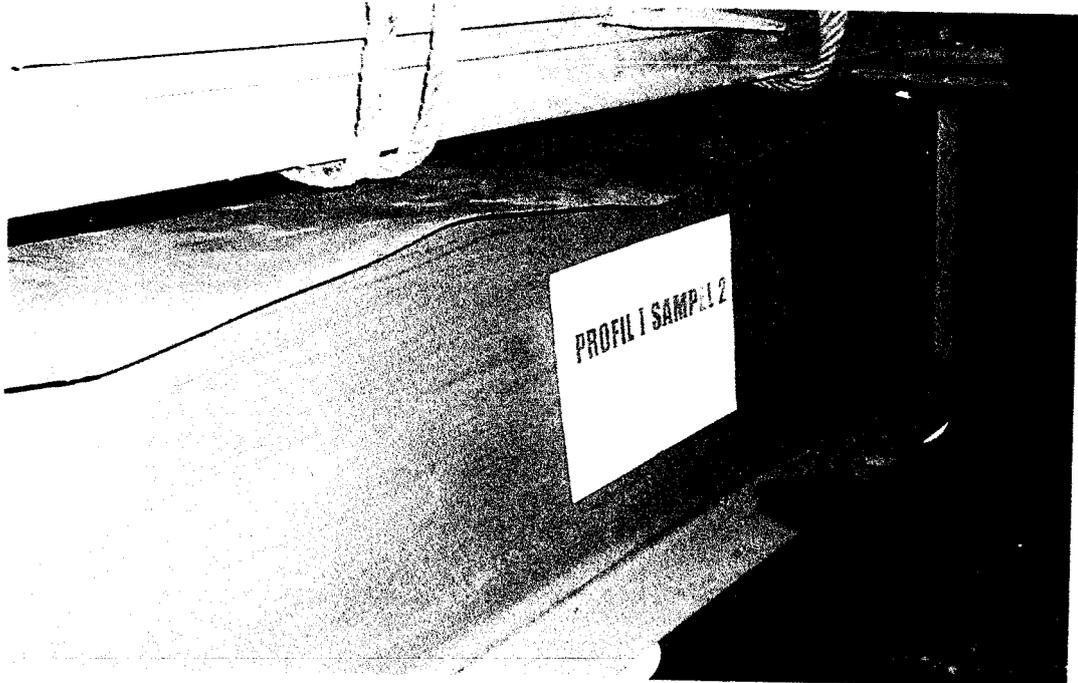
3. Pengesetan benda uji sebelum dilakukan pengujian



4. Pengujian lentur benda uji



5. Pengujian lentur benda uji



6. Kerusakan yang terjadi pada benda uji