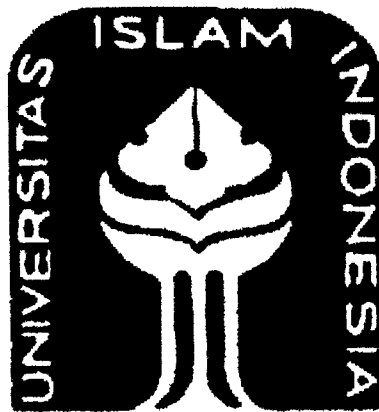


PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HABIS/BELI	
TGL. TERIMA :	16 Februari 2007
NO. JUDUL :	08 2163
NO. INV. :	620002163001
NO. INDIK. :	

TUGAS AKHIR

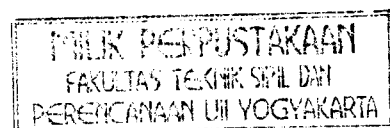
**KAPASITAS LENTUR BALOK SUSUN PROFIL  
BENTUKAN DINGIN MEMIKUL BEBAN EKSENTRIS  
(PENELITIAN LABORATORIUM)**



Di susun oleh :

1. Nama : Rendra Wirahadi Surya  
No. Mhs : 98 511 127
2. Nama : Ari Retissu  
No. Mhs : 99 511 050

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



**TUGAS AKHIR  
PENELITIAN LABORATORIM**

**KAPASITAS LENTUR BALOK SUSUN PROFIL BENTUKAN  
DINGIN MEMIKUL BEBAN EKSENTRIS**

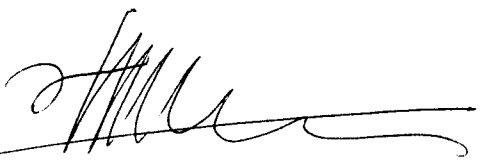
disusun oleh :

**BENDRA WIRAJADI SURYA**  
No Mhs : 98 511 127


**ARI REFESSU**  
No Mhs : 99 511 050

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Ir. Fatkhurrohman N.S, MT.**  
Dosen pembimbing I

  
Tanggal : 11/05-2006

**Ir. H. Suharyatmo, MT.**  
Dosen pembimbing II

  
Tanggal : 11/05.2006

## PRAKATA



*Assalamu'alaikum Wr. Wb*

Syukur alhamdulillah kehadiran Allah SWT Sang Pencipta, Pemelihara, Pembimbing bagi seluruh makhluk-Nya yang telah melimpahkan rahmat kasih sayang seiring taufiq dan hidayah-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Muhammad SAW tauladan dan pembawa risalah pencerahan bagi kehidupan kita.

Tugas Akhir ini disusun sebagai persyaratan untuk menyelesaikan jenjang starata satu (S1) di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Jogjakarta. Dalam Tugas Akhir ini yang berjudul KAPASITAS LENTUR BALOK SUSUN PROFIL BENTUKAN DINGIN MEMIKUL BEBAN EKSENTRIS, dengan variasi nilai eksentrisitas, merupakan penelitian laboratorium dan telah kami usahakan dengan segenap kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki, berdasarkan pada buku-buku referensi dan pedoman yang ada. Mengingat keterbatasan yang ada, disadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna sehingga diperlukan kritik dan saran yang bermanfaat untuk kesempurnaan Tugas Akhir.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini telah banyak diperoleh bantuan bimbingan dan petunjuk dari berbagai pihak, baik moral maupun materiil. Untuk itu kami ucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada :

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

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

“ Sesungguhnya bersama kesukaran pasti ada kemudahan. Karena itu bila selesai suatu tugas mulailah dengan yang lain dengan sungguh-sungguh. Hanya kepada Tuhanmu hendaknya kau berharap”.(QS. Asy Syarh : 94)

### **PERSEMBAHAN**

Tugas akhir ini kami persembahkan buat :

1. Ibu Bapak yang tercinta
2. Nenek Kakek yang tercinta
3. Kekasihku tersayang
4. Adik-adiku tersayang
5. Teman-teman dekatku terkasih
6. Para pembaca sekalian

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAKSI.....	xv
<b>BAB I      PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	4

<b>BAB II</b>	<b>TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
	.....	6
<b>BAB III</b>	<b>LANDASAN TEORI.....</b>	<b>7</b>
	3.1 Tegangan Lentur.....	10
	3.2 Tegangan Geser.....	10
	3.2.1 Tegangan Geser Akibat Lentur.....	11
	3.2.2 Tegangan Geser Akibat Puntir.....	11
	3.3 Tegangan Interaksi.....	12
	3.3.1 Tegangan Interaksi Menurut Tresca.....	12
	3.3.2 Tegangan Interaksi Menurut Von Misses.....	12
	3.3.3 Perhitungan Beban Teoritis.....	13
	3.4 Tegangan Kritis Bahan Pada Tekuk Lokal.....	14
	3.4.1 Koefisien tekuk Lokal.....	14
	3.4.2 Tegangan Rerata .....	15
	3.4.3 Sudut Puntir.....	15
	3.4.4 Momen Kritis Elastis.....	16
	3.5 Tegangan Kritis Bahan Pada Tekuk Lateral.....	16
	3.6 Hubungan Beban Lendutan.....	17
	3.7 Hipotesa.....	22
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>
	4.1 Tinjauan Umum.....	24

	4.2 Persiapan Bahan dan Alat.....	24
	4.2.1 Bahan.....	24
	4.2.2 Peralatan Penelitian.....	24
	4.3 Model Benda Uji.....	27
	4.4 Pembuatan Benda Uji.....	28
	4.5 Pengujian Benda Uji.....	29
	4.5.1 Pengujian Kuat Lentur.....	29
<b>BAB V</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
	5.1 Hasil pengujian Lentur Balok Susun Bentuk Kotak .....	31
	5.2 Hubungan Beban Lentutan Hasil Pengujian.....	31
	5.3 Perbandingan Hubungan Beban-Lentutan Teoritis dan Pengujian.....	34
	5.3.1 Analisis Data Hubungan Beban-Lentutan.....	37
	5.4 Analisis Kerusakan Pada Benda Uji.....	38
	5.5 Pembahasan.....	39
	5.5.1 Kekuatan Lentur Balok Berdasarkan Hubung-an Beban-Lentutan.....	38
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>40</b>
	6.1 Kesimpulan.....	40
	6.2 Saran.....	41

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3.1** Elemen gelagar batang susun bentuk kotak
- Gambar 3.2** Distribusi tegangan pada berbagai tahap pembebanan
- Gambar 3.3** Potongan balok melintang bentuk kotak
- Gambar 3.4** Lintasan geser
- Gambar 3.5** Lendutan beban titik pada  $1/3$  dan  $1/2$  bentang
- Gambar 3.6** Grafik hubungan beban - lendutan
- Gambar 4.1** Loading frame
- Gambar 4.2** Dial gauge
- Gambar 4.3** Hidraulick jack
- Gambar 4.4** Detail dukungan penampang benda uji
- Gambar 4.5** Metode perletakan benda uji
- Gambar 4.6** Detail model benda uji
- Gambar 4.7** Model pembebanan
- Gambar 5.1** Grafik hubungan beban-lendutan benda uji
- Gambar 5.2** Grafik hubungan eksentrisitas-beban maksimum
- Gambar 5.3** Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis benda uji 1 (  $e = 0$  mm )



**Gambar 5.4** Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis benda uji 2 (  $e = 30$  mm )

**Gambar 5.5** Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis benda uji 3 (  $e = 60$  mm )

**Gambar 5.6** Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis benda uji 4 (  $e = 90$  mm )

**Gambar 5.7** Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis benda uji 5 (  $e = 120$  mm )

**Gambar 5.8** Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis benda uji 6 (  $e = 150$  mm )

## DAFTAR TABEL

**TABEL 5.1** Eksentrisitas dan beban maksimum

**TABEL 5.2** Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan

## DAFTAR NOTASI

$P$	= Beban
$e$	= Eksentrisitas
$H$	= Tinggi profil
$b$	= Lebar profil
$L$	= Panjang bentang
$M_0$	= Momen lentur
$I$	= Momen Inersia
$y$	= Tinggi profil
$\sigma$	= Tegangan lentur
$\tau$	= Tegangan geser
$f_{v1}$	= Tegangan geser akibat lentur
$f_{v2}$	= Tegangan geser akibat puntir
$V$	= Gaya geser
$Q$	= Momen statis
$J$	= Konstanta puntir
$\sigma_{id}$	= Tegangan interaksi
$F_{cr}$	= Tegangan kritis bahan pada tekuk lokal
$k$	= Koefisien tekuk lokal

$\mu$  = Angka poisson

$\overline{\sigma}_l$  = Tegangan rerata yang terjadi pada sayap tekan ketika tekuk lokal terjadi

$\phi$  = Sudut puntir

$e_w$  = Jarak antara pusat geser dan sumbu bahan

$c_w$  = Jarak antara modulus geser dan sumbu bahan

$l$  = Jarak lateral tanpa dukungan

$M_{cr}$  = Momen kritis elastis

$e_x$  = Jarak antara pusat pembebanan dan pusat berat arah sumbu x

$e_y$  = Jarak antara pusat pembebanan dan pusat berat arah sumbu y

$\beta_x$  = Konstanta profil monosimetri

E = Modulus elastisitas

T = Konstanta pilin

G = Modulus elastis geser

L = Panjang bentang

$\Phi$  = Kelengkungan

$\varepsilon$  = Regangan

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** = Kartu Peserta Tugas Akhir
- Lampiran 2** = Perhitungan Kuat Tarik Baja dan Kuat Geser Las
- Lampiran 3** = Hubungan Beban-Lendutan Pengujian
- Lampiran 4** = Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk Lokal ( $k$ )
- Lampiran 5** = Perhitungan Beban Teoritis (  $P$  teoritis )
- Lampiran 6** = Foto Pelaksanaan Pengujian Benda Uji

## **INTISARI**

*Balok susun bentuk kotak dari profil kanal bentukan dingin merupakan inovasi yang di lakukan untuk meningkatkan kemampuan profil memikul beban yang tidak terlalu besar, karena profil kanal bentukan dingin memiliki rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ) yang tinggi, sehingga mengakibatkan tegangan kritisnya menjadi kecil, hal ini dapat mengakibatkan terjadinya tekuk lokal pada sayap maupun tekuk lokal pada badan, dan pada penelitian ini di ujikan dengan pembebanan eksentris, dan akan dilihat apakah akan berpengaruh terhadap tegangan kritis profil. Penelitian laboratorium yang dilakukan merupakan usaha untuk mengetahui kapasitas lentur dari balok susun profil kanal bentukan dingin yang dapat dilihat dari hubungan 'beban dengan lendutan' ( $P/\Delta$ ) dan hubungan 'momen dengan eksentrisitas' ( $M/e$ ) dari hubungan tersebut akan didapatkan nilai kekakuan dari profil susun.*

*Dari pengujian menunjukan bahwa kapasitas lentur balok susun profil bentuk kotak kemampuan menahan bebannya semakin berkurang seiring dengan bertambahnya nilai eksentrisitas, dapat dilihat yaitu pada sampel 1 dengan nilai eksentrisitasnya 0 mm, beban maksimumnya sebesar 42,315 KN. Sedangkan pada sampel 2, dengan nilai eksentrisitasnya 30 mm, beban maksimumnya sebesar 40,9 KN. Sedangkan nilai kekakuan maksimum terjadi pada benda uji 4 ( $e = 120\text{mm}$ ) dari tinjauan hubungan beban-lendutan yaitu sebesar 1KN/mm dan dengan kekakuan rata-rata sebesar 0,829 KN/mm.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam perencanaan komponen struktur yang memikul momen atau beban transversal, khususnya balok, kondisi pembebanan pada umumnya sentris, yaitu melalui pusat geser (*shear centre*), namun kondisi beban tidak selalu melalui pusat geser, sehingga terjadi eksentrisitas yang menyebabkan lentur dan puntir sehingga timbul tegangan interaksi yaitu gabungan antara geser lentur dan geser puntir sehingga akan mengurangi kapasitas lentur, pemakaian profil yang tepat menjadi pertimbangan untuk efisiensi dalam memikul gaya puntir. Penampang lingkaran dan kotak (*boks*) baik untuk menahan torsi.

Profil kanal/(kanal) bentukan dingin pada saat diberi pembebanan sangat peka terhadap tekuk, baik berupa tekuk lokal pada sayap maupun tekuk lokal pada badan, karena perbandingan antara tinggi dan tebal ( $h/t$ ) yang besar. Pada profil kanal susun bentuk kotak (*front to front*) yang memikul beban eksentris akan timbul momen lentur dan momen puntir yang akan menyebabkan terjadinya tegangan lentur, tegangan geser akibat lentur dan tegangan geser akibat puntir yang akan berpengaruh terhadap kapasitas lentur balok susun profil.

Keterbatasan bentuk dan ukuran profil baja bentukan dingin di pasaran menjadi alasan profil baja bentukan dingin hanya digunakan untuk struktur lentur batang pendek atau yang memikul momen kecil pada struktur bangunan gedung.

Pada struktur lentur bentang panjang pemakaian profil baja bentukan dingin, inovasi harus dilakukan dengan menggunakan 'profil tersusun'.

Oleh karena itu maka diadakan penelitian, terhadap balok susun profil kanal baja bentukan dingin bentuk kotak, untuk mengetahui kapasitas lentur balok susun tersebut apabila memikul beban eksentris . Sehingga dapat diketahui kapasitas lentur dan perilakunya akibat pembebanan eksentris.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Penggunaan balok susun profil kanal bentukan dingin (front to front) bentuk kotak dalam struktur bangunan, pada umumnya memikul beban sentris, sesuai dengan kebutuhan bentuk dan desain struktur terkadang di temui kondisi pembebanan yang eksentris, maka timbul gaya selain gaya lentur yang perlu diperhitungkan, karena akan berpengaruh terhadap kapasitas lentur dan perilaku balok susun profil bentuk kotak.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian dilakukan untuk mengetahui kapasitas lentur dan perilaku struktur lentur balok susun profil bentukan dingin dengan pembebanan eksentris, dengan variasi eksentrisitas dan pembebanan bertahap, yaitu :

1. Memperoleh hubungan beban ( $P$ ) dengan lendutan ( $\Delta$ ) pengujian dan teoritis balok susun kotak bentukan dingin
2. Memperoleh nilai koefisien tekuk pelat ( $k$ ) dari bentuk profil yang bervariasi



3. Memperoleh nilai beban teoritis ( $P_{teoritis}$ ) balok susun kotak bentukan dingin.
4. Memperoleh hubungan eksentrisitas ( $e$ ) dengan beban maksimum ( $P_{maks}$ )

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui :

1. Kapasitas lentur balok susun profil kanal bentukan dingin memikul beban eksentris
2. Sebagai salah satu pertimbangan dalam perencanaan suatu bangunan struktur baja apabila menggunakan batang susun bentuk kotak bentukan dingin memikul beban eksentris.
3. Memberikan masukan kepada para pembaca sebagai pengetahuan yang bermanfaat untuk bangunan struktur baja.

#### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir pada penelitian kuat lentur balok susun kotak dari profil bentukan dingin memikul beban eksentris adalah sebagai berikut ini,

1. Baja yang digunakan untuk penelitian adalah batang susun bentuk kotak (*Front to Front*) dengan menggunakan profil kanal C 125 x 36,5 x 2

2. Pengujiannya hanya pada kapasitas lentur batang susun dengan pembebanan eksentris secara bertahap dan eksentrisitas yang bervariasi. Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 6 sampel ( $e = 0 \text{ mm}$  ;  $e = 30 \text{ mm}$  ;  $e = 60 \text{ mm}$  ;  $e = 90 \text{ mm}$  ;  $e = 120 \text{ mm}$  ; dan  $e = 150 \text{ mm}$ )
3. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung las dan mutu baja yang digunakan adalah baja dengan tegangan leleh,  $F_y = 285 \text{ MPa}$
4. Bentang batang susun bentuk kotak (L) konstan yaitu: 3000 mm
5. Metode pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode 4 titik pembebanan.
6. Dukungan yang digunakan adalah jepit-jepit.

### **1.6 Lokasi Penelitian**

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

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Balok tersusun terdiri dari elemen-elemen pelat, sehingga koefisien kekakuannya didasarkan pada angka kelangsingan ( $b/t$ ). Disamping itu juga dipengaruhi oleh kondisi dari tumpuan tepinya yaitu tumpuan jepit, tumpuan sederhana, dan tumpuan bebas. (Salmon dan Johnson, 1990)

Tegangan Interaksi merupakan penggabungan antara tegangan lentur dan tegangan geser yang bekerja bersamaan akibat pembebanan eksentris dengan menggunakan formula *Von Misses* atau *Tresca* (Ugural, 1991)

Tegangan lentur yang terjadi pada penampang struktur yang memikul beban lentur dipengaruhi oleh momen lentur, tinggi profil berbanding dengan momen inersia (Salmon dan Johnson, 1990)

Bila batang yang tidak berpenampang lingkaran dipuntir, penampang transversal yang datar sebelum terpuntir menjadi tidak rata setelah terpuntir. Permukaan penampang lintang yang semula datar menjadi permukaan yang berkeluk (Gere dan Timoshenko, 1972)

Tegangan geser merupakan penjumlahan dari tegangan geser akibat lentur yang disebabkan oleh momen lentur dan tegangan geser akibat puntir yang disebabkan oleh momen puntir (Salmon dan Johnson, 1990)

Pada kondisi pembebanan dengan nilai eksentrisitas yang besar akan mengakibatkan pengaruh tegangan geser akibat puntir akan lebih dominan dari

pada tegangan geser akibat lentur terhadap tegangan geser yang terjadi (**Salmon dan Johnson, 1990**)

Tekuk lokal dipengaruhi oleh nilai  $b/t$  bila nilai  $b/t$  rendah, pengerasan regangan dapat tercapai tanpa mengalami tekuk, sedang untuk harga  $b/t$  menengah, tegangan sisa dan ketidaksempurnaan menyebabkan tekuk tak elastis atau masa transisi dan untuk  $b/t$  besar maka akan melampaui kekuatan tekuk yakni pelat itu akan menunjukkan terjadinya kekuatan pasca tekuk. (**Salmon dan Johnson, 1990**)

Tidak seperti batang bukan melingkar yang padat, maka tabung ber dinding tipis dari bentuk apa pun dapat dianalisis secara lebih sederhana untuk mendapatkan besaran tegangan geser dan sudut pelintir yang disebabkan oleh momen puntir pada tabung tersebut (**Popov, 1978**)

Tegangan kritis pada gelagar dipengaruhi oleh nilai koefisien tekuk pelat ( $k$ ), modulus elastis bahan ( $E$ ) dan rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/tw$ ). (**Salmon dan Johnson, 1990**)

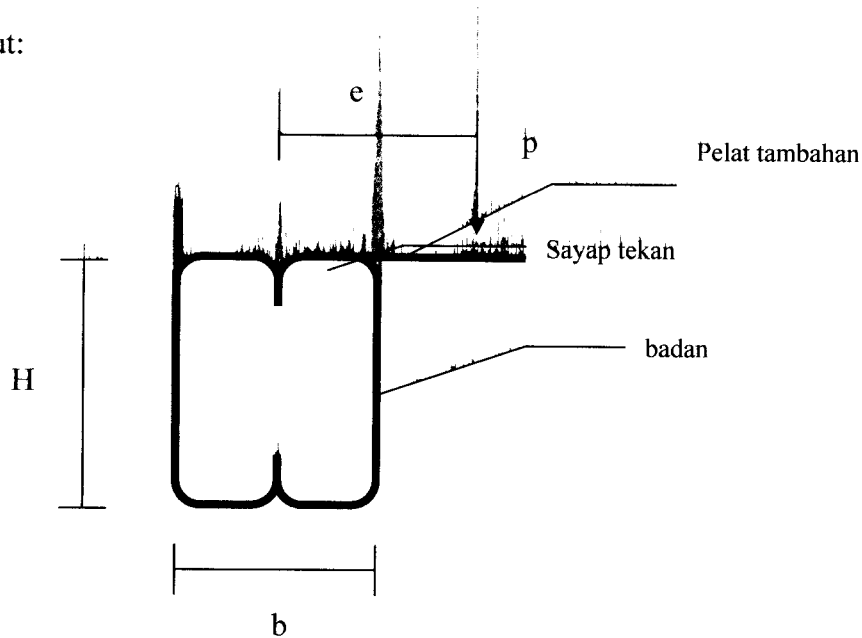
Tegangan geser puntir yang terjadi berbanding lurus dengan momen puntir dan jarak serta berbanding terbalik dengan inersia polar, dengan begitu maka semakin besar momen puntir yang terjadi maka tegangan geser puntir yang terjadi akan semakin besar (**Salmon dan Johnson, 1990**)

Balok dengan pembebanan secara eksentrisitas sangat dipengaruhi oleh perletakan pusat gesernya dan teori yang dipakai berdasarkan teori penghitungan lentur dan puntir (**Mc Grawhill, 1979**)

### BAB III

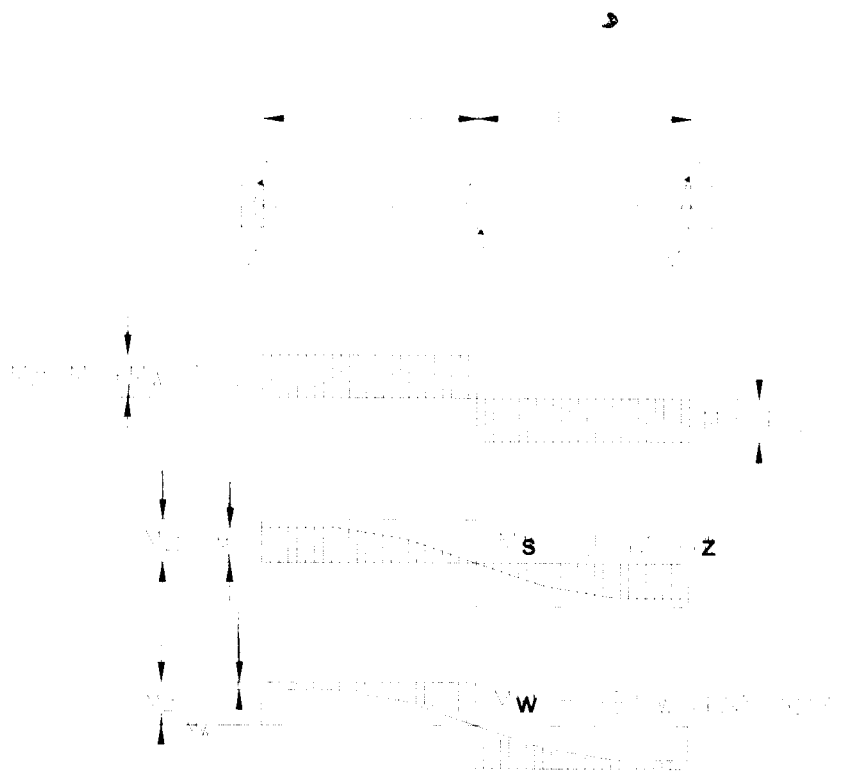
#### LANDASAN TEORI

Secara umum pelat dapat digolongkan menjadi dua yaitu elemen pelat yang diperkuat yaitu elemen yang bertumpu pada dua tepi yang sejajar arah tegangan tekan dan elemen pelat yang tidak diperkuat yaitu elemen yang bertumpu pada satu tepi dan bebas ditepi yang lain yang sejajar arah tegangan tekan. Adapun elemen-elemen gelagar bentuk kotak dapat digambarkan sebagai berikut:



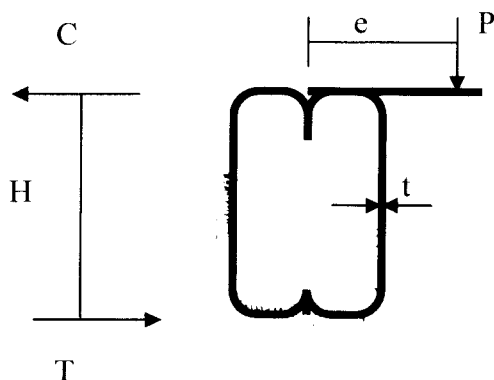
**Gambar 3.1** Elemen gelagar batang susun bentuk kotak

Balok susun bentuk kotak bentukan dingin menahan beban eksentris akan menghasilkan momen lentur sekaligus momen puntir, dengan begitu momen yang bekerja pada profil merupakan gabungan momen lentur dan momen puntir.



- (a) Distribusi momen puntir total,  $M_z = M_s + M_w$ , yang menimbulkan geser pada sayap
- (b) Distribusi bagian momen puntir  $M_s$  akibat puntir Saint-Venant (puntir murni)
- (c) Distribusi bagian momen puntir  $M_w$  akibat puntir terpilin

**Gambar 3.2** Distribusi tegangan pada berbagai tahap pembebanan



**Gambar 3.3** Potongan melintang balok bentuk kotak

Dari Gambar 3.3 menghasilkan persamaan keseimbangan :

$$C = T \quad (3.1)$$

Sehingga dapat dituliskan bahwa besarnya momen adalah hasil kali antara resultan gaya tekan ( C ) terhadap jarak dari titik tangkap gaya tekan ke titik tangkap gaya tarik ( T )

$$M \text{ sayap} = C \cdot H \quad (3.2)$$

Dimana  $C = A \text{ sayap} \cdot F_{cr}$

Sehingga dari persamaan 3.2 didapatkan

$$M \text{ sayap} = A \text{ sayap} \cdot F_{cr} \cdot H \quad (3.3)$$

Sedangkan untuk momen badan adalah

$$M \text{ badan} = 2.1/6.t.H^2.F_{cr} \quad (3.4)$$

Momen nominal balok bentuk kotak adalah :

$$M = M \text{ badan} + M \text{ sayap}$$

$$M = 2.1/6.t.h^2.F_{cr} + A \text{ sayap}.F_{cr}.H \quad (3.5)$$

Tegangan yang terjadi pada profil akibat beban eksentrisitas mengakibatkan terjadinya tegangan lentur, tegangan geser akibat lentur dan tegangan geser akibat puntir. Tegangan lentur, tegangan geser akibat lentur dan tegangan geser akibat puntir yang terjadi harus lebih kecil dari tegangan leleh profil

### 3.1 Tegangan Lentur

Tegangan yang terjadi pada penampang struktur yang memikul beban lentur, menurut ( Salmon dan Johnson, 1990 )

$$\sigma = f_b = \frac{M \cdot y}{I} \quad (3.6)$$

Untuk penampang yang simetris terhadap sumbu kuat ( Sumbu x ) di hitung dengan persamaan ( 3.7 )

$$\sigma = f_b = \frac{M}{S_x} \quad (3.7)$$

dengan : M = Momen lentur

$S_x$  = Modulus penampang \*

\* Modulus Penampang ( Untuk profil simetris ) pada persamaan ( 3.8 )

$$S = \frac{I}{y/2} \quad (3.8)$$

dengan : I = Momen inersia

y = Tinggi profil

### 3.2 Tegangan Geser

Tegangan yang di akibatkan oleh momen lentur dan momen puntir

$$\tau = f_{v1} + f_{v2} \quad (3.9)$$



dengan :  $f_{v1}$  = Tegangan geser akibat lentur

$f_{v2}$  = Tegangan geser akibat punter

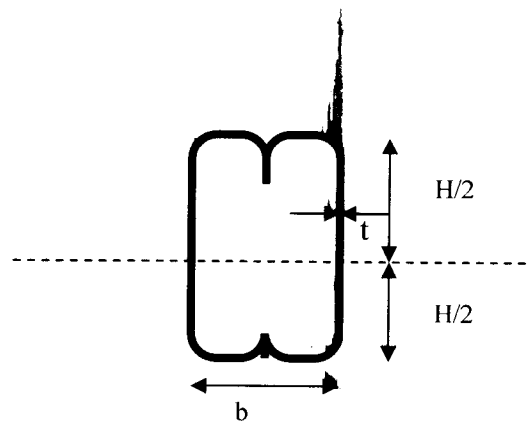
### 3.2.1 Tegangan Geser Akibat Lentur ( Salmon dan Johnson,1990 )

Tegangan geser yang di akibatkan gaya geser dan momen statis, pada pers. (3.10)

$$f_{v1} = \frac{VQ}{Ib} \quad (3.10)$$

dengan :  $V$  = Gaya geser                       $I$  = Momen Inersia

$b$  = lebar profil                       $Q$  = Momen statis \*



**Gambar 3.4** Lintasan Geser

\* dimana momen statisnya adalah :

$$Q = b.t.\left(\left(0,5.H\right) - \frac{t}{2}\right) + 2.\left(\frac{H-2t}{2}\right).2.\left(\frac{H-2t}{4}\right)$$

### 3.2.2 Tegangan Geser Akibat Puntir ( Salmon dan Johnson,1990 )

Tegangan geser yang di akibatkan momen puntir,yaitu karena pembebanan yang eksentris, dengan persamaan ( 3.11 )

$$f_{v2} = \frac{P.e.t}{J} \quad (3.11)$$

dengan : P = Beban yang bekerja

e = Eksentrisitas

t = tebal Profil

$$J = \text{konstanta puntir} = \sum \frac{1}{3} bt^3$$

### 3.3 Tegangan Interaksi

Tegangan interaksi yaitu tegangan yang terjadi apabila suatu profil mengalami tegangan lentur dan tegangan geser secara bersamaan yang diakibatkan oleh pembebanan secara eksentris.

#### 3.3.1 Tegangan Interaksi Menurut Trésca (Ugural,1991)

Gabungan antara tegangan lentur dengan tegangan geser

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (3.12)$$

dengan :  $\sigma$  = Tegangan lentur

$\tau$  = Tegangan geser

#### 3.3.2 Tegangan Interaksi Menurut Von Mises (Ugural,1991)

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (3.13)$$

Setelah didapat tegangan lentur dan tegangan geser maka tegangan interaksi akan didapatkan. Kemudian tegangan interaksi akan dibandingkan dengan tegangan kritis bahan untuk melihat pengaruh dari beban yang bekerja dan pengaruh dari panjang eksentrisitas

### 3.3.3 Perhitungan Beban Teoritis (Ugural, 1991)

Dalam perhitungan beban teoritis dalam penelitian ini persamaan yang digunakan berdasarkan persamaan tegangan interaksi menurut **Von Mises**. Apabila dijabarkan maka persamaan tersebut menjadi :

$$\begin{aligned}\sigma_{id} &= \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \\ \sigma_{id} &= Fcr = Fy \text{ (Tegangan leleh profil)} \\ Fcr &= \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (3.13)\end{aligned}$$

Maka substitusi dari persamaan ( 3.7 ),( 3.9 ),( 3.10 ) dan ( 3.11 ) ke persamaan ( 3.13 ) sebagai berikut :

$$Fcr = \sqrt{\left(\frac{M}{S_x}\right)^2 + 3.(f_{v1} + f_{v2})^2}$$

Apabila ruas kiri di kuadratkan, maka persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$Fcr^2 = \left(\frac{M}{S_x}\right)^2 + 3(f_{v1} + f_{v2})^2$$

dengan menjabarkan  $( f_{v1} + f_{v2} )^2$  , kemudian persamaannya menjadi :

$$Fcr^2 = \frac{M^2}{S_x^2} + 3.(f_{v1}^2 + 2.f_{v1}.f_{v2} + f_{v2}^2)$$

$$Fcr^2 = \frac{M^2}{S_x^2} + 3.f_{v1}^2 + 6.f_{v1}.f_{v2} + 3f_{v2}^2$$

$M$  yang digunakan dalam persamaan ini adalah momen lentur terbesar antara momen lentur tumpuan dan momen lentur lapangan, penjabarannya adalah sebagai berikut,

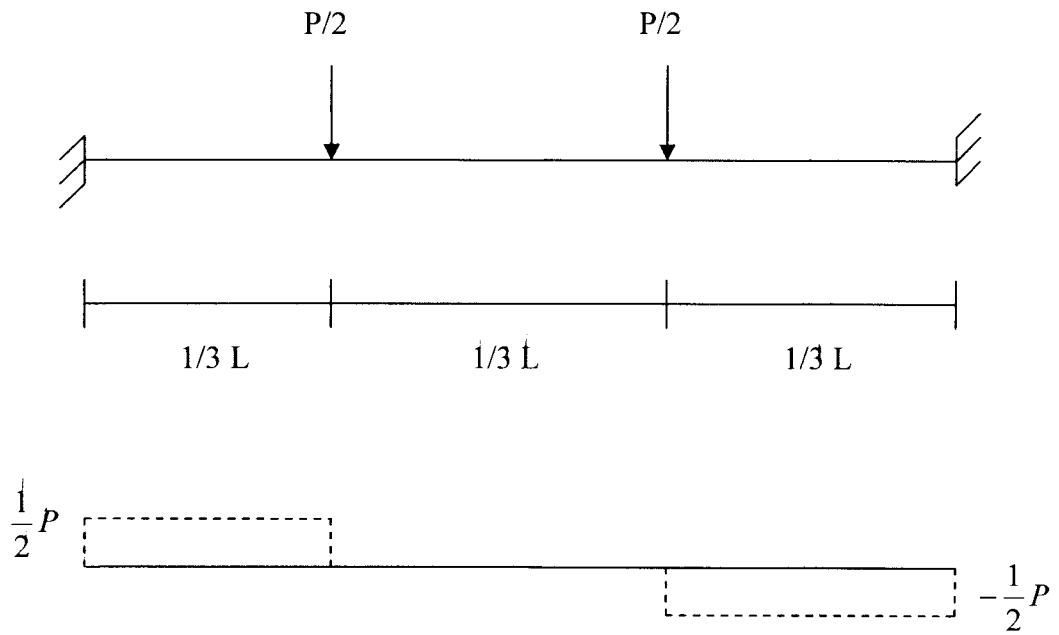


Diagram Geser

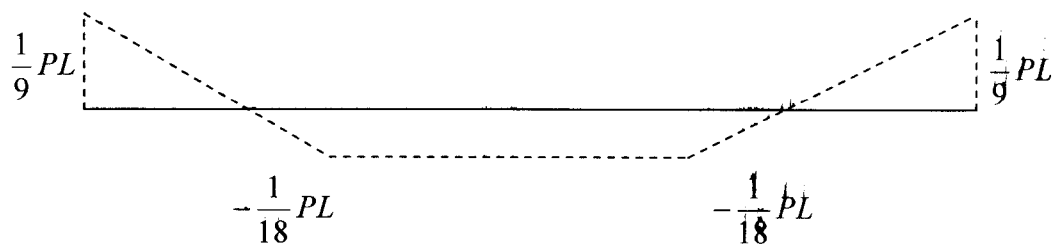


Diagram Momen

$$M_{\text{Lentur tumpuan}} = \frac{P_1 a_1 b_1^2 + P_2 a_2 b_2^2}{L^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{P_1 \frac{1}{3} l \left( \frac{2}{3} L \right)^2 + P_2 \left( \frac{2}{3} L \right) \left( \frac{1}{3} L \right)^2}{L^2} \\
&= \frac{\frac{1}{2} \cdot P \cdot \frac{4}{27} \cdot L^3 + \frac{1}{2} \cdot P \cdot \frac{2}{27} \cdot L^3}{L^2} \\
&= \frac{\frac{1}{2} \cdot P \cdot \left( \frac{4}{27} \cdot L^3 + \frac{2}{27} \cdot L^3 \right)}{L^2} \\
&= \frac{\frac{1}{2} \cdot P \cdot \left( \frac{6}{27} \cdot L^3 \right)}{L^2} \\
&= \frac{6}{54} \cdot P \cdot L \\
&= \frac{1}{9} \cdot P \cdot L
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\text{lentur lapangan}} &= M_{\text{lentur tumpuan}} - \left( R_{AV} \cdot \frac{1}{3} L \right) \\
&= \frac{1}{9} PL - \left( \frac{1}{2} P \cdot \frac{1}{3} L \right) \\
&= \frac{1}{9} PL - \frac{1}{6} PL \\
&= -\frac{1}{18} PL
\end{aligned}$$

setelah didapat nilai momen lentur terbesar yaitu momen lentur tumpuan sebesar

$\frac{1}{9} \cdot P \cdot L$ , maka dengan memasukkan nilai  $M = \frac{1}{9} \cdot P \cdot L$ , maka substitusi

persamaannya menjadi :

$$F_{cr}^2 = \frac{\left(\frac{1}{9} \cdot P \cdot L\right)^2}{S_x^2} + 3 \cdot \left(\frac{0,5P \cdot Q}{Ib}\right)^2 + 6 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot P \cdot Q}{Ib}\right) \cdot \left(\frac{P \cdot e \cdot t}{J}\right) + 3 \cdot \left(\frac{P \cdot e \cdot t}{J}\right)^2$$

dengan memisahkan P maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$F_{cr}^2 = P^2 \cdot \left[ \frac{\left(\frac{1}{9} \cdot L\right)^2}{S_x^2} + 3 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot Q}{Ib}\right)^2 + 6 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot Q}{Ib}\right) \cdot \left(\frac{e \cdot t}{J}\right) + 3 \cdot \left(\frac{e \cdot t}{J}\right)^2 \right]$$

$$P^2 = \frac{F_{cr}^2}{\left[ \frac{\left(\frac{1}{9} \cdot L\right)^2}{S_x^2} + 3 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot Q}{Ib}\right)^2 + 6 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot Q}{Ib}\right) \cdot \left(\frac{e \cdot t}{J}\right) + 3 \cdot \left(\frac{e \cdot t}{J}\right)^2 \right]} \quad (3.14)$$

maka nilai P yang didapat dari substitusi beberapa rumus diatas adalah sebagai berikut,

$$P = \left( \frac{F_{cr}^2}{\left[ \frac{\left(\frac{1}{9} \cdot L\right)^2}{S_x^2} + 3 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot Q}{Ib}\right)^2 + 6 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot Q}{Ib}\right) \cdot \left(\frac{e \cdot t}{J}\right) + 3 \cdot \left(\frac{e \cdot t}{J}\right)^2 \right]} \right)^{1/2}$$

dari persamaan ( 3.12 ) dapat dilihat bahwa beban ( P ) teoritis berbanding terbalik dengan eksentrisitas ( e ). Semakin besar eksentrisitas maka beban teoritis akan semakin kecil

### 3.4 Tegangan Kritis Bahan Pada Tekuk Lokal ( AISC )

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E \cdot k}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.15)$$

dengan :

$k$  = koefisien tekuk pelat

$\mu$  = angka Poisson ( dipakai 0.3 )

### 3.4.1 Koefisien tekuk lokal (McGrawhill, 1979)

Koefisien tekuk lokal yang terjadi pada sayap tekan karena adanya pembebanan eksentris menurut Rhodes dan Walker

$$k = -\frac{12(1-\mu^2)}{E\pi^2} \left(\frac{b}{t}\right)^2 \bar{\sigma}_l \quad (3.16)$$

dengan :

$\bar{\sigma}_l$  = Tegangan Rerata yang terjadi pada sayap tekan ketika tekuk lokal terjadi

### 3.4.2 Tegangan Rerata (McGrawhill, 1979)

Yang terjadi Pada Sayap Tekan Ketika Tekuk Lokal Terjadi menurut Rhodes dan Walker

$$\bar{\sigma}_l = -\frac{M_0 a}{2I_x} + \phi \left\{ E \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \frac{a}{2} \left(e_w - \frac{b}{2}\right) + \frac{M_0}{I_y} \left(\frac{b}{2} - c_w\right) \right\} \quad (3.17)$$

dengan :

$\phi$  = Sudut puntir

$M_0$  = Momen akibat lentur

$e_w$  = Jarak antara pusat geser dan sumbu bahan

$c_w$  = Jarak antara modulus geser dan sumbu bahan

$l$  = Jarak lateral tanpa dukungan

### 3.4.3 Sudut Puntir (McGrawhill, 1979)

Sudut yang terjadi karena adanya gaya puntir akibat pembebanan eksentris menurut Rhodes dan Walker

$$\phi = \frac{16e_x M_0}{(M_{cr} - M_0) \left\{ 1.225 \frac{I^2}{EI_y} (M_{cr} + M_0) - 5.623 \beta_x - 4\pi e_y \right\}} \quad (3.18)$$

dengan :

$M_{cr}$  = Momen kritis elastis

$e_x$  = Jarak antara pusat pembebanan dan pusat berat arah sumbu x

$e_y$  = Jarak antara pusat pembebanan dan pusat berat arah sumbu y

$$\beta_x = \frac{1}{I_x} \int_A (X^2 + Y^2) Y dA - 2Y_s \quad (\text{konstanta profil monosimetri})$$

### 3.4.4 Momen Kritis Elastis (McGrawhill, 1979)

Nilai kritis ideal dari momen lentur untuk kondisi tekuk puntir lateral menurut Rhodes dan Walker

$$M_{cr} = 1.13 \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} \left\{ c + \sqrt{c^2 + \frac{T}{I_y} \left( 1 + \frac{GJ}{ET} \frac{l^2}{\pi^2} \right)} \right\} \quad (3.19)$$

dengan :

$$c = 0.45e_y + 0.41\beta_x$$

$$T = \frac{h^2 I_y}{4} \quad (\text{konstanta pilin})$$



### 3.5 Tegangan Kritis Bahan Pada Tekuk Lateral (Salmon dan Johnson, 1990)

$$F_{cr} = \frac{\pi \sqrt{EI_y GJ}}{S_x L} \sqrt{\frac{\pi^2 EC_w}{L^2 GJ} + 1} \quad (3.20)$$

dengan :

$$G = \text{Modulus Elastis Geser} = E/[2(1 + \mu)]$$

$$C_w = \text{Konstanta pilin} = \frac{h^2 I_y}{4}$$

$$J = \text{Konstanta puntir} = \sum \frac{bt^3}{3}$$

$$S_x = \frac{I}{y/2}$$

L = Panjang bentang

### 3.6 Hubungan Beban Lendutan (Gere dan Timoshenko, 1997)

Lendutan terjadi apabila balok melentur akibat menahan beban. Besarnya lendutan yang terjadi pada balok bisa dikatakan aman apabila berada diantara L/300 hingga L/400 dari bentang balok, Untuk mengetahui agar lendutan pada balok tidak melebihi batas-batas tersebut maka perlu dilakukan perhitungan. Untuk menghitung lendutan pada balok dapat digunakan beberapa cara, salah satunya adalah metode *integrasi ganda*. Metode integrasi dapat dilihat pada persamaan 3.20 dibawah ini.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1$$

$$EI.y = \iint M dx dx + c_1 x + c_2 \quad (3.21)$$

Pada sepertiga bentang ( $1/3 L$ ) :

$$M = \frac{Px}{2} - \frac{PL}{9}$$

$$EI y'' = \frac{Px}{2} - \frac{PL}{9}$$

$$EI y' = \frac{Px^2}{4} - \frac{PLx}{9} + C_1$$

Untuk mengevaluasi konstanta  $C_1$ , kita amati dari simetri balok dan bebannya bahwa kemiringan dari kurva defleksi pada sepertiga bentang sama dengan nol.

Jadi, kita mempunyai kondisi simetri :

$$y' = 0 \text{ apabila } x = \frac{L}{3}$$

$$EI y' = \frac{P\left(\frac{L}{3}\right)^2}{4} - \frac{PL\left(\frac{L}{3}\right)}{9} + C_1$$

$$EI y' = \frac{PL^2}{4 \cdot (9)} - \frac{PL^2}{27} + C_1$$

$$EI y' = \frac{PL^2}{36} - \frac{PL^2}{27} + C_1$$

$$EI y' = \frac{1,5 \cdot PL^2}{54} - \frac{2 \cdot PL^2}{54} + C_1$$

dengan  $y' = 0$  dan  $C_1$  dipindahkan ke ruas kiri maka persamaannya menjadi :

$$C_1 = -\left(\frac{1,5PL^2}{54} - \frac{2 \cdot PL^2}{54}\right)$$

$$C_1 = \frac{2.PL^2 - 1,5.PL^2}{54}$$

$$C_1 = \frac{0,5.PL^2}{54}$$

$$C_1 = \frac{PL^2}{108}$$

setelah di dapat  $C_1$  maka persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$EI.y' = \frac{Px^2}{4} - \frac{PL.x}{9} + \frac{PL^2}{108} + C_2$$

Konstanta integrasi  $C_2$  dapat dievaluasi dari kondisi bahwa defleksi balok ditumpuan kiri sama dengan nol, artinya  $y = 0$  apabila  $x = 0$

$$y = 0 \text{ apabila } x = \frac{L}{3}$$

$$\begin{aligned} EI.y &= \frac{Px^3}{12} - \frac{PL.x^2}{18} + \frac{PL^2.x}{108} \\ &= \frac{9.Px^3 - 6.PL.x^2 + PL^2.x}{108} \quad \text{maka,} \end{aligned}$$

$$y = \frac{P}{EI.108} (9x^3 - 6.Lx^2 + L^2.x)$$

dengan memasukkan nilai  $x = \frac{L}{3}$  maka persamaan menjadi:

$$\begin{aligned} y\left(\frac{L}{3}\right) &= \frac{P}{108.EI} \left( 9\left(\frac{L}{3}\right)^3 - 6L\left(\frac{L}{3}\right)2 + L^2\left(\frac{L}{3}\right) \right) \\ &= \frac{P}{108.EI} \left( 9\left(\frac{L^3}{27}\right) - 6L\left(\frac{L^2}{9}\right) + \frac{L^3}{3} \right) \end{aligned}$$

$$= \frac{P}{108.EI} \left( \frac{1}{3}L^3 - \frac{2}{3}L^3 + \frac{L^3}{3} \right)$$

$$= \frac{P}{108.EI} \left( \frac{1}{3}L^3 - \frac{2}{3}L^3 + \frac{1}{3}L^3 \right)$$

maka didapat persamaan lendutan pada 1/3 bentang

$$y\left(\frac{L}{3}\right) = \frac{P}{108.EI}$$

Pada tengah bentang (1/2 L) :

$$M = \frac{P}{2}.x - \frac{1}{9}PL - P\left(x - \frac{L}{3}\right)$$

$$= \frac{Px}{2} - \frac{PL}{9} - Px + \frac{PL}{3}$$

$$= \frac{Px}{2} - \frac{PL}{9} - Px + \frac{PL}{3}$$

apabila M di subsitusikan maka didapatkan persamaan :

$$EI y'' = \frac{Px}{2} - \frac{PL}{9} - Px + \frac{PL}{3}$$

dengan mengintegalkan kembali persamaan diatas maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$EI.y' = \frac{Px^2}{4} - \frac{PLx}{9} - \frac{Px^2}{2} + \frac{PLx}{3} + C_1$$

Untuk mengevaluasi konstanta  $C_1$ , kita amati dari simetri balok dan bebannya bahwa kemiringan dari kurva defleksi ditengah bentang sama dengan nol. Jadi, kita mempunyai kondisi simetri :

$$y' = 0 \text{ Apabila } x = \frac{l}{2}$$

dengan memindahkan  $C_1$  ke ruas kiri didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$C_1 = - \left( \frac{P \left( \frac{L}{2} \right)^2}{4} - \frac{PL \left( \frac{L}{2} \right)}{9} - \frac{P \left( \frac{L}{2} \right)^2}{2} + \frac{PL \left( \frac{L}{2} \right)}{3} \right)$$

$$C_1 = - \left( \frac{PL^2}{16} - \frac{PL^2}{18} - \frac{PL^2}{8} + \frac{PL^2}{6} \right)$$

$$C_1 = - \frac{PL^2}{16} + \frac{PL^2}{18} + \frac{PL^2}{8} - \frac{PL^2}{6}$$

$$C_1 = \frac{-18PL^2 + 16PL^2 + 36PL^2 - 48PL^2}{288} \quad , \text{ maka}$$

$$C_1 = - \frac{14PL^2}{288}$$

setelah  $C_1$  didapatkan maka persamaannya menjadi :

$$EIy' = \frac{Px^2}{4} - \frac{PLx}{9} - \frac{Px^2}{2} + \frac{PLx}{3} - \frac{14PL^2}{288}$$

persamaan diatas diintegalkan maka didapat persamaan :

$$EIy = \frac{Px^3}{12} - \frac{PLx^2}{18} - \frac{Px^3}{6} + \frac{PLx^2}{6} - \frac{14PL^2x}{288} + C_2$$

Konstanta integrasi  $C_2$  dapat dievaluasi dari kondisi bahwa defleksi balok

ditumpuan kiri sama dengan nol, artinya  $y = 0$  apabila  $x = 0$

$$EIy = \frac{Px^3}{12} - \frac{PLx^2}{18} - \frac{Px^3}{6} + \frac{PLx^2}{6} - \frac{14PL^2x}{288}$$

dengan menggantikan  $x$  dengan  $L/2$  maka didapatkan persamaan :

$$EIy\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{P\left(\frac{L}{2}\right)^3}{12} - \frac{PL\left(\frac{L}{2}\right)^2}{18} - \frac{P\left(\frac{L}{2}\right)^3}{6} + \frac{PL\left(\frac{L}{2}\right)^2}{6} - \frac{14PL^2\left(\frac{L}{2}\right)}{288}$$

$$EIy\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{PL^3}{96} - \frac{PL^3}{72} - \frac{PL^3}{48} + \frac{PL^3}{24} - \frac{14PL^3}{576}$$

$$EIy\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{6PL^3 - 8PL^3 - 12PL^3 + 24PL^3 - 14PL^3}{576}$$

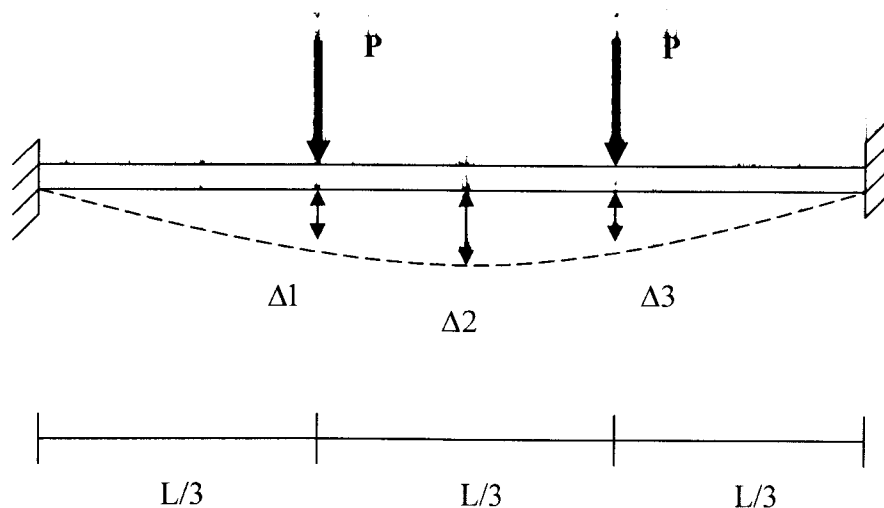
$$EIy\left(\frac{L}{2}\right) = -\frac{4PL^3}{576}, \text{ karena } y \text{ nilai mutlak maka:}$$

$$EIy\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{4PL^3}{576}$$

maka didapatkan persamaan defleksi pada tengah bentang yaitu :

$$y\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{4PL^3}{576EI}$$

Sehingga untuk sistem pembebanan seperti gambar 3.5 dibawah ini :



**Gambar 3.5** Lendutan beban titik pada  $1/3$  dan  $2/3$  bentang

Maka diperoleh hubungan beban-lendutan sebagai berikut :

$$- \text{ Untuk lendutan pada } 1/3 \text{ bentang : } \Delta_1 = \frac{P}{108.EI} \quad (3.22)$$

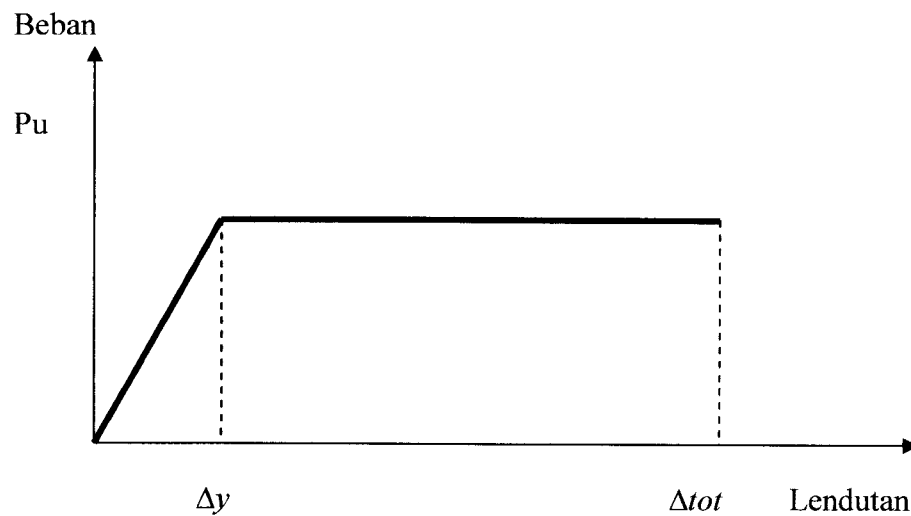
$$- \text{ Untuk lendutan pada } 1/2 \text{ bentang : } \Delta_2 = \frac{4.PL^3}{576.EI} \quad (3.23)$$

$$- \text{ Untuk lendutan pada } 1/3 \text{ bentang : } \Delta_3 = \frac{P}{108EI} \quad (3.24)$$

Dimana :

$\Delta$  = defleksi basok ;  $P$  = beban balok ;  $E$  = modulus elastis bahan ;  $L$  = panjang bentang balok ;  $I$  = momen inersia penampang

Hubungan beban–lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan atau dianggap menjadi bentuk biliener seperti pada Gambar 3.5

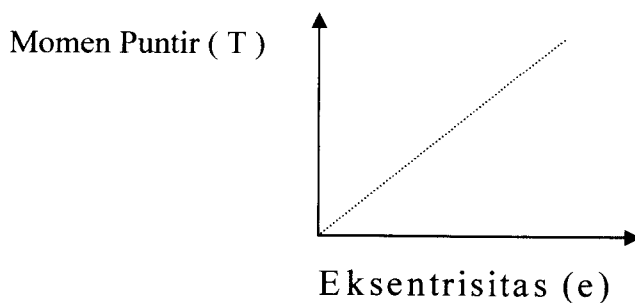


**Gambar 3.6** Grafik Hubungan Beban dan Lendutan

### 3.7 Hipotesa

Memperhatikan latar belakang, tujuan penelitian, tinjauan pustaka dan landasan teori, maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut:

1. Profil kanal dingin mempunyai rasio (b/t) atau (h/t) yang besar sehingga menyebabkan kapasitas lenturnya lebih rendah dari pada tegangan lelehnya. ( $F_{cr} \leq F_y$ )
2. Rasio tebal sayap dengan tebal badan dan rasio lebar terhadap tinggi gelagar pelat akan mempengaruhi nilai  $k$ . Sehingga akan menghasilkan nilai  $k$  yang bervariasi.
- 3 Hubungan antara panjang eksentrisitas dan momen puntir yaitu semakin panjang eksentrisitas maka momen puntir yang terjadi akan semakin kecil.



- 4 Hubungan antara panjang eksentrisitas dan tegangan lentur yaitu semakin panjang eksentrisitas maka tegangan lentur akan semakin kecil atau berbanding terbalik.



## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Bahan yang dipakai dalam penelitian berupa batang susun bentuk kotak yang rangkaiannya terdiri dari profil kanal bentukan dingin. Badan dan sayap merupakan satu kesatuan yang utuh karena merupakan bagian dari profil yang akan dirangkai menjadi balok dengan cara mengelas secara menerus sambungan dua buah profil kanal.

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

Sebelum melakukan penelitian perlu diadakan persiapan bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian ini.

##### **4.2.1 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. Profil kanal

Profil kanal yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang mempunyai ketebalan 2 mm

2. Las

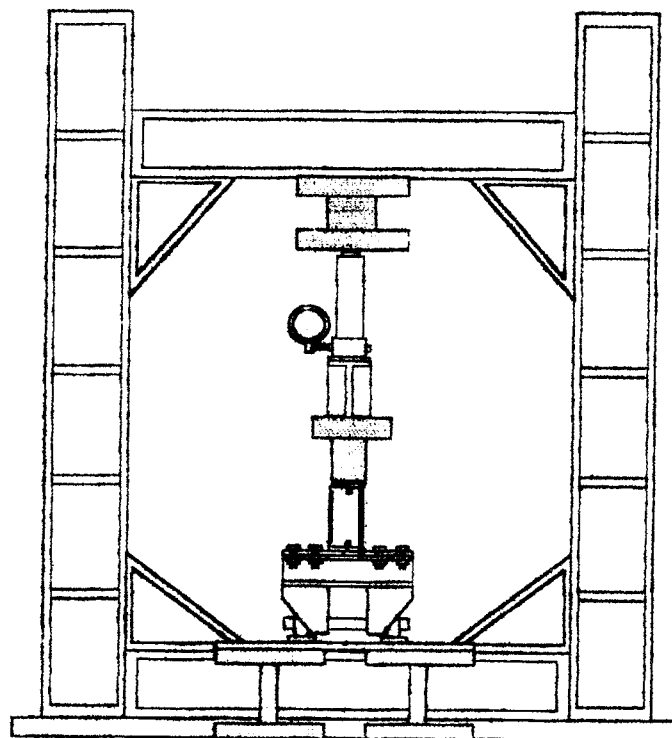
Las yang digunakan adalah las menerus dengan E-70

##### **4.2.2 Peralatan Penelitian**

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah :

### 1. *Loading Frame*

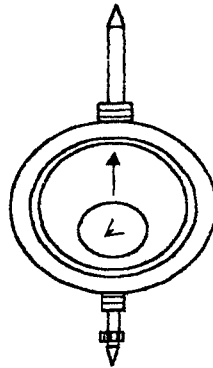
Alat yang digunakan untuk keperluan uji pembebanan adalah *Loading Frame* yang terbuat dari bahan baja Profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. *Loading Frame* ini mempunyai bentuk portal segi empat yang diletakkan diatas lantai beton dengan perantara dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* ini stabil pada waktu pembebanan dilakukan maka pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x14 mm. Susunan balok Portal ini dapat diubah-ubah sesuai dengan bentuk dan ukuran dari model benda uji dengan cara melepas sambungan baut. Bentuk dari *Loading Frame* dapat dilihat pada gambar 4.1



**Gambar 4.1** Loading Frame

## 2. Dial gauge

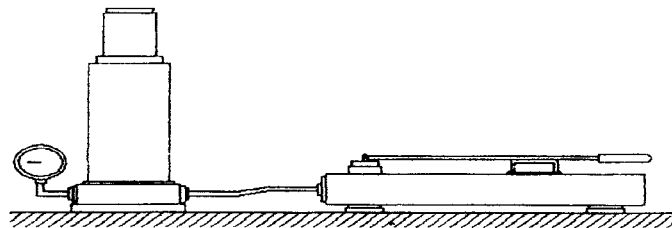
Dial gauge adalah alat yang digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian pembacaan dial 0,01 mm, seperti pada gambar ( 4.2 ). Pada penelitian tugas akhir ini digunakan dial gauge sebanyak tiga buah.



**Gambar 4.2** Dial Gauge

## 3. Hidraulick Jack

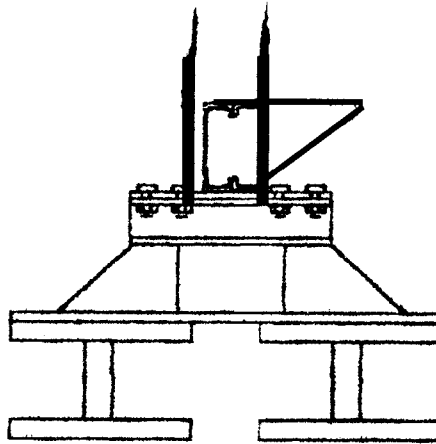
Hidraulick Jack adalah alat yang digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur dengan beban sentris P yang mempunyai kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0,5 ton. Alat tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3



**Gambar 4.3** Hidraulick Jack

#### 4. Dukungan jepit-jepit

Dukungan jepit dipasang pada kedua ujung dari model benda uji, seperti terlihat pada Gambar 4.4



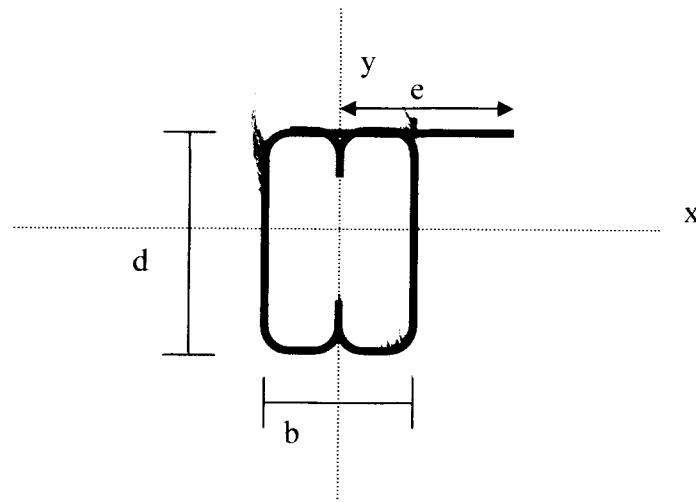
**Gambar 4.4** Detail dukungan penampang benda uji

#### 4.3 Model Benda Uji

Model benda uji yang digunakan adalah baja penampang kotak yang merupakan hasil rangkaian dari dari profil kanal bentukan dingin yang disatukan dengan menggunakan sambungan las secara menerus pada sisi-sisi gelagar yang merupakan sambungan antar kanal. Pada bagian sayap ditambah pelat yang disatukan dengan menggunakan sambungan las sebagai titik perletakkan beban eksentris.

Metode perletakan benda uji pada saat pengujian dengan cara benda uji gelagar diletakkan secara berdiri atau sumbu panjang penampang gelagar sejajar dengan sumbu y. Pada metode penelitian ini digunakan 6 sampel yang sama

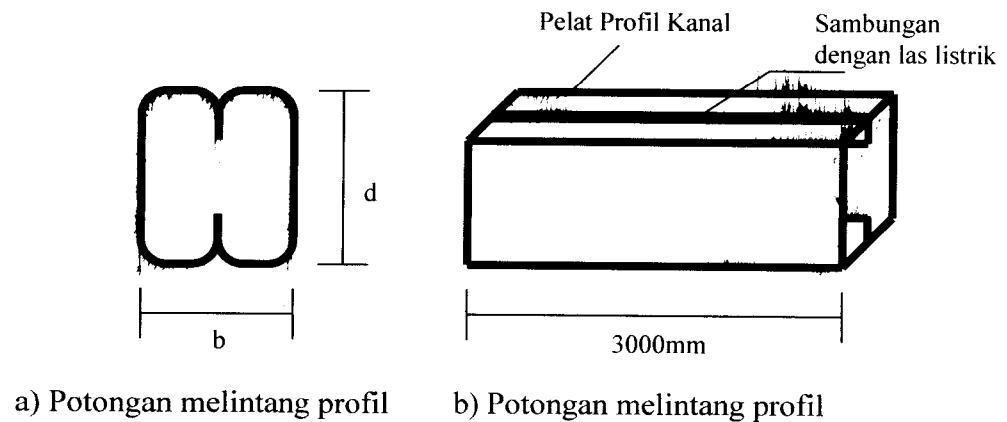
ukurannya. Perbedaan terdapat pada panjang ukuran pelat sambung agar didapat eksentrisitas bervariasi. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.6



**Gambar 4.5** Metode perletakan benda uji

#### 4.4 Pembuatan Benda Uji

Langkah yang pertama adalah mempersiapkan bahan-bahan yang akan digunakan yang merupakan profil kanal bentukan dingin, kemudian bahan-bahan tersebut dipotong-potong sesuai dengan ukuran-ukuran yang direncanakan. Setelah itu potongan-potongan tersebut dirangkai membentuk sebuah gelagar bentuk kotak yang rangkaiannya tersebut disambung dengan menggunakan las secara menerus pada daerah sambungan, sehingga terbentuk sebuah gelagar bentuk kotak dari sebuah profil kanal bentukan dingin. Kemudian pada profil ditambah pelat sambungan untuk perletakan beban yang bersifat eksentris. Bentuk profil dapat dilihat seperti gambar 4.9 dibawah ini.



**Gambar 4.6** Detail model benda uji

## 4.5 Pengujian Benda Uji

Pada penelitian ini jenis baja yang digunakan adalah baja profil ( kanal ) yang memiliki ketebalan yang sama pada seluruh elemen. Sehingga sebelum melakukan pengujian kuat lentur gelagar yang sesungguhnya dilaboratorium maka perlu diadakan pengujian pendahuluan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan tarik baja (  $F_y$  ) dan tagangan geser las.

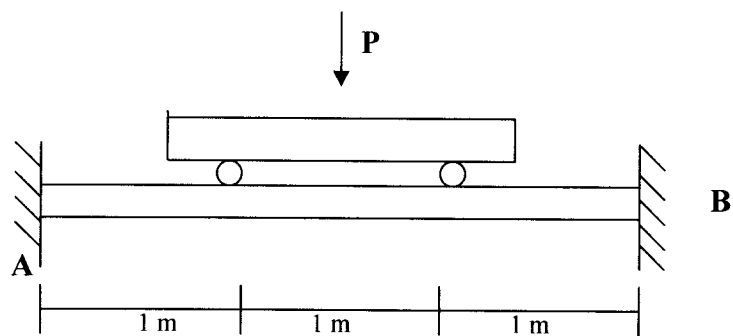
### 4.5.1 Pengujian Kuat Lentur

Sebelum pengujian dilakukan maka terlebih dahulu dilakukan setting terhadap peralatan yang akan digunakan. Langkah penyetingan adalah sebagai berikut :

Meletakkan dukungannya jepit-jepit pada *loading frame* dengan jarak 3m sesuai dengan panjang bentang benda uji. Kemudian pengaku lateral ditempatkan pada sisi kanan dan kiri benda uji untuk menahan agar benda uji tidak mengalami tekuk lateral kearah samping. Setelah itu *Hidraulick Jack* diletakkan diatas balok

besi sepanjang 1 m yang fungsinya untuk membagi beban agar diperoleh dua pusat beban yang yang membebani benda uji, lalu dibawah benda uji diletakkan *Dial Gauge* sebanyak tiga buah untuk mengukur lendutannya.

Setelah proses setting peralatan selesai maka dilakukan pengujian kuat lentur balok bentuk kotak dengan cara memompa *hidraulick jack* secara perlahan-lahan untuk memberikan pembebanan terhadap benda uji. Setiap penambahan beban oleh *Hidraulick Jack* sebesar 3 kN maka besarnya lendutan yang terukur oleh *Dial Gauge* dicatat, pada saat beban pada *Hidraulick Jack* tidak dapat bertambah lagi maka pengujian ini dihentikan.



**Gambar 4.7** Model pembebanan

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

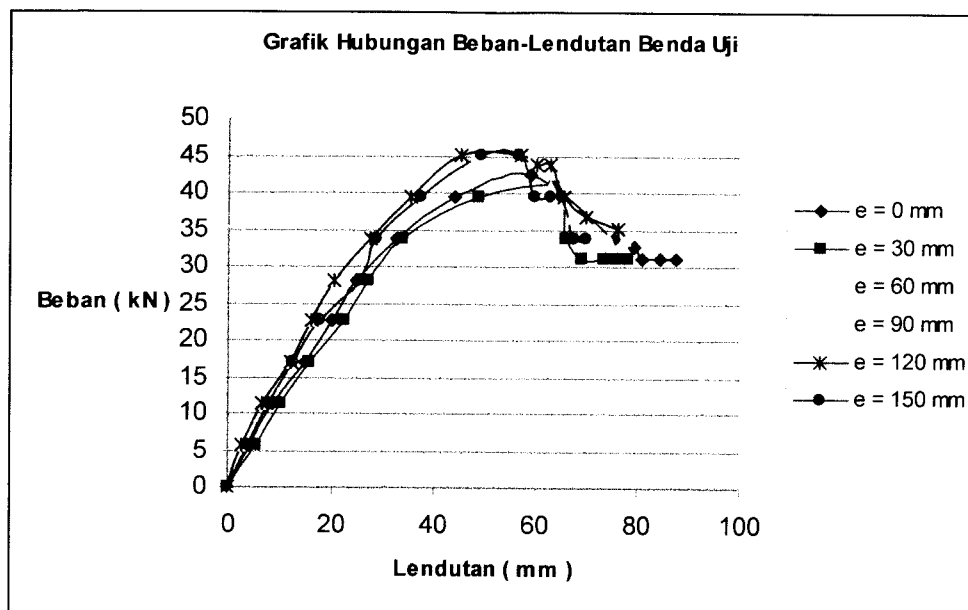
#### **5.1. Hasil Pengujian Lentur Balok Susun Profil Bentuk Kotak**

Pelaksanaan pengujian kuat lentur gelagar dilakukan di laboratorium Struktur Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian diperoleh data beban, lendutan dan momen torsi yang dibaca dari dial dengan ketelitian 0.01 mm, kemudian data-data tersebut diolah dengan menggunakan rumus-rumus yang ada sehingga menghasilkan grafik hubungan antara beban, lendutan dan torsi.

#### **5.2. Hubungan Beban - Lendutan Hasil Pengujian.**

Metode pembebanan yang di gunakan yaitu pembebanan terpusat, pada setiap sepertiga panjang bentang (setiap 1 meter). Secara bertahap sampel balok profil diberi penambahan beban sebesar 100 Kg, kemudian dicatat lendutan yang terjadi pada setiap penambahan beban. Data pencatatan hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran, sedangkan grafik (gambar 5.1 )hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi, pada semua benda uji.





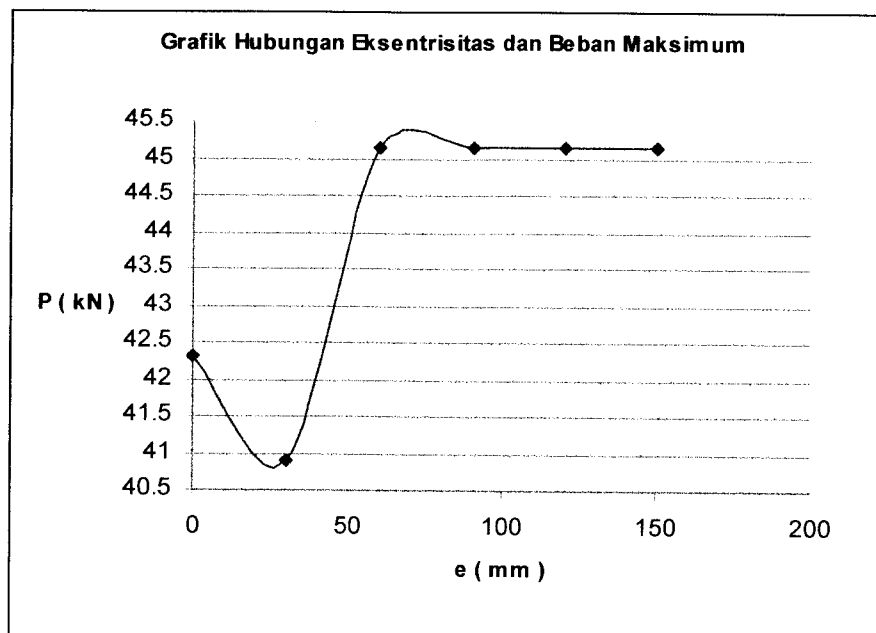
**Gambar 5.1** Grafik hubungan beban- lendutan benda uji

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa lendutan terbesar terjadi pada eksentrisitas sama dengan nol (sampel 1), pengaruh torsi yang terjadi sangat kecil, lebih dominan pada tegangan lentur, disebabkan beban yang diujikan tertumpu pada arah gaya tegak lurus batang. Data mengenai hubungan antara eksentrisitas dan beban maksimum dari pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 5.1** Eksentrisitas dan beban maksimum

Sampel	e ( mm )	P ( Kn )
1	0	42,315
2	30	40,9
3	60	45,136
4	90	45,136
5	120	45,136
6	150	45,136

Sedangkan grafik hubungan antara eksentrisitas dan beban maksimum dapat dilihat pada gambar 5.2.



**Gambar 5.2** Grafik Hubungan Eksentrisitas-Beban Maksimum

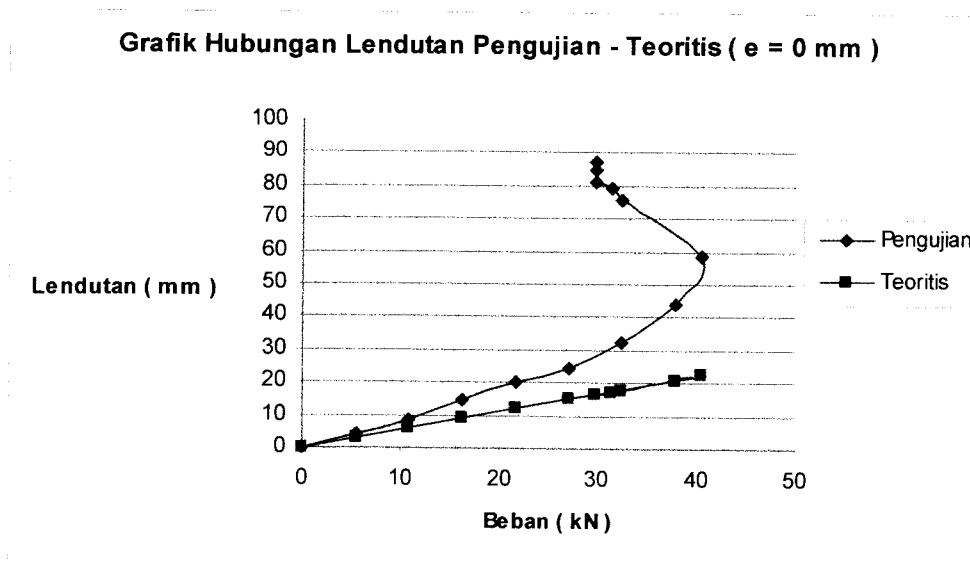
Dari gambar 5.2 dapat dilihat bahwa beban maksimum terbesar terdapat pada benda uji 3-6, di mulai dari  $e = 60$  mm hingga selanjutnya sampai  $e = 150$  mm dengan beban maksimum yang sama ( konstan ), sedangkan antara  $e = 0$  mm dan  $e = 30$  mm (benda uji 1-2) terjadi penurunan beban maksimum. Beban maksimum terbesar terjadi pada eksentrisitas yang besar pula, ini dikarenakan bentuk profil benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah bentuk kotak dimana profil bentuk ini kemampuan menahan tegangan puntir lebih baik daripada tegangan lentur. Pada benda uji dengan  $e = 0$  mm dan  $e = 30$  mm beban maksimum yang terjadi lebih kecil, ini disebabkan karena pada  $e = 30$  mm terjadi tegangan lentur sekaligus tegangan torsi ( tegangan kombinasi ) dimana tegangan lentur lebih dominan daripada tegangan torsinya, kembali lagi bahwa bentuk

profil yang digunakan lebih dapat menahan tegangan torsi daripada tegangan lentur dengan begitu maka tekuk lokal lebih cepat terjadi pada  $e = 30$  mm daripada  $e = 0$  mm.

### 5.3 Perbandingan Hubungan Beban – Lendutan Teoritis dan Pengujian.

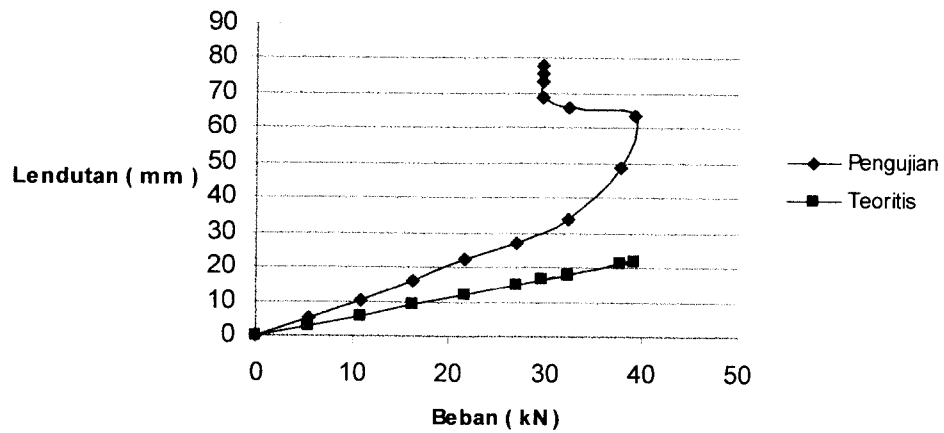
Dari hasil pengujian kuat lentur bentuk kotak diperoleh hubungan beban lendutan pengujian, yang kemudian dibandingkan dengan lendutan teoritis yang dihitung dengan menggunakan beban rencana. Sedangkan contoh perhitungan beban rencana dapat dilihat pada lampiran III.

Dari gambar 5.3 dapat kita lihat perbandingan grafik lendutan pengujian dengan lendutan teoritis. Pada grafik beban-lendutan teoritis dapat dilihat bahwa semakin besar eksentrisitas maka lendutan yang terjadi akan semakin besar.



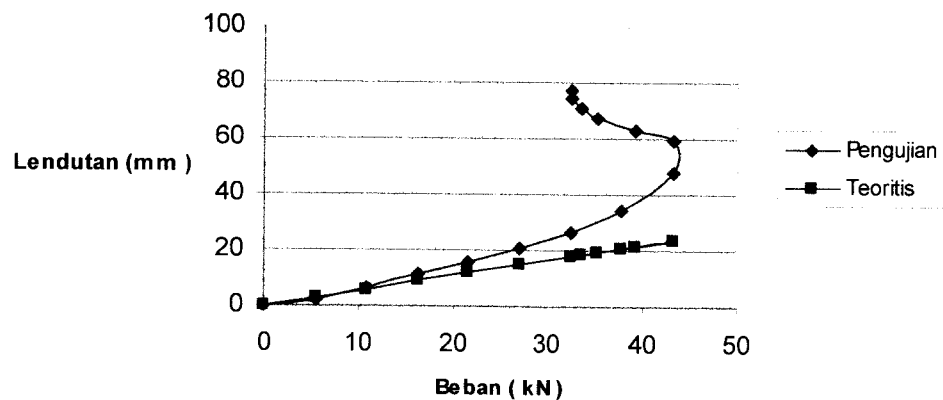
**Gambar 5.3** Grafik perbandingan lendutan pengujian-lendutan teoritis pada benda uji 1 (  $e = 0$  mm )

Grafik Hubungan Antara Pengujian - Teoritis (  $e = 30 \text{ mm}$  )



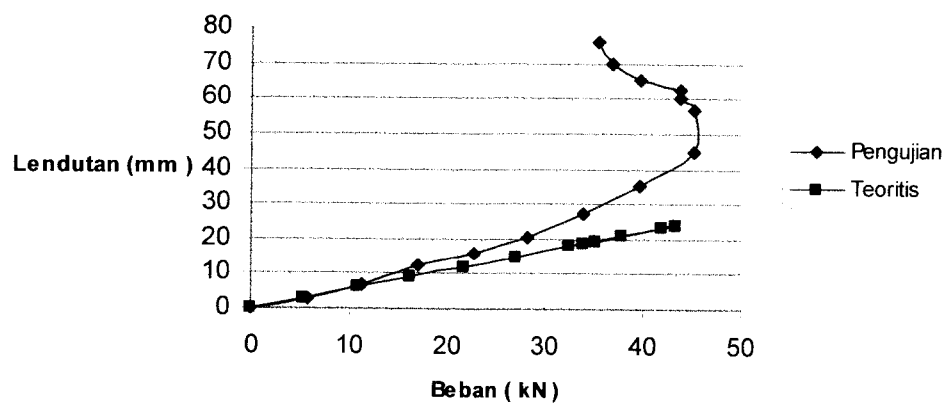
Gambar 5.4 Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis benda uji 2 (  $e = 30 \text{ mm}$  )

Grafik Hubungan Antara Lendutan Pengujian - Teoritis (  $e = 60 \text{ mm}$  )



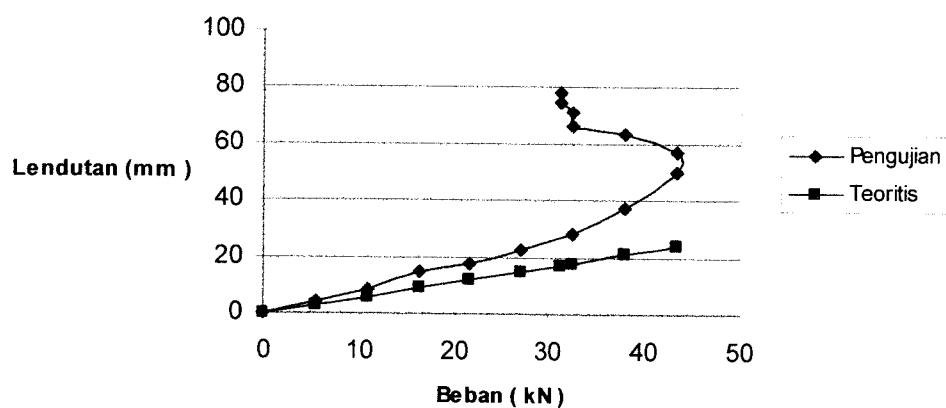
Gambar 5.5 Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis benda uji 3 (  $e = 60 \text{ mm}$  )

Grafik Hubungan Antara Lendutan Pengujian - Teoritis (  $e = 90 \text{ mm}$  )



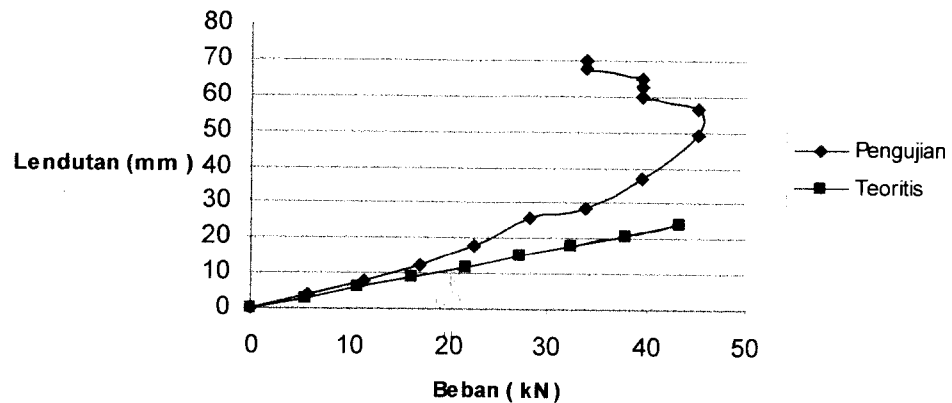
Gambar 5.6 Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis benda uji 4 (  $e = 90 \text{ mm}$  )

Grafik Hubungan Antara Lendutan Pengujian - Teoritis (  $e = 120 \text{ mm}$  )



Gambar 5.7 Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis benda uji 5 (  $e = 120 \text{ mm}$  )

**Grafik Hubungan Antara Lendutan Pengujian - Teoritis ( e = 150 mm )**



**Gambar 5.8** Grafik perbandingan lendutan pengujian-teoritis banda uji 6 ( e = 150 mm )

### 5.3.1 Analisa Data Hubungan Beban –Lendutan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban – lendutan pada gambar ( 5.3 ) dan data pengujian pada lampiran V, dapat disimpulkan tentang kekakuan balok bentukan dingin balok bentukan dingin pada beban eksentris ( Tabel 5.2 )

**Tabel 5.2** Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan

Benda uji	Beban (P) KN	$(\Delta)$	$(P/\Delta)$	Kekakuan rata-rata KN/mm
		Lendutan mm	Kekakuan KN/mm	
Benda uji 1	42,315	58,7	0,72	0,829
Benda uji 2	40,9	63,5	0,64	
Benda uji 3	45,136	48,2	0,936	
Benda uji 4	45,136	45	1,00	
Benda uji 5	45,136	50,2	0,89	
Benda uji 6	45,136	56,6	0,79	

#### **5.4 Analisa Kerusakan pada Benda Uji**

Kerusakan yang terjadi pada balok uji bentukan dingin berupa tekuk lokal yang terjadi pada daerah sayap, hal ini diakibatkan karena profil c memiliki rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ) yang relatif besar. Dengan semakin bertambahnya eksentrisitas momen puntir yang bekerja akan semakin besar pula. Pada keseluruhan benda uji tekuk pada sayap terjadi diantara dua titik pembebanan.

#### **5.5 Pembahasan**

##### **5.5.1 Kuat Lentur Balok Berdasarkan Hubungan Beban-Lendutan**

Dengan memperhatikan grafik hubungan beban-lendutan dari semua benda uji, dapat disimpulkan bahwa semua benda uji memiliki perilaku lentur yang hampir sama. Benda uji akan menahan beban yang terus meningkat sampai titik lelehnya terjadi, setelah itu kemampuan menahan bebannya akan menurun yang akan diikuti dengan semakin bertambahnya lendutan yang terjadi.

Balok uji bentukan dingin dengan variasi eksentrisitas tidak terlalu besar, lendutan yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan balok uji bentukan dingin dengan variasi eksentrisitas yang lebih besar, ini dikarenakan adanya pengaruh momen puntir yang besar atau lebih dominan sehingga tegangan yang terjadi terbagi menjadi tegangan lentur dan tegangan puntir. Dari grafik tersebut juga diketahui bahwa balok bentukan dingin dengan  $e = 0$  mampu menahan beban sebesar 42,315 kN,  $e = 30$  mm mampu menahan beban sebesar 40,9 kN,  $e = 60$  mm sampai  $e = 150$  mm dapat menahan beban sebesar 45,136 kN.

Tabel hubungan beban lendutan dapat juga dipakai untuk mencari nilai kekakuan ( $P/\Delta$ ), sehingga dapat diketahui pengaruh rasio perbandingan panjang eksentrisitas pada kekakuan balok bentukan dingin. Untuk balok dengan  $e = 0$  mempunyai kekakuan sebesar 0,72 kN/mm,  $e = 30$  mm mempunyai kekakuan sebesar 0,64 kN/mm,  $e = 60$  mm mempunyai kekakuan sebesar 0,936 kN/mm,  $e = 90$  mm mempunyai kekakuan sebesar 1,00 kN/mm,  $e = 120$  mm mempunyai kekakuan sebesar 0,89 kN/mm, dan  $e = 150$  mm mempunyai kekakuan sebesar 0,79 kN/mm,. Apabila nilai kekakuan dari enam sampel yang berbeda-beda dirata-rata adalah 0,829 kN/mm.

Profil dengan nilai eksentrisitas yang besar kekakuannya lebih besar dibandingkan dengan angka eksentrisitas yang lebih kecil. Dengan semakin bertambahnya beban yang mampu ditahan yang diiringi dengan lendutan maka semakin besar pula kekakuan dari suatu balok karena kekakuan adalah perbandingan antara beban dan lendutan.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan mengenai kuat lentur batang susun bentuk kotak menahan beban eksentris sebagai berikut;

1. Kuat lentur batang susun bentuk kotak pada eksentrisitas yang bervariasi yaitu pada  $e$  masing-masing 0 mm, 30 mm, 60 mm, 90 mm, 120 mm dan pada  $e = 150$  mm memiliki kemampuan menahan beban yang bervariasi pula, dari keenam sampel tidak dapat disimpulkan bahwa kemampuan menahan beban semakin meningkat atau menurun, karena data yang didapat dari hasil penelitian dari keenam sampel ada yang seiring dengan bertambahnya eksentrisitas ada yang kemampuan menahan bebannya menurun ada yang kemampuan menahan bebannya meningkat ada pula yang kemampuan menahan bebannya sama
2. Dengan semakin bertambah besar eksentrisitasnya maka pengaruh dari momen puntirnya akan lebih dominan dari pada momen lenturnya terhadap tegangan interaksi yang terjadi. Ini dapat dilihat pada perhitungan beban teoritis pada benda uji 1 ( $e = 0$ ) tegangan interaksi hanya berdasarkan pada

momen lentur yang terjadi karena tidak adanya momen puntir. Pada benda uji 2 (  $e = 30 \text{ mm}$  ) pengaruh dari momen lentur dan momen puntir terhadap tegangan interaksi yang terjadi memiliki pengaruh yang relatif sama atau tidak adanya momen yang bekerja lebih dominan, tetapi setelah itu pada benda uji 3 (  $e = 60 \text{ mm}$  ) sampai benda uji 6 (  $e = 150 \text{ mm}$  ) pengaruh dari momen lentur sangatlah kecil karena momen puntir yang bekerja sangat dominan terhadap tegangan interaksinya

3. Nilai kekakuan maksimum dari batang bentuk susun kotak dari keenam sampel terjadi pada benda uji 4 apabila ditinjau dari hubungan beban-lendutan yaitu sebesar  $1 \text{ kN/mm}$

## 6.2 Saran

Untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai batang susun bentuk kotak menahan beban eksentris perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pada penelitian sejenis disarankan agar menggunakan nilai variasi eksentrisitas yang lebih besar dan sampel lebih banyak.
2. Dalam pembuatan batang susun bentuk kotak dari profil bentukan dingin, perlu diperhatikan efek dari pengelasan menerus, yaitu terjadi residu yang menyebabkan batang melengkung yang akan berpengaruh terhadap perilaku batang susun pada saat pengujian.

3. Dalam penelitian ini disarankan untuk memakai alat uji dengan tingkat akurasi tinggi terhadap pembacaan beban, seperti juga yang terdapat di laboratorium teknik sipil UII, yaitu automatic jack, karena akan mendukung keakurasian suatu penelitian.



## DAFTAR PUSTAKA

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

E.P. Popov, Zainul Astamar, 1984, **MEKANIKA TEKNIK**, Erlangga, Jakarta

Chu-Kia Wang, Edi Haryadi, 1989, **ANALISIS STRUKTUR LANJUTAN**, Erlangga, Jakarta

James M.Gere dan Stephen P.Timoshenko, Bambang Suryoatmono, 1984, **MEKANIKA BAHAN**, Erlangga, Jakarta

A.C.Ugural, 1991, **MECHANICS OF MATERIALS**, McGraw-Hill Book Company, Inc, New York



**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Rendra Wirahadi Surya	98 511 127	Teknik Sipil
2.	Ari Retissu	99 511 050	Teknik Sipil

**JUDUL TUGAS AKHIR**

Kapasitas lentur Balok Susun Profil bentukan dingin memikul beban Eksentris

PERIODE KE : III ( Mar 05 - Agst 05 )  
TAHUN : 2004 - 2005

**Berlaku mulai : 22-Mar-05 Sampai Akhir Agustus 05**

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		MAR.	APR.	MEI.	JUN.	JUL.	AGT.
1	Pendaftaran	■					
2	Penentuan Dosen Pembimbing	■					
3	Pembuatan Proposal		■				
4	Seminar Proposal		■	■			
5	Konsultasi Penyusunan TA.			■	■	■	
6	Sidang - Sidang					■	■
7	Pendadaran						■

Dosen Pembimbing I : Fatkhurrohman N,Ir,MT

Dosen Pembimbing II : Suharyatmo.Ir.H.MT



Jogjakarta , 22-Mar-05  
a.n. Dekan

Ir.H.Munadhir, MS

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

KARTU diperbanting  
sampai dengan tanggal \_\_\_\_\_

17 FEB 2006

Munono  
Kabag Akademik

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI
2/10/05 1/2/06 8/2/06		<p>Kata kunci Puntir, geser                      Puntir &amp; lentur (Bahan Melainkan bhu)                      1000), Tindakbalas - Singer</p> <p>lentur + geser, geser lentur → M<sub>1</sub></p> <p>Pers. yg menunjukkan - efek - P e dan                      M (lentur) Distribusi grafik → menggunakan                      Hipotesis</p> <p><u>Siapkan semua</u></p> <p>Konsultasi ke DPU lebih dahulu</p> <p>Sidang</p> <p><u>Perbaiki</u> 24/12-2005</p> <p><u>lanjutkan</u></p> <p><u>Siapkan sidang</u></p>

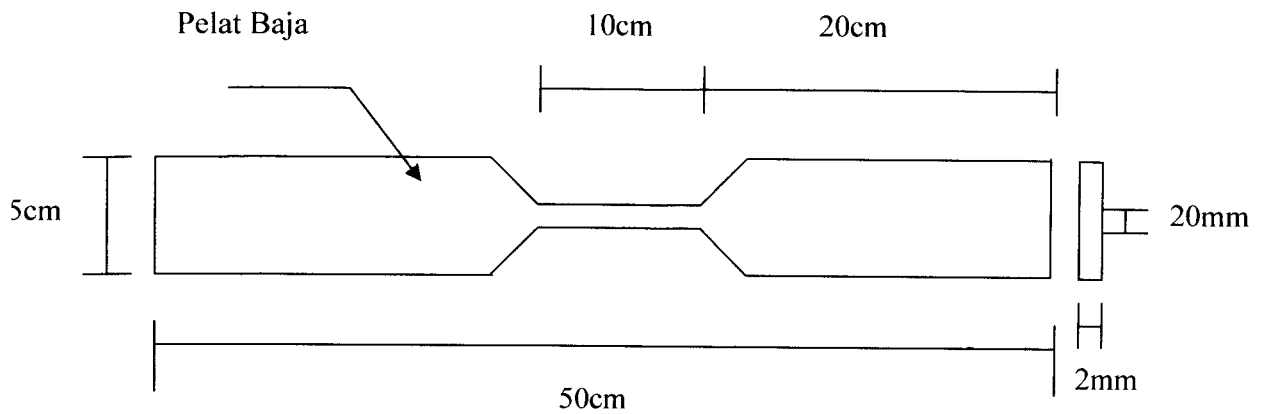
CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANDA TANGAN
	<p>Sidang <del>off</del>  <u>9/2-2002</u></p>	
	<p>Pengurus - ch  M/KM M/KM  Loket T/Re</p>	<p><del>off</del>  18/04-2002</p>
	<p>Tulis <u>trac ca</u> atsu von misse</p>	<p><del>off</del>  26/04-2002</p>
	<p>Sigap Pundador  Pundador</p>	<p><del>off</del>  30/04-2002</p>

## **LAMPIRAN 2**



### Perhitungan Kuat Tarik Baja



#### Benda Uji – 1

Beban Leleh = 1140 Kg

Beban Maksimum = 1580 Kg

Beban Patah = 150 kg

$A = 20.2 = 40 \text{ mm}^2$

$$F_y = \frac{\text{BebanLeleh}}{A} = \frac{1140}{40} = 28,5 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 285 \text{ Mpa}$$

$$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A} = \frac{1580}{40} = 39,5 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 395 \text{ Mpa}$$

## Lampiran 2

### Benda Uji - 2

Beban Leleh = 1200 kg

Beban Maksimum = 1585 kg

Beban Patah = 460 kg

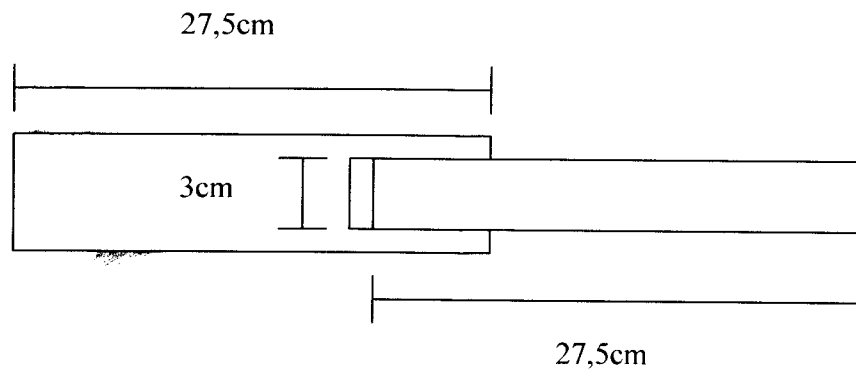
$A = 20.2 = 40 \text{ mm}^2$

$$F_y = \frac{\text{BebanLeleh}}{A} = \frac{1200}{40} = 30 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 300 \text{ Mpa}$$

$$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A} = \frac{1585}{40} = 39,625 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 396,25 \text{ Mpa}$$

## Lampiran 2

### Perhitungan Kuat Geser Las



#### Benda Uji - 1

Beban Maksimal = 1760 Kg

Panjang Las =  $l_w = 30$  mm

Tebal Pelat =  $a = 2$  mm

$$P_{las} = (0,707 \cdot k) \cdot L \cdot (0,3 \cdot F_u)$$

$$1760 \text{ Kg} = (0,707 \cdot 2 \text{ mm}) \cdot 30 \text{ mm} \cdot (0,3 \cdot F_u)$$

$$(0,3 \cdot F_u) = \frac{1760 \text{ Kg}}{(0,707 \cdot 2 \text{ mm}) \cdot 30 \text{ mm}}$$

$$(0,3 \cdot F_u) = \frac{1760 \text{ Kg}}{42,42 \text{ mm}^2}$$

$$(0,3 \cdot F_u) = 41,48 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 414,8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{yjn} = (0,3 \cdot F_u) = 414,8 \text{ Mpa}$$

## Lampiran 2

### Benda Uji – 2

Beban Maksimal = 1840 Kg

Panjang Las =  $l_w = 30$  mm

Tebal Pelat =  $a = 2$  mm

$k =$  tebal las

$$P_{las} = (0,707.k).L.(0,3.F_u)$$

$$1840Kg = (0,707.2mm).30mm.(0,3.F_u)$$

$$(0,3.F_u) = \frac{1840Kg}{(0,707.2mm).30mm}$$

$$(0,3.F_u) = \frac{1840Kg}{42,42mm^2}$$

$$(0,3.F_u) = 43,37 \frac{Kg}{mm^2} = 433,7Mpa$$

$$\sigma_{ijin} = (0,3.F_u) = 433,7Mpa$$

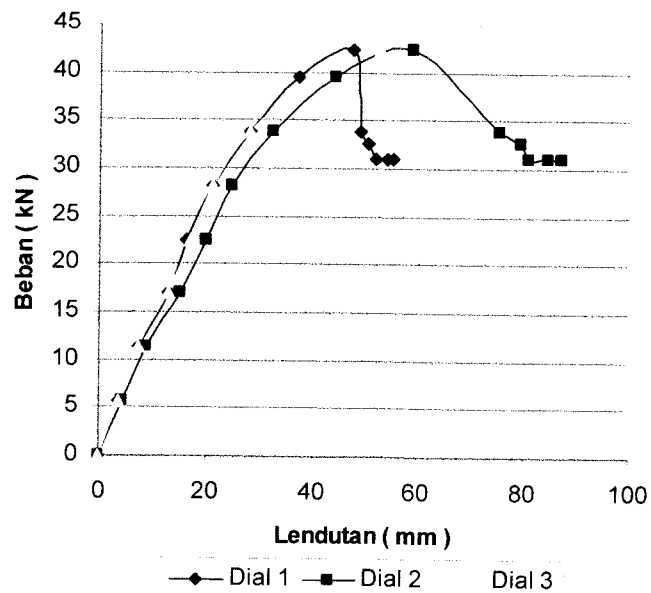
## **LAMPIRAN 3**

### Grafik Hubungan Beban-Lendutan

a. Benda Uji 1

P (Kn)	HASIL PENELITIAN		
	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0	0	0	0
5.642	3.74	4.42	3.74
11.284	7.34	8.65	7.41
16.926	12.83	14.9	12.92
22.568	16.11	19.94	16.81
28.21	21.05	24.55	21.05
33.852	27.83	32.48	27.89
39.494	37.21	44	38.9
42.315	47.35	58.7	52.4
33.852	48.81	75.49	55.88
32.724	50.36	79.3	57.86
31.031	51.97	80.95	60.83
31.031	53.9	84.5	63.6
31.031	55.23	87.26	66.48

Grafik Hubungan Beban-Lendutan  
Pengujian Benda Uji 1

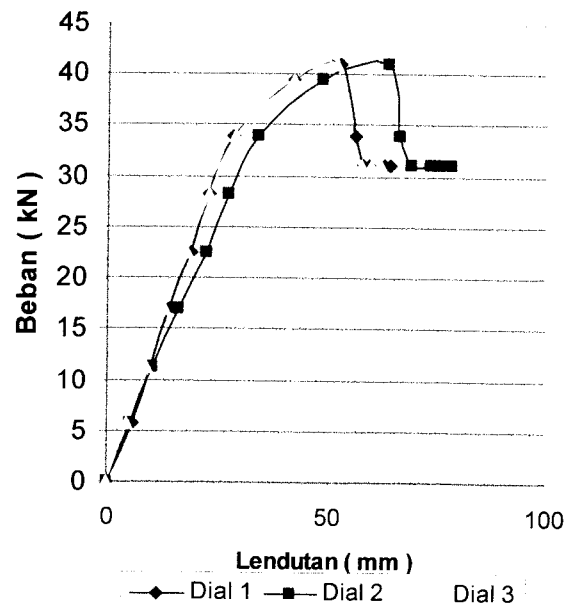


Lampiran 3

b. Benda Uji 2

P (Kn)	HASIL PENGUJIAN		
	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0	0	0	0
5.642	5.65	5.34	4.64
11.284	9.95	10.26	8.86
16.926	13.95	15.84	12.82
22.568	18.63	22.25	17.75
28.21	22.45	26.94	22.75
33.852	28.1	33.64	28.66
39.494	41.88	48.65	41.69
40.904	52.44	63.5	51.43
33.852	55.78	66.05	53.35
31.031	57.75	68.93	55.23
31.031	59.18	73.35	57.52
31.031	62.68	75.75	59.73
31.031	64.13	78.1	61.99

Grafik Hubungan Beban-Lendutan  
Pengujian Benda Uji 2

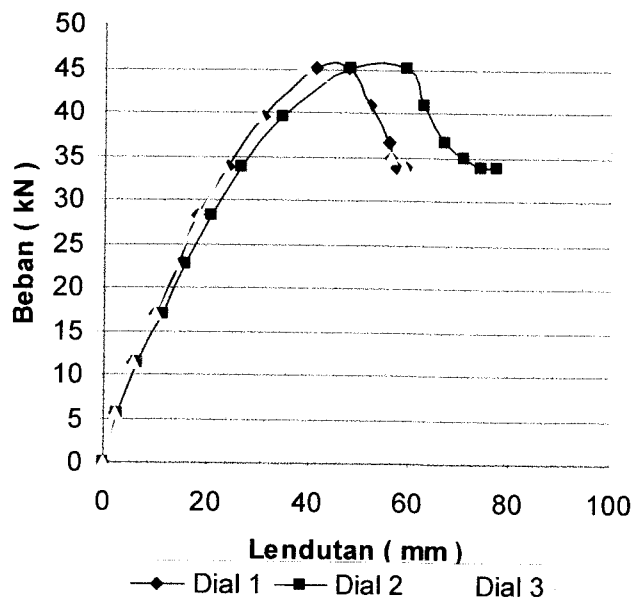


Lampiran 3

c. Benda Uji 3

P ( Kn )	HASIL PENELITIAN		
	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0	0	0	0
5.642	2.39	2.5	2.16
11.284	5.79	6.5	5.66
16.926	10.05	11.43	10.03
22.568	14.75	15.71	13.83
28.21	18.22	20.92	18.38
33.852	23.94	26.41	23.14
39.494	30.81	34.54	29.84
45.136	41.05	48.16	39.39
45.136	47.6	59.1	37.98
40.904	51.75	62.86	50.68
36.673	55.94	67.01	53.59
34.98	56.01	70.6	56.29
33.852	57.14	74.18	58.85
33.852	59.08	77.22	61.21

Grafik Hubungan Beban-Lendutan  
Pengujian Benda Uji 3



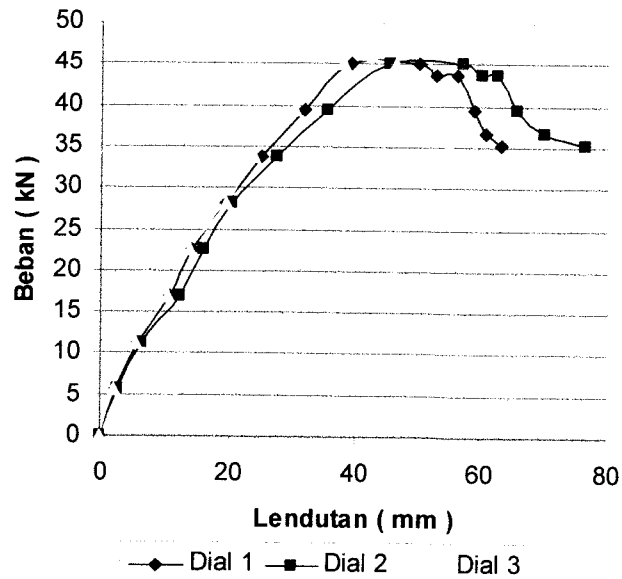


Lampiran 3

d. Benda Uji 4

P ( Kn )	HASIL PENELITIAN		
	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0	0	0	0
5.642	2.38	2.73	2.26
11.284	5.71	6.56	5.5
16.926	10.65	12.21	10.49
22.568	14.05	16.09	13.92
28.21	19.42	20.36	19.27
33.852	24.89	27.46	23.61
39.494	31.7	35.36	30.05
45.136	39.1	45.08	37.71
45.136	49.99	57.01	46.06
43.725	52.5	59.87	47.87
43.725	55.95	62.58	49.4
39.494	58.7	65.53	51.1
36.673	60.6	69.78	52.97
35.262	63.15	76.18	54.75

Grafik Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 4

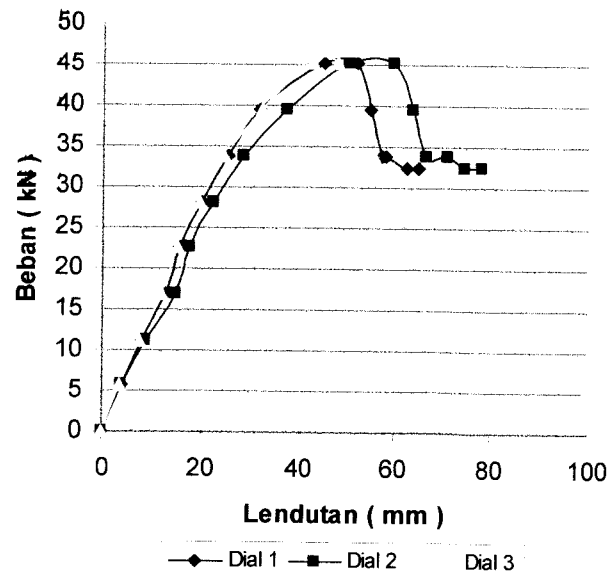


Lampiran 3

e. Benda Uji 5

P ( Kn )	HASIL PENELITIAN		
	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0	0	0	0
5.6424	3.84	4.04	3.45
11.285	8.2	8.75	7.72
16.927	12.75	14.9	12.24
22.57	15.72	17.6	15.33
28.212	20.16	22.61	19.55
33.854	25.34	28.51	24.34
39.497	31.89	37.36	32.15
45.139	44.97	50.2	42.56
45.139	51.67	59.3	47.74
39.497	54.61	63.4	51.04
33.854	57.22	66.3	52.17
33.854	57.98	70.8	55.25
32.444	62.34	74.45	56.39
32.444	64.84	77.9	59.4

Grafik Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 5

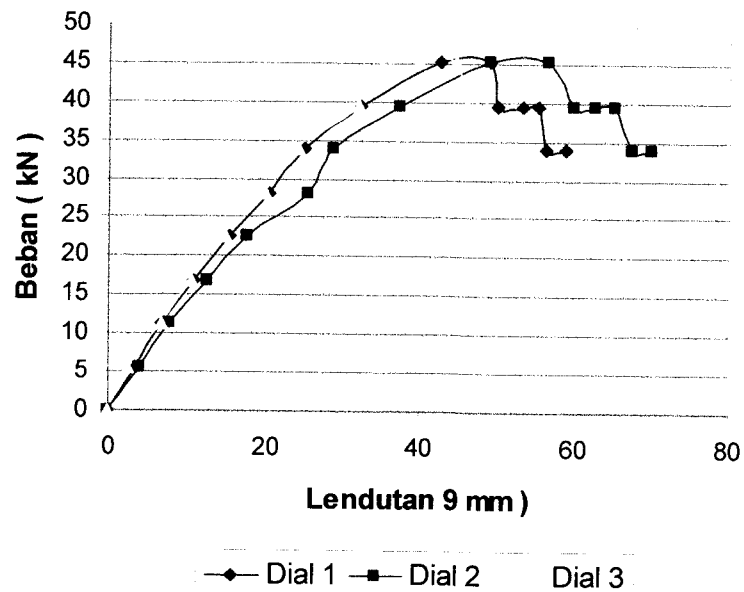


Lampiran 3

f. Benda Uji 6

P ( Kn )	HASIL PENELITIAN		
	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3
0	0	0	0
5.642	3.53	3.93	2.43
11.284	6.83	7.9	6.67
16.926	10.87	12.5	10.53
22.568	15.35	17.65	14.9
28.21	20.42	25.53	19.79
33.852	24.96	28.79	24.16
39.494	32.18	37.11	31.91
45.136	42.46	49	39.72
45.136	49.1	56.6	44.51
39.494	50.06	59.8	46
39.494	53.26	62.7	47.41
39.494	55.36	65.1	48.67
33.852	56.31	67.5	49.89
33.852	58.91	69.9	50.91

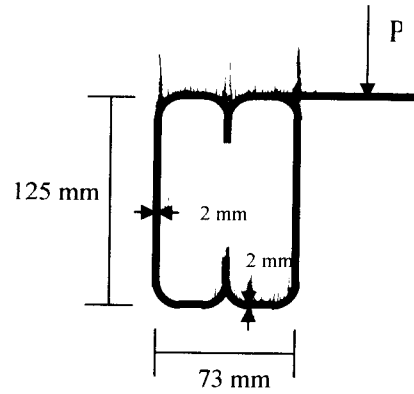
**Grafik Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 6**



# LAMPIRAN 4

.....  
.....  
.....

## Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk Lokal (k)



$$t_w = t_f = 2 \text{ mm}$$

$$b = 73 \text{ mm}$$

$$h = 125 \text{ mm}$$

$$k = \frac{-12(1-\mu^2)}{E\pi^2} \left(\frac{b}{t}\right)^2 \bar{\sigma}_l$$

$$\bar{\sigma}_l = -\frac{M_o a}{2I_x} + \phi \left\{ E \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \frac{a}{2} \left(C_w - \frac{b}{2}\right) + \frac{M_o}{I_y} \left(\frac{b}{2} - C_w\right) \right\}$$

$$\phi = \frac{16e_x M_o}{(M_{cr} - M_o) \left\{ 1,225 \frac{l^2}{EI_y} (M_{cr} + M_b) - 5,623\beta_x - 4\pi e_y \right\}}$$

$$\beta_x = \frac{1}{I_y} \int_A (x^2 + y^2) y dA - 2Y_s$$

Lampiran 4

$$Mcr = 1,13 \frac{\pi^2 E I_y}{l^2} \left\{ C + \sqrt{C^2 + \frac{T}{I_y} \left( 1 + \frac{6J}{EI} \frac{l^2}{\pi^2} \right)} \right\}$$

$$\begin{aligned} I_x &= \left( 2 \cdot \left( \frac{1}{12} b t^3 + b t \cdot \left( \frac{1}{12} h - \frac{t}{2} \right)^2 \right) \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} t \cdot (h - 2t)^3 \right) \\ &= \left( 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 73 \cdot 2^3 + 73 \cdot 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 125 - \frac{2}{2} \right)^2 \right) \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot (125 - 2 \cdot 2)^3 \right) \\ &= 1695053 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_y &= \left( 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \right) \cdot (h - 2t) t^3 + (h - 2t) t \cdot \left( \frac{b}{2} - \frac{t}{2} \right)^2 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} t^3 \cdot \frac{b}{2} \right) \\ &= \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot (125 - 2 \cdot 2) \cdot 2^3 + (125 - 2 \cdot 2) \cdot 2 \cdot \left( \frac{73}{2} - \frac{2}{2} \right)^2 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 2^3 \cdot \frac{73}{2} \right) \\ &= 610171 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_x &= \frac{1}{I_x} \int (x^2 + y^2) Y d_A - 2Ys \\ &= \frac{1}{I_x} \int (x^2 + y^2) Y b dY \\ &= \frac{1}{I_x} \int (x^2 Y + Y^3) b dY \\ &= \frac{1}{I_x} \int \left( \frac{1}{2} Y^2 X^2 + \frac{1}{4} Y^4 \right) b dY \end{aligned}$$

Lampiran 4

$$\begin{aligned}\beta_x &= \frac{1}{1695035} \left( \frac{1}{2} 125^2 73^2 + \frac{1}{4} 125^4 \right) 73 \\ &= \frac{1}{1695035} (10477 + 61035156,25) \cdot 73 \\ &= 2629 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C &= 0.45ey + 0.41\beta_x \quad ,(\text{dimana } ey = 0) \\ &= 0.41\beta_x \\ &= 0.41 \cdot 2629 \\ &= 1077.89 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= \frac{h^2 I_y}{4} \\ &= \frac{125^2 \cdot 610171}{4} \\ &= 2383480469 \text{ (mm}^6\text{)}\end{aligned}$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = 76923.077 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} bt^3 = 1056 \text{ mm}^4$$

$$C_w = 0 \text{ (jarak antara modulus geser dengan sumbu bahan, adalah berhimpit / = 0)}$$

$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$l \text{ (jarak tanpa dukungan lateral)} = 1000 \text{ mm}$$

Lampiran 4

$$M_{cr} = 1,13 \frac{\pi^2 E I_y}{l^2} \left\{ C + \sqrt{C^2 + \frac{T}{I_y} \left( 1 + \frac{GJ}{ET} \cdot \frac{l^2}{\pi^2} \right)} \right\}$$

$$= 1,13 \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 610171}{1000^2} \left\{ 1077,89 + \sqrt{1077,89^2 + \frac{2383480469}{610171} \left( 1 + \frac{76923077 \cdot 1056 \cdot 1000^2}{2 \cdot 10^5 \cdot 2383480469 \cdot 3,14^2} \right)} \right\}$$

$$M_{cr} = 2933544,088 \text{ kN mm}$$

SAMPEL 1 ( e = 0 mm )

$$M_o = \frac{1}{9} PL = \frac{1}{9} \cdot 22,8 \cdot 3000 = 7600 \text{ kN mm}$$

$$\phi = \frac{16exM_o}{(M_{cr} - M_o) \left\{ 1,225 \frac{l^2}{EI_y} (M_{cr} + M_o) - 5,623\beta_x - 4\pi ey \right\}}$$

$$= 0$$

$$\bar{\sigma}_l = -\frac{M_o a}{2I_x} + \phi \left\{ E \left( \frac{\pi}{l} \right)^2 \frac{a}{2} \left( \frac{b}{2} \right) + \frac{M_o}{I_y} \left( \frac{b}{2} - C_w \right) \right\}$$

$$= -\frac{7600 \cdot 125}{2 \cdot 1695035} + 0$$

$$= -0,16365 \text{ kN/mm}^2$$

$$k = -\frac{12(1-\mu^2)}{E\pi^2} \left( \frac{b}{l} \right)^2 \bar{\sigma}_l$$

$$= \frac{-12(1-0,3^2)}{2 \cdot 10^2 (3,14)^2} \left( \frac{73}{2} \right)^2 (-0,34166)$$

$$= 1,2$$



Lampiran 4

SAMPEL 2 ( e = 30 mm )

$$M_o = \frac{1}{9} PL = \frac{1}{9} \cdot 1,24 \cdot 3000 = 413,3 \text{ kN mm}$$

$$\phi = \frac{16 \cdot ex \cdot M_o}{(M_{cr} - M_o) \left\{ 1,225 \frac{I^2}{EI_y} (M_{cr} + M_o) - 5,623 \beta_x - 4 \pi e y \right\}}$$

$$= \frac{16 \cdot 30 \cdot 15337,5}{(2933544088 - 413,3) \left\{ 1,225 \frac{1000^2}{200.610171} (2912057592 + 413,3) - 5,623 \cdot 2629 - 0 \right\}}$$

$$= 4,61 \cdot 10^{-6}$$

$$\bar{\sigma}_t = -\frac{M_o \alpha}{2I_x} + \phi \left\{ E \left( \frac{\pi}{t} \right)^2 \frac{a}{2} \left( \frac{b}{2} \right) + \frac{M_o}{I_y} \left( \frac{b}{2} - C_w \right) \right\}$$

$$= -\frac{413,3 \cdot 125}{2 \cdot 1695035} + 0,000170245 \left\{ 200 \left( \frac{3,14}{1000} \right)^2 \frac{125}{2} \left( \frac{73}{2} \right) + \frac{413,3}{610171} \left( \frac{73}{2} - 0 \right) \right\}$$

$$= -0,00888 \text{ kN/mm}^2$$

$$k = -\frac{12(1-\mu^2)}{E\pi^2} \left( \frac{b}{t} \right)^2 \bar{\sigma}_t$$

$$= -\frac{12(1-0,3^2)}{2 \cdot 10^2 (3,14)^2} \left( \frac{73}{2} \right)^2 (-0,5645)$$

$$= 0,065$$

Lampiran 4

SAMPEL 3 ( e = 60 mm )

$$M_o = \frac{1}{9} PL = \frac{1}{9} \cdot 0,6 \cdot 3000 = 200 \text{ kN mm}$$

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{16 \cdot ex \cdot M_o}{(M_{cr} - M_o) \left\{ 1,225 \frac{t^2}{EI_y} (M_{cr} + M_o) - 5,623 \beta_x - 4 \pi e y \right\}} \\ &= \frac{16 \cdot 60 \cdot 1692375}{(2933544088 - 200) \left\{ 1,225 \frac{1000^2}{200 \cdot 610171} (2933544088 + 200) - 5,623 \cdot 2629 - 0 \right\}} \\ &= 4,46 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_i &= -\frac{M_o a}{2I_x} + \phi \left\{ E \left( \frac{\pi}{t} \right)^2 \frac{a}{2} \left( \frac{b}{2} \right) + \frac{M_o}{I_y} \left( \frac{b}{2} - C_w \right) \right\} \\ &= -\frac{1692375 \cdot 125}{2 \cdot 1695035} + 0,000375506 \left\{ 200 \left( \frac{3,14}{1000} \right)^2 \frac{125}{2} \left( \frac{73}{2} \right) + \frac{1692375}{610171} \left( \frac{73}{2} - 0 \right) \right\} \\ &= -0,00429 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= -\frac{12(1 - \mu^2)}{E \pi^2} \left( \frac{b}{t} \right)^2 \bar{\sigma}_i \\ &= -\frac{12(1 - 0,3^2)}{2 \cdot 10^2 (3,14)^2} \left( \frac{73}{2} \right)^2 (-0,62168) \\ &= 0,031 \end{aligned}$$

SAMPEL 4 ( e = 90 mm )

$$M_o = \frac{1}{9} PL = \frac{1}{9} \cdot 0,4 \cdot 3000 = 133,3 \text{ kN mm}$$

Lampiran 4

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{16exM_0}{(M_{cr} - M_0) \left\{ 1,225 \frac{t^2}{EI_y} (M_{cr} + M_0) - 5,623\beta_x - 4\pi ey \right\}} \\ &= \frac{1690.1692375}{(2933544088 - 1333) \left\{ 1,225 \frac{1000^2}{200610171} (2933544088 + 1333) - 5,6232629 - 0 \right\}} \\ &= 4,46.10^{-6}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_t &= -\frac{M_0 a}{2I_x} + \phi \left\{ E \left( \frac{\pi}{t} \right)^2 \frac{a}{2} \left( \frac{b}{2} \right) + \frac{M_0}{I_y} \left( \frac{b}{2} - C_w \right) \right\} \\ &= -\frac{16923,75.125}{2.1695035} + 0,00056 \left\{ 200 \left( \frac{3,14}{1000} \right)^2 \frac{125}{2} \left( \frac{73}{2} \right) + \frac{16923,75}{610171} \left( \frac{73}{2} - 0 \right) \right\} \\ &= -0,0028 \text{ kN/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k &= -\frac{12(1 - \mu^2)}{E\pi^2} \left( \frac{b}{t} \right)^2 \bar{\sigma}_t \\ &= -\frac{12(1 - 0,3^2)}{200(3,14)^2} \left( \frac{73}{2} \right)^2 (-0,0716) \\ &= 0,021\end{aligned}$$

SAMPEL 5 ( e = 120 mm )

$$M_o = \frac{1}{9} PL = \frac{1}{9} . 0,3 . 3000 = 100 \text{ kN mm}$$

$$\phi = \frac{16exM_0}{(M_{cr} - M_0) \left\{ 1,225 \frac{t^2}{EI_y} (M_{cr} + M_0) - 5,623\beta_x - 4\pi ey \right\}}$$

Lampiran 4

$$\begin{aligned}
 &= \frac{16.120.1692375}{(2933544-100) \left\{ 1,225 \frac{1000^2}{200.610171} (2933544088+100) - 5,623.2629 - 0 \right\}} \\
 &= 4,46.10^{-6} \\
 \bar{\sigma}_t &= -\frac{M_0 a}{2I_x} + \phi \left\{ E \left( \frac{\pi}{t} \right)^2 \frac{a}{2} \left( \frac{b}{2} \right) + \frac{M_0}{I_y} \left( \frac{b}{2} - C_w \right) \right\} \\
 &= -\frac{16923,75.125}{2.1695035} + 0,000751 \left\{ 200 \left( \frac{3,14}{1000} \right)^2 \frac{125}{2} \left( \frac{73}{2} \right) + \frac{16923,75}{610171} \left( \frac{73}{2} - 0 \right) \right\} \\
 &= -0,00213 \text{ kN/mm}^2 \\
 k &= -\frac{12(1-\mu^2)}{E\pi^2} \left( \frac{b}{t} \right)^2 \bar{\sigma}_t \\
 &= -\frac{12(1-0,3^2)}{200(3,14)^2} \left( \frac{73}{2} \right)^2 (-0,61934) \\
 &= 0,016
 \end{aligned}$$

SAMPEL 6 ( e = 150 mm )

$$M_o = \frac{1}{9} PL = \frac{1}{9} . 0,245.3000 = 81,67 \text{ kN mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi &= \frac{16exM_0}{(M_{cr} - M_0) \left\{ 1,225 \frac{t^2}{EI_y} (M_{cr} + M_0) - 5,623\beta_x - 4\pi ey \right\}} \\
 &= \frac{16.150.1692375}{(2933544088 - 81,67) \left\{ 1,225 \frac{1000^2}{200.610171} (22933544088 + 81,67) - 5,623.2629 - 0 \right\}}
 \end{aligned}$$

Lampiran 4

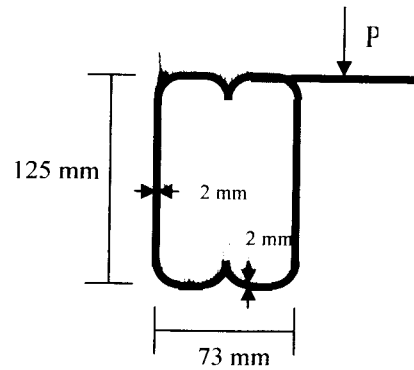
$$= 4,55 \cdot 10^{-6}$$

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_t &= -\frac{M_0 a}{2I_x} + \phi \left\{ E \left( \frac{\pi}{t} \right)^2 \frac{a}{2} \left( \frac{b}{2} \right) + \frac{M_0}{I_y} \left( \frac{b}{2} - C_w \right) \right\} \\ &= -\frac{16923,75 \cdot 125}{2 \cdot 1695035} + 0,000938 \left\{ 200 \left( \frac{3,14}{1000} \right)^2 \frac{125}{2} \left( \frac{73}{2} \right) + \frac{16923,75}{610171} \left( \frac{73}{2} - 0 \right) \right\} \\ &= -0,00174 \text{ kN/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k &= -\frac{12(1-\mu^2)}{E\pi^2} \left( \frac{b}{t} \right)^2 \bar{\sigma}_t \\ &= -\frac{12(1-0,3^2)}{200(3,14)^2} \left( \frac{73}{2} \right)^2 (-0,61817) \\ &= 0,013\end{aligned}$$

## **LAMPIRAN 5**

**Perhitungan Beban Teoritis ( $P_{teoritis}$ )**



$$t_w = t_f = 2 \text{ mm}$$

$$h = 125 \text{ mm}$$

$$b = 73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_x &= \left( 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot b t^3 + b t \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot h - \frac{t}{2} \right)^2 \right) \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t \cdot (h - 2t)^3 \right) \\ &= \left( 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 73 \cdot 2^3 + 73 \cdot 2 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 125 - \frac{2}{2} \right)^2 \right) \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot (125 - 2 \cdot 2)^3 \right) \\ &= 1695053 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$S_x = \frac{I_x}{y/2}$$

$$= \frac{1695035}{125/2}$$

$$= 27136,56 \text{ mm}^3$$

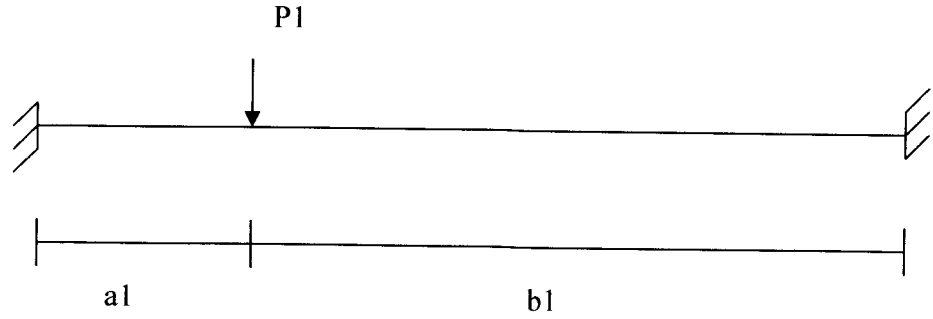
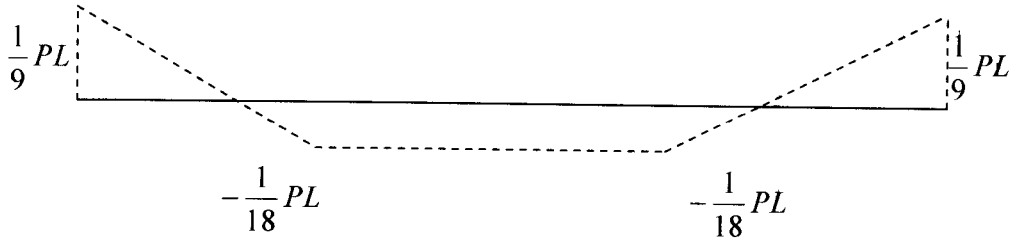
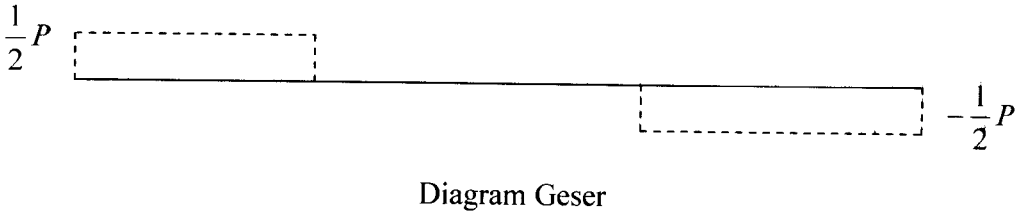
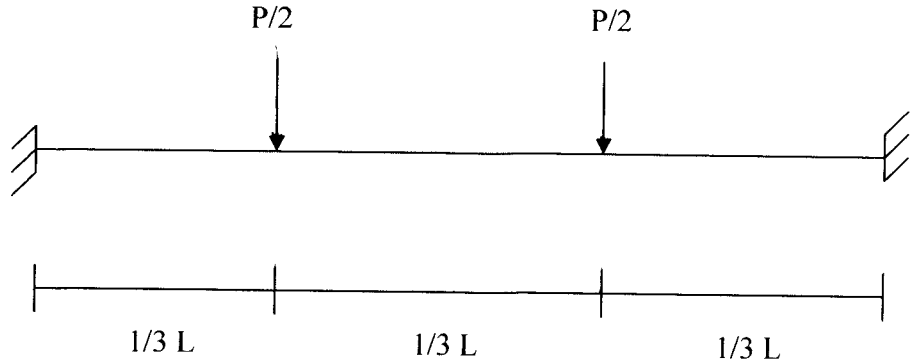
Lampiran 5

$$\begin{aligned} J &= \sum \frac{1}{3} b t^3 = 2 \cdot \left( \frac{1}{3} b t^3 \right) + 2 \cdot \left( \frac{1}{3} (h - 2t) t^3 \right) \text{ mm}^4 \\ &= 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 73 \cdot 2^3 \right) + 2 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot (125 - 4) \cdot 2^3 \right) \\ &= 389,33 + 645,33 \\ &= 1034,67 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

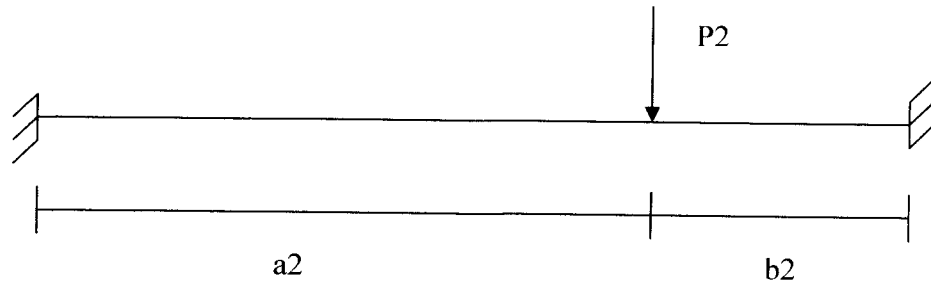
$$\begin{aligned} Q &= 73 \cdot 2 \cdot \left( (0,5 \cdot H) - \frac{t}{2} \right) + 2 \cdot \left( \frac{H - 2t}{2} \right) \cdot 2 \cdot \left( \frac{H - 2t}{4} \right) \\ &= 73 \cdot 2 \cdot \left( (0,5 \cdot 125) - \frac{2}{2} \right) + 2 \cdot \left( \frac{125 - 2 \cdot 2}{2} \right) \cdot 2 \cdot \left( \frac{125 - 2 \cdot 2}{4} \right) \\ &= 8979 \text{ mm}^3 + 7320,5 \text{ mm}^3 \\ &= 16299,5 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$



Lampiran 5



Lampiran 5



$$\begin{aligned}
 M_{\text{Lentur tumpuan}} &= \frac{P_1 a_1 b_1^2 + P_2 a_2 b_2^2}{L^2} \\
 &= \frac{P_1 \frac{1}{3} I \left(\frac{2}{3} L\right)^2 + P_2 \left(\frac{2}{3} L\right) \left(\frac{1}{3} L\right)^2}{L^2} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \cdot P \cdot \frac{4}{27} \cdot L^3 + \frac{1}{2} \cdot P \cdot \frac{2}{27} \cdot L^3}{L^2} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \cdot P \cdot \left(\frac{4}{27} \cdot L^3 + \frac{2}{27} \cdot L^3\right)}{L^2} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \cdot P \cdot \left(\frac{6}{27} \cdot L^3\right)}{L^2} \\
 &= \frac{6}{54} \cdot P \cdot L \\
 &= \frac{1}{9} \cdot P \cdot L
 \end{aligned}$$

Lampiran 5

$$\begin{aligned}M_{\text{lentur lapangan}} &= M_{\text{lentur tumpuan}} - \left( R_{AV} \cdot \frac{1}{3}L \right) \\&= \frac{1}{9}PL - \left( \frac{1}{2}P \cdot \frac{1}{3}L \right) \\&= \frac{1}{9}PL - \frac{1}{6}PL \\&= -\frac{1}{18}PL\end{aligned}$$

❖ SAMPEL 1 ( e = 0 mm )

$$\sigma_{id} = Fy = 285 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{id} &= \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \\&= \sqrt{\left( \frac{M}{S_x} \right)^2 + 3 \cdot (f_{v1} + f_{v2})^2} \\&= \sqrt{\left( \frac{\frac{1}{9} \cdot P \cdot L}{S_x} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{V \cdot Q}{Ib} + \frac{P \cdot e \cdot t}{J} \right)^2} \\&= \sqrt{\left( \frac{\frac{1}{9} \cdot P \cdot L}{S_x} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{0,5 \cdot P \cdot Q}{Ib} + \frac{P \cdot e \cdot t}{J} \right)^2}\end{aligned}$$

Lampiran 5

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9} \cdot P \cdot 3000 \text{ mm}}{27136,56 \text{ mm}^3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot P \cdot 16299,5 \text{ mm}^3}{1695053 \text{ mm}^4 \cdot 4 \text{ mm}} + \frac{P \cdot 0,4 \text{ mm}}{1034,67 \text{ mm}^4}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{333,3 \cdot P}{27136,56}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{8149,75 \cdot P}{6780212} + 0\right)^2} \\ &= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 4,3 \cdot 10^{-6} \cdot P^2} \\ &= \sqrt{1,56 \cdot 10^{-4} \cdot P^2} \\ &= 0,0125 \cdot P \end{aligned}$$

$$\sigma_{id} = 0,0125 \cdot P$$

$$285 \text{ Mpa} = 0,0125 \cdot P$$

$$P_{teoritis} = \frac{285 \text{ Mpa}}{0,0125 \text{ mm}^{-2}} = 22800 \text{ N} = 22,8 \text{ kN}$$

❖ **SAMPEL 2 ( e = 30mm )**

$$\sigma_{id} = F_{cr} = Fy = 285 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{id} &= \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{M}{S_x}\right)^2 + 3 \cdot (f_{v1} + f_{v2})^2} \end{aligned}$$

Lampiran 5

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9} \cdot P \cdot L}{S_x}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{V \cdot Q}{I \cdot b} + \frac{P \cdot e \cdot t}{J}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9} \cdot P \cdot L}{S_x}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot P \cdot Q}{I \cdot b} + \frac{P \cdot e \cdot t}{J}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9} \cdot P \cdot 3000 \text{mm}}{27136,56 \text{mm}^3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot P \cdot 16299,5 \text{mm}^3}{1695053 \text{mm}^4 \cdot 4 \text{mm}} + \frac{P \cdot 30 \text{mm} \cdot 4 \text{mm}}{1034,67 \text{mm}^4}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{333,33 \cdot P}{27136,56}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{8149,75 \cdot P}{6780212} + \frac{120 \cdot P}{1034,67}\right)^2} \\
 &= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 3 \cdot (1,2 \cdot 10^{-3} \cdot P + 0,116 P)^2} \\
 &= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} P^2 + 3 \cdot (0,117 P)^2} \\
 &= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 3 \cdot 0,0137 P^2} \\
 &= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 0,041 P^2} \\
 &= \sqrt{0,041 \cdot P^2}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{id} = 0,20 \cdot P$$

$$285 \text{Mpa} = 0,20 P$$

$$P_{teoritis} = \frac{285 \text{Mpa}}{0,20 \text{mm}^{-2}} = 1425 \text{ N} = 1,42 \text{kN}$$

Lampiran 5

❖ **SAMPEL 3 ( e = 60 mm )**

$$\sigma_{id} = F_{cr} = F_y = 285 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3.\tau^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{M}{S_x}\right)^2 + 3.(f_{v1} + f_{v2})^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9}.P.L}{S_x}\right)^2 + 3.\left(\frac{V.Q}{I.b} + \frac{P.e.t}{J}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9}.P.L}{S_x}\right)^2 + 3.\left(\frac{0,5.P.Q}{I.b} + \frac{P.e.t}{J}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9}.P.3000\text{mm}}{27136,56\text{mm}^3}\right)^2 + 3.\left(\frac{0,5.P.16299,5\text{mm}^3}{1695053\text{mm}^4.4\text{mm}} + \frac{P.60\text{mm}.4\text{mm}}{1034,67\text{mm}^4}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{333,3.P}{27136,56}\right)^2 + 3.\left(\frac{8149,75.P}{6780212} + \frac{240.P}{1034,67}\right)^2}$$

$$= \sqrt{1,5.10^{-4}.P^2 + 3.(1,2.10^{-3}.P + 0,23P)^2}$$

$$= \sqrt{1,5.10^{-4}.P^2 + 3.(0,23.P)^2}$$

$$= \sqrt{1,5.10^{-4}.P^2 + 3.0,054P^2}$$

$$= \sqrt{1,5.10^{-4}.P^2 + 0,162.P^2}$$

Lampiran 5

$$= \sqrt{0,162.P^2}$$

$$\sigma_{id} = 0,4.P$$

$$285Mpa = 0,4P$$

$$P_{teoritis} = \frac{285Mpa}{0,4mm^{-2}} = 712,5 N = 0,7 kN$$

❖ **SAMPEL 4 ( e = 90 mm )**

$$\sigma_{id} = F_{cr} = Fy = 285Mpa$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3.\tau^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{M}{S_x}\right)^2 + 3.(f_{v1} + f_{v2})^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9}.P.L}{S_x}\right)^2 + 3.\left(\frac{V.Q}{I.b} + \frac{P.e.t}{J}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9}.P.L}{S_x}\right)^2 + 3.\left(\frac{0,5.P.Q}{I.b} + \frac{P.e.t}{J}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9}.P.3000mm}{27136,56mm^3}\right)^2 + 3.\left(\frac{0,5.P.16299,5mm^3}{1695053mm^4.4mm} + \frac{P.90mm.4mm}{1034,67mm^4}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{333,33.P}{27136,56}\right)^2 + 3.\left(\frac{8149,75.P}{6780212} + \frac{360.P}{1034,67}\right)^2}$$

Lampiran 5

$$= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 3 \cdot (1,2 \cdot 10^{-3} \cdot P + 0,35P)^2}$$

$$= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} P^2 + 3 \cdot (0,35P)^2}$$

$$= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 3 \cdot 0,12P^2}$$

$$= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 0,36P^2}$$

$$= \sqrt{0,6 \cdot P^2}$$

$$\sigma_{id} = 0,77 \cdot P$$

$$285 \text{ Mpa} = 0,77 P$$

$$P_{teoritis} = \frac{285 \text{ Mpa}}{0,77 \text{ mm}^{-2}} = 370,12 \text{ N} = 0,37 \text{ kN}$$

❖ **SAMPEL 5 ( e = 120 mm )**

$$\sigma_{id} = F_{cr} = Fy = 285 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$$= \sqrt{\left( \frac{M}{S_x} \right)^2 + 3 \cdot (f_{v1} + f_{v2})^2}$$

$$= \sqrt{\left( \frac{\frac{1}{9} \cdot P \cdot L}{S_x} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} + \frac{P \cdot e \cdot t}{J} \right)^2}$$



Lampiran 5

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9} \cdot P \cdot L}{S_x}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot P \cdot Q}{I \cdot b} + \frac{P \cdot e \cdot t}{J}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9} \cdot P \cdot 3000 \text{mm}}{27136,56 \text{mm}^3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot P \cdot 16299,5 \text{mm}^3}{1695053 \text{mm}^4 \cdot 4 \text{mm}} + \frac{P \cdot 120 \text{mm} \cdot 4 \text{mm}}{1034,67 \text{mm}^4}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{333,33 \cdot P}{27136,56}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{8149,75 \cdot P}{6780212} + \frac{480 \cdot P}{1034,67}\right)^2} \\ &= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 3 \cdot (1,2 \cdot 10^{-3} \cdot P + 0,46P)^2} \\ &= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} P^2 + 3 \cdot (0,46P)^2} \\ &= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 3 \cdot 0,215P^2} \\ &= \sqrt{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 0,645 \cdot P^2} \\ &= \sqrt{0,645 \cdot P^2} \end{aligned}$$

$$\sigma_{id} = 0,8 \cdot P$$

$$285 \text{Mpa} = 0,8P$$

$$P_{teoritis} = \frac{285 \text{Mpa}}{0,8 \text{mm}^{-2}} = 309,8 \text{ N} = 0,3 \text{ kN}$$

❖ SAMPEL 6

$$\sigma_{id} = F_{cr} = Fy = 285 \text{Mpa}$$

Lampiran 5

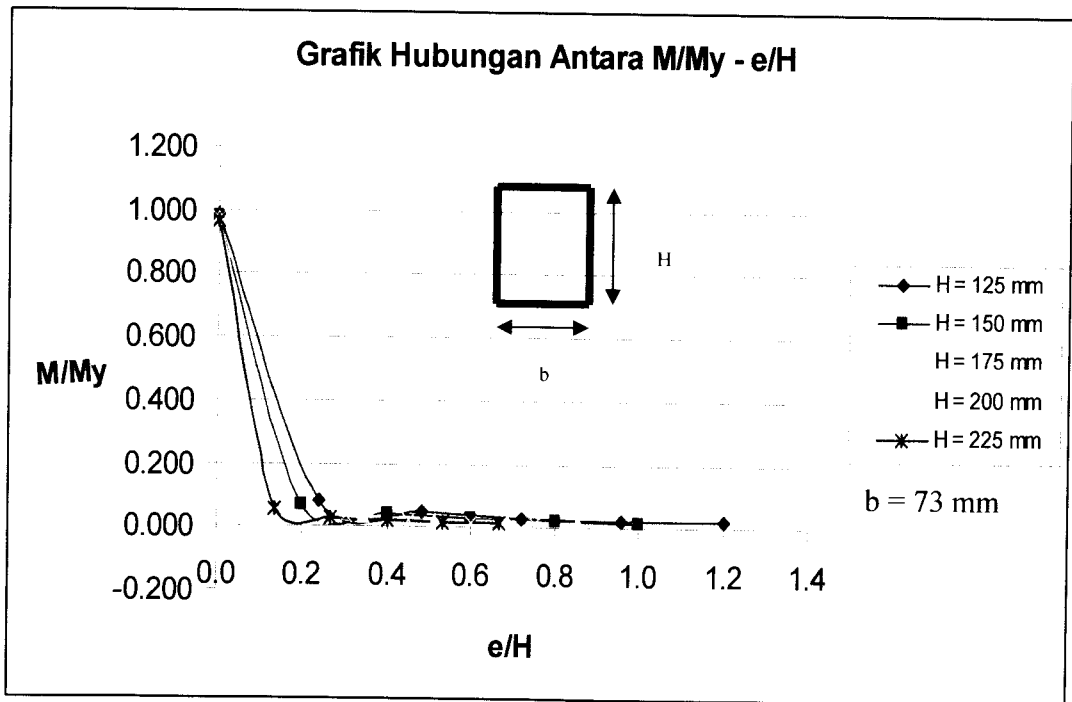
$$\begin{aligned}
 \sigma_{id} &= \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{M}{S_x}\right)^2 + 3\cdot(f_{v1} + f_{v2})^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9}\cdot P\cdot L}{S_x}\right)^2 + 3\cdot\left(\frac{V\cdot Q}{I\cdot b} + \frac{P\cdot e\cdot t}{J}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9}\cdot P\cdot L}{S_x}\right)^2 + 3\cdot\left(\frac{0,5\cdot P\cdot Q}{I\cdot b} + \frac{P\cdot e\cdot t}{J}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{9}\cdot P\cdot 3000\text{mm}}{27136,56\text{mm}^3}\right)^2 + 3\cdot\left(\frac{0,5\cdot P\cdot 16299,5\text{mm}^3}{1695053\text{mm}^4\cdot 4\text{mm}} + \frac{P\cdot 150\text{mm}\cdot 4\text{mm}}{1034,67\text{mm}^4}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{333,33\cdot P}{27136,56}\right)^2 + 3\cdot\left(\frac{8149,75\cdot P}{6780212} + \frac{600\cdot P}{1034,67}\right)^2} \\
 &= \sqrt{1,5\cdot 10^{-4}\cdot P^2 + 3\cdot(1,2\cdot 10^{-3}\cdot P + 0,58P)^2} \\
 &= \sqrt{1,5\cdot 10^{-4}\cdot P^2 + 3\cdot(0,58\cdot P)^2} \\
 &= \sqrt{1,5\cdot 10^{-4}\cdot P^2 + 3\cdot 0,33P^2} \\
 &= \sqrt{1,5\cdot 10^{-4}\cdot P^2 + 0,99\cdot P^2} \\
 &= \sqrt{0,99\cdot P^2}
 \end{aligned}$$

Lampiran 5

$$\sigma_{id} = 0,99.P$$

$$285\text{Mpa} = 0,99P$$

$$P_{teoritis} = \frac{285\text{Mpa}}{0,99\text{mm}^{-2}} = 287,88 \text{ N} = 0,28 \text{ kN}$$



# **LAMPIRAN 6**

## Foto Pelaksanaan Pengujian Benda Uji

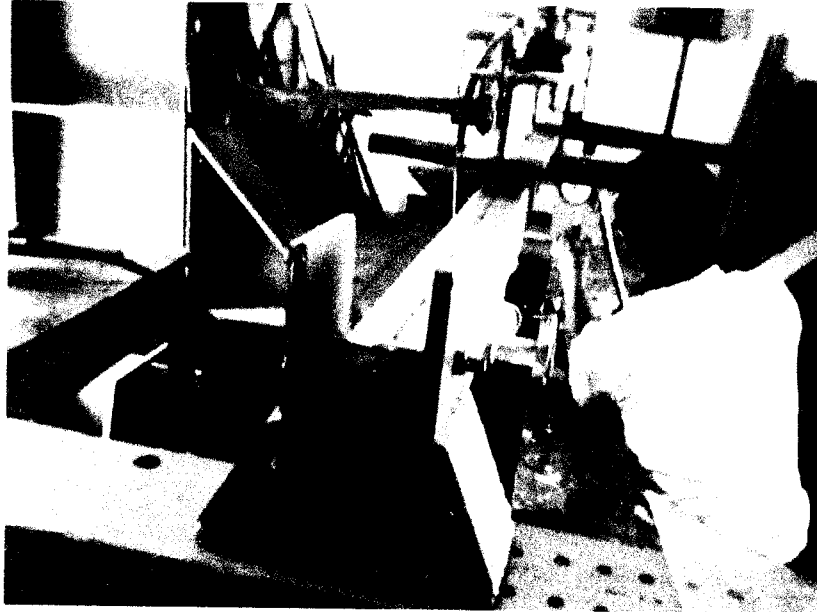


Foto 1. Pemasangan Dial Gauge benda uji

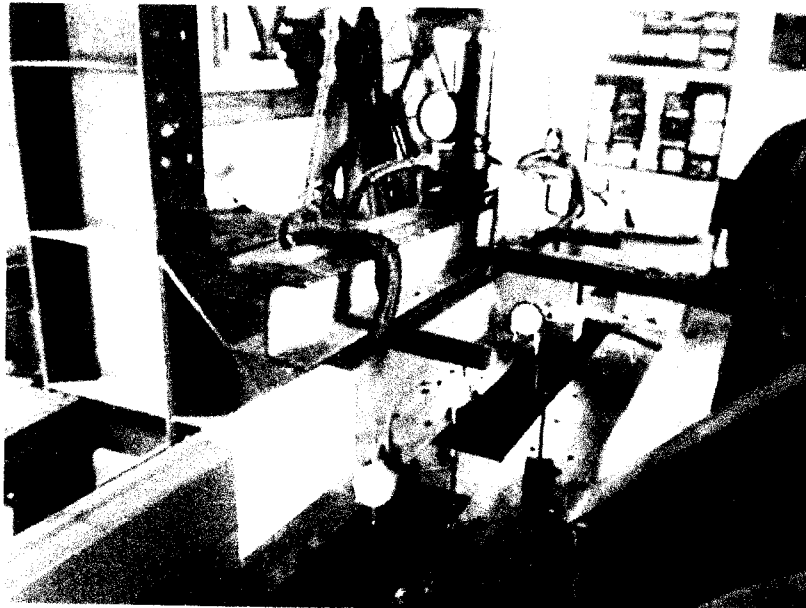


Foto 2. Metode Perletakan Beban

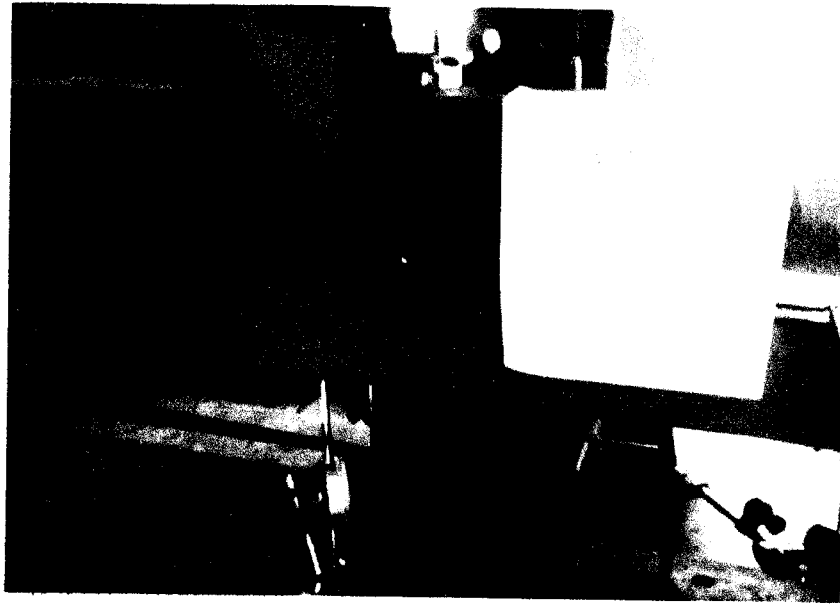


Foto 3. Tekuk Lokal Pada Benda Uji 1



Foto 4. Tekuk Lokal Pada Benda Uji 2

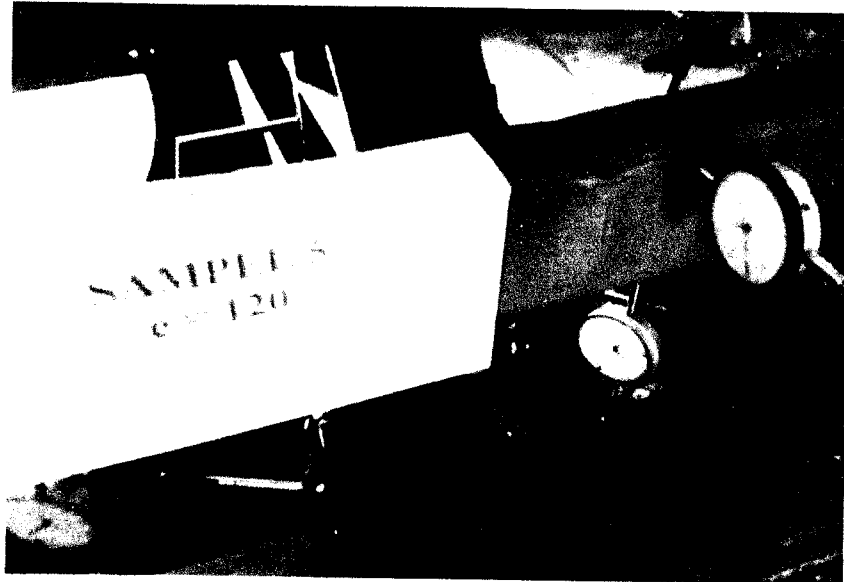


Foto 7. Tekuk Lokal Pada Benda Uji 5

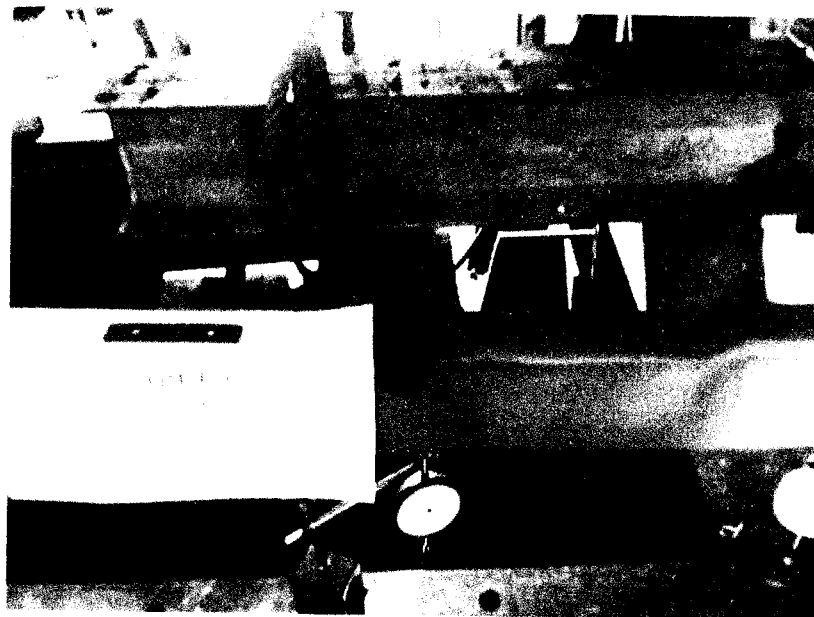


Foto 8. Tekuk Lokal Pada Benda Uji 6

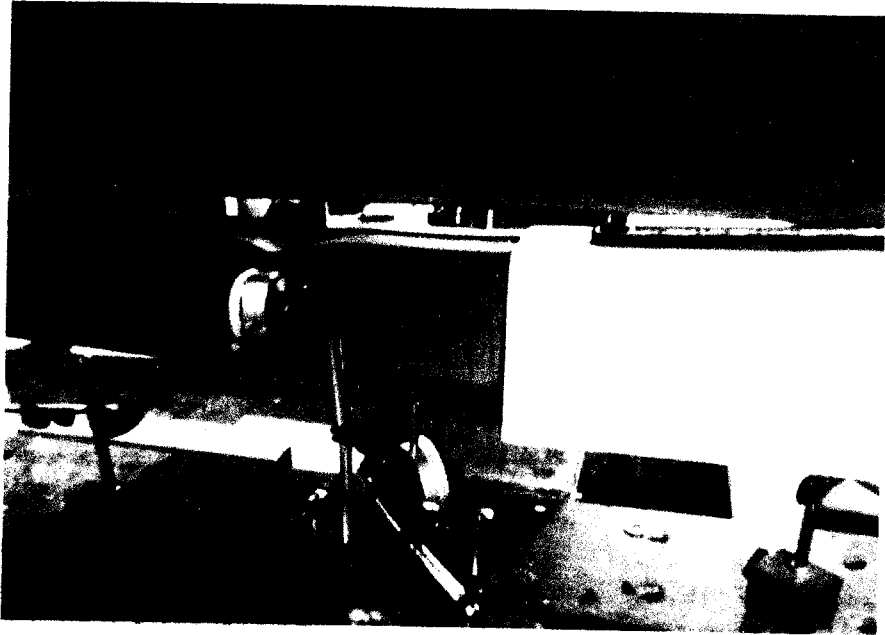


Foto 5. Tekuk Lokal Pada Benda Uji 3

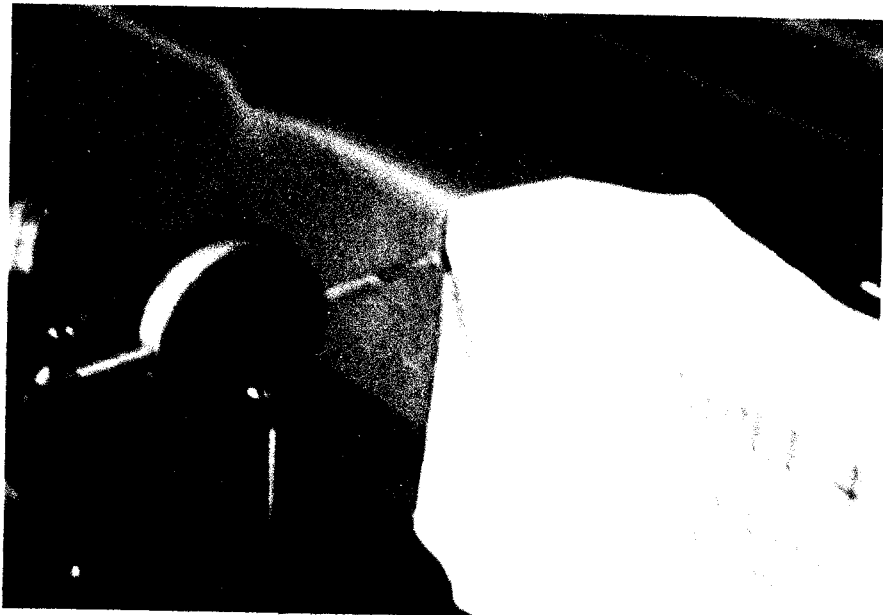


Foto 6. Tekuk Lokal Pada Benda Uji 4