

PERPUSTAKAAN FTSP UII

HADIAH/BELI

28 03 2003

TGL TERIMA :

NO. JUDUL :

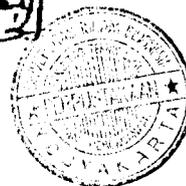
000386

NO. INV. :

5120000386001

**Tugas Akhir**  
**Penelitian Laboratorium**

**KAPASITAS LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG  
KOTAK DENGAN VARIASI JARAK PENGAKU DAN RASIO  
TEBAL SAYAP TERHADAP TEBAL BADAN ( $T/t = 1,15$ )**



Disusun oleh :

Nama : Latif Hajarwanto

No. Mhs : 97 511 142

Nama : Arief Sutanto

No. Mhs : 98 511 298

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

**2003**

MILIK PERPUSTAKAAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

**TUGAS AKHIR  
PENELITIAN LABORATORIUM**

**KAPASITAS LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG  
KOTAK DENGAN VARIASI JARAK PENGAKU DAN RASIO  
TEBAL SAYAP TERHADAP TEBAL BADAN( $T/t=1,15$ )**

disusun oleh :

**Latif Hajarwanto**

No Mhs : 97 511 142

**Arief Sutanto**

No Mhs : 98 511 298

Terah diperiksa dan disetujui oleh :

**Ir. Helmy Akbar Bale, MT.**  
Dosen pembimbing I



Tanggal : 8/3/03

**Ir. Fatkhurrohman N., MT.**  
Dosen pembimbing II



Tanggal : 8/3/03

## KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puja dan puji bagi Allah SWT yang telah memberikan berkah, rahmat dan hidayah-Nya kepada penyusun, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir yang berjudul "KAPASITAS LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG KOTAK DENGAN VARIASI JARAK PENGAKU DAN RASIO TEBAL SAYAP TERHADAP TEBAL BADAN ( $T/t=1.15$ )", penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk memperoleh hasil yang sebaik-baiknya sesuai dengan kemampuan dan pengetahuan yang ada pada penulis serta berpegang pada buku-buku referensi, pedoman dan petunjuk yang terpakai. Penulis sadar bahwa penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang ada pada penulis, untuk itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Selama menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak.Prof. Ir. Widodo, MSCE, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Ir. H. Munadhir, MS., Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT., selaku Dosen Pembimbing I tugas akhir,
4. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT., selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir,
5. Orang Tua kami tercinta, untuk doa, motivasi dan pengertian yang tidak ada habisnya hingga penulis dapat menyelesaikan studi dan Tugas Akhir.
6. Teman-teman yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis, serta semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu.

Atas budi dan amal baik yang telah diberikan, penulis hanya dapat memanjatkan doa, semoga Allah SWT memberikan balasan yang setimpal., semoga hasil yang diperoleh dari penelitian ini bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya.Amien.

Wassalamu`alaikum Wr.Wb.

Jogjakarta Februari 2003

Penulis

## ABSTRAKSI

Gelagar pelat adalah salah satu jenis komponen struktur lentur yang digunakan untuk memenuhi keterbatasan profil giling. Gelagar pelat merupakan struktur lentur tersusun yang badannya mempunyai rasio tinggi terhadap tebal yang cukup besar sehingga masalah instabilitas membatasi kapasitasnya.

Penelitian ekperimental gelagar pelat dengan dukungan sederhana ( sendi – rol ) dilakukan guna mengetahui hubungan  $M_n M_y$  berbanding rasio  $h/t_w$ , hubungan beban dengan lendutan, momen dengan kelengkungan, beban secara teoritis dengan beban pengujian dan nilai  $k$  berbanding rasio  $h/t_w$  dengan variasi jarak pengaku ( $a/h$ ). Dalam penelitian eksperimental ini dibuat tiga buah benda uji dengan  $L/h = 120$   $T/t = 1,15$ ,  $h/t_w = 200$  dan variasi jarak pengaku ( $a/h$ ) 0.44, 0.50, 1.25.

Dari hasil penelitian eksperimental diketahui bahwa dari hubungan beban-lendutan untuk benda uji dengan  $a/h$  0.44 memiliki nilai kekakuan lebih kecil dibandingkan dengan benda uji dengan  $a/h$  0.50 tetapi lebih besar dari  $a/h$  1.25, dari hubungan momen-kelengkungan untuk benda uji dengan  $a/h$  0.44 memiliki nilai  $EI$  lebih kecil dibandingkan dengan benda uji dengan  $a/h$  0.50 tetapi lebih besar dari  $a/h$  1.25 dan duktilitas untuk benda uji dengan  $a/h$  0.44 lebih kecil dari benda uji dengan  $a/h$  0.50 tetapi lebih besar dari  $a/h$  1.25, dari hubungan beban-lendutan untuk semua benda uji lendutan teoritis lebih kecil dibandingkan lendutan pengujian, dari hubungan  $M_n M_y$  berbanding rasio  $h/t_w$  diketahui bahwa semua benda uji memiliki nilai yang sama karena besar rasio  $h/t_w$  untuk semua benda uji sama, dari hubungan nilai  $k$  berbanding rasio  $h/t_w$  untuk benda uji  $a/h$  0,44 dan 0,5 nilai  $k$  pada badan maupun sayap sama yaitu  $k$  sayap 2,0014 dan  $k$  badan 10,5979 sedangkan untuk benda uji  $a/h$  1,25  $k$  pada sayap 1,9458 dan  $k$  badan 10,29312 ini berarti nilai  $k$  untuk benda uji dengan  $a/h$  0.44 dan 0.50 lebih besar dibandingkan  $a/h$  1.25.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
ABSTRAKSI.....	xviii
<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 Penelitian.....	3
1.6    Lokasi Penelitian.....	4
<b>BAB II    TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>BAB III    LANDASAN TEORI.....</b>	
3.1    Gelagar Pelat.....	8
3.2    Stabilitas pelat.....	10

3.3	Tekuk pada Sayap Tekan.....	10
3.4	Lentur Pada Bidang Badan .....	14
3.5	Tekuk Akibat Geser .....	18
3.5.1	Tekuk Elastis Akibat Geser Murni.....	18
3.5.2	Tekuk Inelasti Akibat Geser Murni .....	19
3.5.3	Kekuatan Geser Nominal Termasuk Aksi Medan Tarik .....	20
3.6	Hubungan Momen dengan Kelengkungan.....	21
3.7	Hubungan Beban dengan Lendutan. ....	27
3.8	Daktalitas .....	28
3.9	Nilai Koefisien Kekakuan.....	30
3.10	Pengelompokan Baja Berdasarkan Tegangan Leleh.....	30

#### **BAB IV METODE PENELITIAN**

4.1	Tinjauan umum .....	31
4.2	Persiapan Bahan dan Alat .....	31
4.2.1	Bahan .....	31
4.2.2	Alat yang Digunakan .....	32
1.	Mesin Uji Kuat Tarik .....	32
2.	Meteran .....	33
3.	Loading Frame .....	33
4.	Dukungan Sendi dan Rol .....	34
5.	Dial Gaug.....	e 34

6. Dongkrak Hidraulik .....	35
4.3 Pembuatan Benda Uji .....	35
4.4 Benda Uji .....	36
4.5 Jumlah Benda Uji.....	37
4.6 Pengujian Benda Uji .....	37
4.6.1 Pengujian Kuat Tarik Pelat .....	37
4.6.2 Pengujian Kuat Lentur .....	37
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1 Hasil Penelitian Pendahuluan .....	39
5.1.1 Hasil Uji Kuat Tarik Pelat dan Profil Siku .	39
5.2 Hasil Pengujian Lentur Gelagar Pelat Penampang	40
Kotak .....	
5.2.1 Hubungan Beban-Lendutan Lentur .....	40
5.2.2 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan	41
Lentur (vertikal) .....	
5.2.3 Hubungan Nilai Koefisien Kekakuan Pelat	42
dengan Rasio $h/tw$ .....	
5.2.4 Analisa data Hubungan Nilai Koefisien	
Kekakuan Pelat dengan Rasio $h/tw$ .....	44
5.2.5 Hubungan rasio $Mn/My$ dengan $h/tw$ .....	44
5.2.6 Analisa Data Hubungan rasio $Mn/My$	
dengan $h/tw$ .....	45
5.2.7 Hubungan Momen Kelengkungan dan	

	Lentur (vertikal) .....	45
5.2.8	Analisa Data Hubungan Momen	
	Kelengkungan Lentur (vertikal) .....	46
5.2.9	Perbandingan Hubungan Beban Lendutan	
	Secara Teoritis Hubungan Beban Lendutan.	46
5.2.10	Analisa Data Perbandingan Hubungan	
	Beban Lendutan Secara Teoritis Hubungan	49
	Beban Lendutan .....	
5.3	Analisa Kerusakan Pada Benda Uji .....	49
5.4	Pembahasan .....	49
5.4.1	Kuat Tarik Baja Berdasarkan Hasil	
	Pengujian Kuat Tarik Baja .....	49
5.4.2	Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang	
	Kotak Berdasarkan Hubungan Beban-	
	Lendutan Lentur .....	50
5.4.3	Daktalitas Ditinjau dari Hubungan Beban-	
	Lendutan Lentur .....	50
5.4.4	Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang	
	Kotak Ditinjau dari Hubungan Nilai	
	Koefisien Kekakuan Pelat dengan Rasio	
	$h/t_w$ .....	51
5.4.5	Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang	
	Kotak Ditinjau dari Hubungan $M_n/M_y$	

	dengan Rasio $h/w$ .....	51
5.4.6	Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang Kotak Ditinjau dari Hubungan Momen- Kelengkungan .....	52
5.4.7	Daktalitas Gelagar Pelat Penampang Kotak Ditinjau dari Hubungan Momen- Kelengkungan .....	52
5.4.8	Perbandingan Hubungan Beban Lendutan Teoritis Dengan Hubungan Beban Lendutan Pengujian.....	53
<b>BAB VI KESIMPULAN</b>		
6.1	Kesimpulan .....	54
6.2	Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		56
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3.1 Elemen - elemen gelagar pelat bentuk kotak
- Gambar 3.2 Distribusi tegangan pada pelbagai tahap pembebanan
- Gambar 3.3 Koefisien Tekuk Untuk Pelat Yang Ditekan Secara Merata – Tepi Longitudinal Tumpuan Sederhana
- Gambar 3.4 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar
- Gambar 3.5. Perbandingan antara tekuk plat dengan tekuk kolom
- Gambar 3.6 Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak
- Gambar 3.7 Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni
- Gambar3.8 Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur
- Gambar 3.9 Dua keadaan dari jarak pengaku antara
- Gambar 3.10 Tegangan pada pelat badan
- Gambar 3.11 Kapasitas geser yang tersedia dengan memperhitungkan kekuatan pasca tekuk
- Gambar 3.12 Aksi medan tarik
- Gambar 3.13 Deformasi segmen balok dalam lenturan
- Gambar 3.14 Momen kelengkungan
- Gambar 3.15 Grafik momen kelengkungan
- Gambar 3.16 Hubungan beban dan lendutan pada balok
- Gambar 4.1 Mesin Uji Kuat Tarik
- Gambar 4.2 Bentuk Fisik Loading Frame

- Gambar 4.3 Dukungan Sendi dan Rol
- Gambar 4.4 Dial Gauge
- Gambar 4.5 Dongkrak Hidrolik
- Gambar 4.6 Model Benda Uji
- Gambar 4.7 Model Pembebanan
- Gambar 5.1 Grafik hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)  
Ketiga Benda Uji
- Gambar 5.2 Grafik Hubungan  $h/tw$  VS  $k$  sayap
- Gambar 5.3 Grafik Hubungan  $h/tw$  VS  $k$  badan
- Gambar 5.4 Grafik Hubungan rasio  $M_u/M_y$  dengan  $h/tw$
- Gambar 5.5 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal) dari  
Ketiga Benda Uji
- Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teorisis dengan  
Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 1
- Gambar 5.7 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teorisis dengan  
Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 2
- Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teorisis dengan  
Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 3

## DAFTAR TABEL

- Tabel 5.1 Hasil pengujian kuat tarik baja
- Tabel 5.2 Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan lentur (vertikal)
- Tabel 5.3 Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan lentur (vertikal)
- Tabel 5.4 Analisa hubungan nilai koefisien kekakuan pelat dengan rasio  $h/tw$
- Tabel 5.5 Analisa rasio  $M_n/M_y$  dengan  $h/tw$
- Tabel 5.6 Analisa kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan lentur (vertical)
- Tabel 5.7 Analisa DaktilitasKelengkungan dari hubungan momen-kelengkungan lentur (vertical)
- Tabel 5.8 Analisa perbandingan beban-lendutan secara teoritis dengan beban-lendutan pengujian ( $P_{teoritis} = P_{pengujian}$ )

## 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
Cb	=	Faktor untuk menghitung gradien momen kekuatan balok, nilainya 1,0-2,3
Cc	=	Rasio kerampingan $KL/r$ yang memisahkan antara kolom panjang dan pendek ASD
$C_v$	=	Rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh
$C_w$	=	Konstanta kelengkungan puntir
d	=	Tinggi gelagar
$d_w$	=	Kedalaman badan
D	=	Nilai geser maksimum pada
e	=	Eksentrisitas badan
E	=	Modulus elastisitas
f	=	Tegangan karena geser langsung
fa	=	Tegangan tarik aksial beban layanan

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

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

- $\rho$  = Rasio luas penampang lintang badan  $A_w$  terhadap luas penampang  $A_f$  salah satu flens
- $\sigma$  = Tegangan
- $\pi$  = Konstanta = 3,15

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan desain struktur baja lebih dari 90 tahun menuntut pengetahuan mendalam tentang perilaku struktur dan material Salmon dan Johnson, 1996. Baja struktural adalah suatu jenis baja dengan pertimbangan ekonomi, kekuatan dan sifatnya cocok untuk pemikul beban, tetapi karena keterbatasan ukuran penampang baja struktur sehingga hanya digunakan untuk struktur lentur bentang pendek sedangkan untuk struktur bentang panjang digunakan struktur rangka atau batang tersusun, salah satu diantaranya adalah gelagar pelat yang merupakan balok penampang langsing dengan rasio tinggi terhadap tebal ( $h/t$ ) cukup besar. Akan tetapi dengan rasio tinggi terhadap tebal ( $h/t$ ) yang cukup besar instabilitas gelagar pelat menjadi masalah yang utama karena nilai tegangan kritis ( $f_{cr}$ ) kecil dan rawan terhadap tekuk lokal.

Gelagar pelat dapat dipandang terdiri dari elemen - elemen pelat oleh karena itu perilaku gelagar pelat dipengaruhi elemen pelat tersebut. Secara umum pelat

dapat digolongkan menjadi 2 yaitu elemen yang diperkuat dan elemen yang tidak diperkuat. Elemen yang diperkuat adalah elemen yang bertumpu pada dua tepi dan elemen pelat yang tidak diperkuat yaitu elemen yang bertumpu pada satu tepi. Gelagar pelat bentuk kotak elemen penampangnya terdiri atas dua pelat badan, pelat sayap atas dan pelat sayap bawah yang dihubungkan secara menerus oleh pelat badan. Pelat sayap berfungsi memikul sebagian besar momen yang bekerja pada gelagar pelat, sedangkan pelat badan berfungsi menahan gaya geser dan menghubungkan sayap-sayap menjadi satu kesatuan.

Melihat kondisi tersebut maka timbulah pemikiran untuk melakukan suatu penelitian tentang gelagar pelat penampang kotak dengan pengaku transversal yang dibebani momen dengan cara memberi beban transversal pada gelagar tersebut sehingga dapat diketahui kapasitas lentur dari gelagar pelat tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Menyelidiki kapasitas lentur pada gelagar pelat bentuk kotak pada elemen yang dapat menyebabkan terjadinya tekuk lokal sehingga keruntuhan dini dapat terjadi tegangan leleh baja tercapai.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian kuat lentur gelagar pelat penampang kotak dengan pengaku transversal adalah untuk <sup>mengetahui</sup> mendapatkan perilaku gelagar pelat penampang kotak dari :

1. hubungan beban-lendutan ( $P$  vs  $\Delta$ ),

2. hubungan momen-kelengkungan ( $M$  vs  $\Phi$ ) ,
3. hubungan nilai koefisien kekakuan pelat ( $k$ ) dengan rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/t$ ) dan,
4. hubungan tanpa dimensi dalam rasio  $M_x/M_y$  dengan rasio  $h/t_w$

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui :

1. menambah wawasan bagi penulis serta pembaca tentang desain struktur baja,
2. memberikan alternatif lain sebagai bahan pertimbangan jika ditemukan permasalahan – permasalahan yang identik dengan penelitian ini sehingga kebijaksanaan yang diambil dapat lebih baik dan ,
3. memberikan masukan kepada para pembaca sebagai pengetahuan yang bermanfaat untuk perencanaan bangunan struktur baja.

#### 1.5 Batasan penelitian

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

1. gelagar pelat tumpuan sederhana (sendi -- rol) penampang kotak dengan dengan pembebanan statis bertahap pada setiap 1/3 bentang ,
2. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung las ,
3. Bentang gelagar kotak ( $L/h$ ) konstan,

## **1.6 Lokasi Penelitian**

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

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Gelagar adalah elamen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya **Spiegel dan Limbrunner,1991**.

Gelagar pelat cukup ekonomis bila bentangnya cukup panjang karena dibuat dari elemen elemen pelat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien dibandingkan balok tempa **Salmon dan johnson 1986**.

**Salmon dan Johnson 1996**. Badan balok yang ramping mengakibatkan permasalahan antara lain: (1) Tekuk sayap tekan dalam arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah tekuk sedemikian rupa , (2) Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan balok tersebut untuk memikul beban elastis dan momen lentur , (3) Tekuk karena geser

Menurut **Timoshenko dan woinowski 1959** dari Gambar 3.3 dapat dilihat variasi nilai  $k$  terhadap aspek rasio  $a/b$  dari pelat yang ditekan secara merata tepi longitudinal bertumpuan sederhana, bilangan  $m$  menunjukkan banyaknya separuh gelombang dalam arah  $x$  pada saat tekuk sehingga harga  $k$  minimum untuk jumlah separuh gelombang tertentu yakni Kondisi terlemah yang terjadi pada saat panjang

pelat merupakan kelipatan bulat dari lebarnya dan bahwa kelipatan ini sama banyaknya dengan separuh gelombang. Jadi, dengan  $a/b = m$  akan diperoleh  $k$  sama dengan 4. selanjutnya bila  $m$  bertambah besar, persamaan  $k$  menjadi makin datar dan mendekati harga konstanta untuk rasio  $a/b$  yang besar. Hal ini memberikan persamaan tegangan tekuk elastik pelat yang mengalami tekanan merata sepanjang dua tepi dan bertumpuan sederhana di sepanjang kedua tepi yang sejajar beban

**NS. Trahair dan MA. Bradford, 1988** menyimpulkan tegangan kritis pada gelagar pelat dipengaruhi oleh nilai konstanta ( $k$ ), modulus elastis bahan ( $E$ ) dan rasio lebar sayap terhadap tinggi badan ( $b/d$ ) dan rasio tebal sayap terhadap tebal badan ( $T/t$ ).

Nilai  $k$  dipengaruhi oleh rasio  $a/b$  dan kondisi dari tepi-tepi pelat dimana semakin besar nilai  $a/b$  maka nilai  $k$  akan mendekati konstan. Untuk pelat jepit-jepit 6,97 untuk pelat tumpuan sederhana untuk nilai  $k = 4$  **Salmon dan Johnson, 1996**.

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

**Paulay dan Priestley, 1992** menyimpulkan bahwa hubungan antara kekuatan momen nominal  $M_n$  vs  $h/t_w$ . Untuk  $h/t$  antara 0–51 terjadi pengerasan regangan, pada  $h/t$  51–162 tekuk lentur pada badan tidak terjadi, pada  $h/t$  162–320 tekuk lentur pada badan mungkin terjadi, pada  $h/t > 320$  tekuk vertikal pada sayap tekan mungkin

terjadi. Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio sebesar  $h/t_w$ . Tekuk mungkin akan terjadi akibat lentur pada bidang badan.

**Salmon dan Johnson, 1986** menyimpulkan bahwa aksi medan adalah aksi membran badan untuk memikul gaya tarik dan pengaku memikul gaya tekan.

Dengan menganggap stabilitas lateral sayap tekan memadai, perencanaan gelagar didasarkan pada pencapaian kekuatan lentur penampang maksimum. Perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen-kelengkungan yang menggambarkan perilaku balok pada berbagai kondisi, yaitu saat kondisi elastis, leleh, elastis-plastis dan plastis **Paulay dan Priestley, 1992**.

Menurut **Pandey dkk, 1991** dari Gambar 3.11 pada pengujian kuat lentur balok badan terbuka, didapatkan defleksi pada titik-titik distrik dengan menggunakan pendekatan kemiringan menggunakan metoda *central different*.

**Park dan Paulay, 1975** mengemukakan bahwa jika pada suatu balok mengalami lentur, maka bentuk perubahan dari sumbu netral disebut dengan kurva elastis (*elastic curve*).

**Lynn S. Beedle**, 1958 menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar juga momennya.

**Paulay dan Priestley, 1992** dari Gambar 3.14 Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier

## BAB III

### LANDASAN TEORI

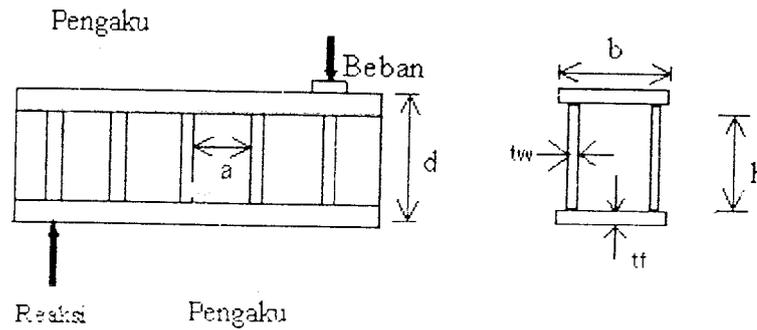
#### 3.1 Gelagar Pelat

Menurut **Salmon dan Johnson, 1996**, gelagar pelat mempunyai bentuk yang mirip dengan profil I yang bukan bentukan hanya saja perilaku pada gelagar pelat sangat berbeda dengan profil I yang bukan bentukan . Gelagar pelat dapat dipandang terdiri dari elemen - elemen pelat sehingga perilaku profil dipengaruhi perilaku pelat.

Secara umum elemen 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. Pada Gambar (3.1) ada tiga elemen dasar gelagar pelat bentuk kotak antara lain :

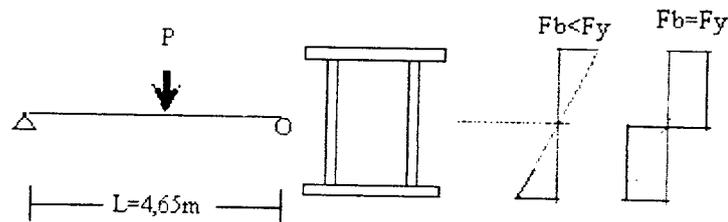
1. Badan adalah Pelat baja yang diletakkan memanjang vertikal, umumnya pelat badan relatif tipis yang diperkaku dengan pelat sayap dan pengaku transversal (**Salmon dan Johnson,1996**).
2. Sayap terdiri dari dua bagian yang diletakkan pada posisi memanjang horisontal, yang dilas pada bagian atas dan bagian bawah badan (**Salmon dan Johnson,1996**)

3. Pengaku umumnya dipergunakan bila pelat badan sangat tipis, rasio  $h/t_w$  besar dan tegangan geser badan relatif tinggi. Pengaku secara efektif akan menambah kapasitas geser terhadap tekukan geser badan. (Bowles, 1985).



**Gambar 3.1** elemen - elemen gelagar pelat bentuk kotak

Perencanaan gelagar pelat didasarkan pada kekuatan batas (awal dari strain hardening) agar tekuk elastis pada elemen plat dapat dicegah dan mencegah keruntuhan dini pada pelat.



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

Pada Gambar 3.2 diasumsikan tegangan plastis yang sudah dalam selang plastis tidak melampaui tegangan leleh  $F_y$ . Tegangan yang terjadi sama dengan atau lebih besar dari  $F_y$  maka profil ini dikatakan kompak atau mencapai *strain hardening*.

### 3.2 Stabilitas Plat

Bila ditinjau dari sudut bahan, badan yang tipis dengan pengaku akan menghasilkan gelagar yang paling ringan. Namun tekuk lokal dapat terjadi sehingga elemen yang tertekuk tidak dapat memikul beban tambahan. Dengan demikian instabilitas pelat badan yang tipis menjadi masalah utama (**Salmon dan Johnson, 1986**). Persamaan diferensial untuk lentur pelat homogen adalah pada persamaan 3.1:

$$D \left( \frac{\delta^2 \omega}{\delta x^2} + 2 \frac{\delta^4 \omega}{\delta x^2 \delta y^2} + \frac{\delta^4 \omega}{\delta y^4} \right) = q \quad (3.1)$$

dimana :  $\omega$  = besar defleksi ;  $D$  = angka kekakuan ( $El$ ) =  $\left\{ \frac{EI^3}{12(1-\mu^2)} \right\}$  ;

$\mu$  = angka poisson;  $q$  = komponen beban transversal akibat lenturan pelat.

Persamaan 3.2 bila ditulis untuk balok dengan lebar  $b$ , menjadi persamaan diferensial untuk beban :

$$El \frac{d^4 w}{dx^4} = qb \quad (3.2)$$

Dimana  $qb$  merupakan beban panjang satuan di sepanjang bentang balok

### 3.3 Tekuk pada Sayap Tekan

Menurut **Salmon dan Johnson** disamping suku umum  $q$  mewakili komponen beban transversal yang menyebabkan lentur pelat, perlu pula ditinjau komponen transversal gaya tekan  $Nx$  bila pelat tersebut terdefleksi keposisi yang sedikit tertekuk. Penjumlahan gaya-gaya dalam arah  $z$  pada elemen pelat memberikan;

$$N_x dy \frac{\partial w}{\partial x} - \left( N_x + \frac{\partial N_x}{\partial x} dx \right) dy \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx \right) = q dx dy \quad (3.3)$$

sehingga persamaan diferensial Persamaan 3.3 menjadi :

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = - \frac{N_x}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (3.4)$$

yang merupakan persamaan differensial parsial dengan  $w$  sebagai fungsi dari  $x$  dan  $y$ . lendutan  $w$  dapat dinyatakan sebagai perkalian fungsi  $x$  ( $X$ ) dan fungsi  $y$  ( $Y$ ). juga, tekuk dapat dianggap menimbulkan lendutan yang berbentuk kurva sinus dalam arah  $x$ , jadi,

$$w = X(x) Y(y) \quad (3.5)$$

substitusi Persamaan 3.4 menjadi,

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

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

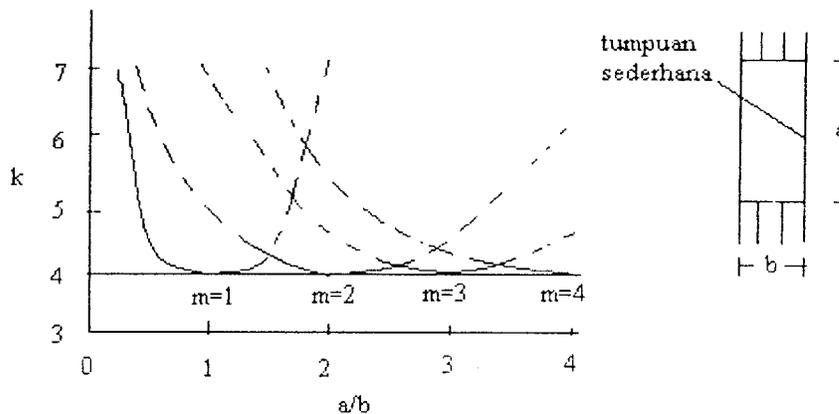
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.7)$$

dari rumus tegangan tekuk elastis diatas dapat dilihat dipengaruhi oleh nilai  $k$  dan  $b/t$ . apabila nilai  $k$  besar maka akan diperoleh  $F_{cr}$  yang besar sedangkan bila  $b/t$  besar akan diperoleh  $F_{cr}$  yang kecil. Dengan kata lain nilai dari tegangan tekuk elastis dipengaruhi oleh nilai ( $k$ ) dan rasio  $b/t$ . Nilai  $k$  untuk Persamaan 3.7 adalah,

$$k = \left[ \frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.8)$$

Koefisien  $k$  merupakan fungsi dari jenis tegangan dan kondisi tepi disamping rasio aspek  $a/b$  yang muncul secara langsung dalam persamaan tersebut. Bilangan  $m$

menunjukkan banyaknya pengaruh gelombang yang terjadi dalam arah  $x$  pada saat tekuk.



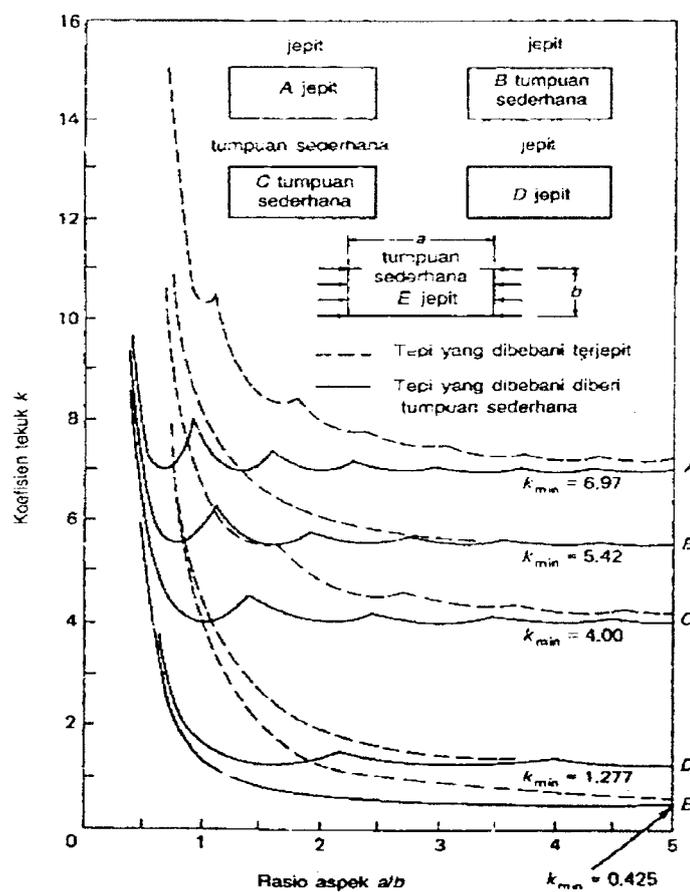
**Gambar 3.3** Koefisien tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana

Menurut Timoshenko dan Woinowski 1959 dari Gambar 3.3 dapat dilihat variasi nilai  $k$  terhadap aspek rasio  $a/b$  dari pelat yang ditekan secara merata tepi longitudinal bertumpuan sederhana, bilangan  $m$  menunjukkan banyaknya separuh gelombang dalam arah  $x$  pada saat tekuk sehingga harga  $k$  minimum untuk jumlah separuh gelombang tertentu yakni kondisi terlemah yang terjadi pada saat panjang pelat merupakan kelipatan bulat dari lebarnya dan bahwa kelipatan ini sama banyaknya dengan separuh gelombang. Jadi, dengan  $a/b=m$  akan diperoleh  $k$  sama dengan 4 selanjutnya bila  $m$  bertambah besar, persamaan  $k$  menjadi makin datar dan mendekati harga konstant untuk rasio  $a/b$  yang besar. Hal ini memberikan persamaan tegangan tekuk elastik pelat yang mengalami tekanan merata sepanjang dua tepi dan

bertumpuan sederhana di sepanjang kedua tepi yang sejajar beban sehingga diperoleh persamaan 3.9:

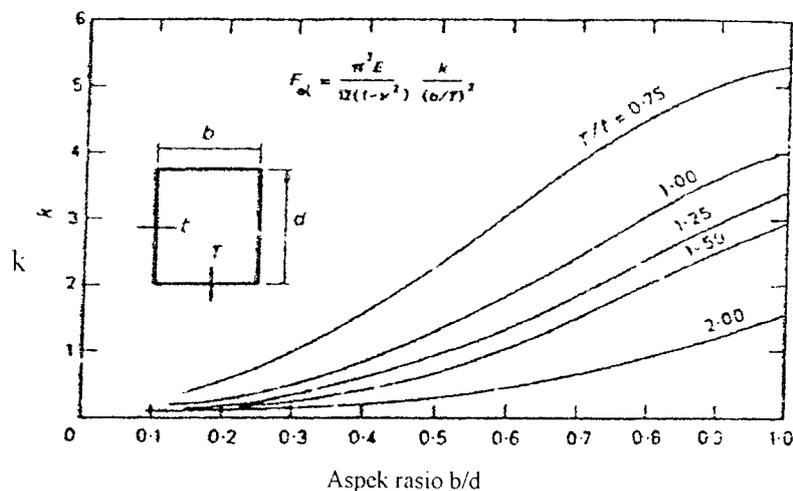
$$F_{cr} = \frac{4\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (3.9)$$

Kekuatan batas pelat terhadap tekanan tergantung banyak faktor. Jika dianggap bersifat elastis plastis ideal dan tidak mengandung tegangan residu distribusi tegangan akan tetap merata sampai tegangan tekuk elastis  $F_{cr}$  tercapai.



**Gambar 3.4** Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar (Salmon dan Johson,1996)

Pada Gambar 3.4 nilai  $k$  dipengaruhi oleh rasio  $a/b$  dan kondisi dari tepi-tepi pelat dimana semakin besar nilai  $a/b$  maka nilai  $k$  akan mendekati konstan. Terlihat bahwa untuk pelat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai  $k_{\min} = 6,97$ , untuk pelat dengan tumpuan sederhana jepit (B) nilai  $k_{\min} = 5,42$ , untuk pelat dengan tumpuan sederhana-sederhana nilai  $k_{\min} = 4$ , untuk pelat jepit bebas nilai  $k_{\min} = 1,277$  dan untuk pelat dengan tumpuan sederhana bebas nilai  $k_{\min} = 0,425$



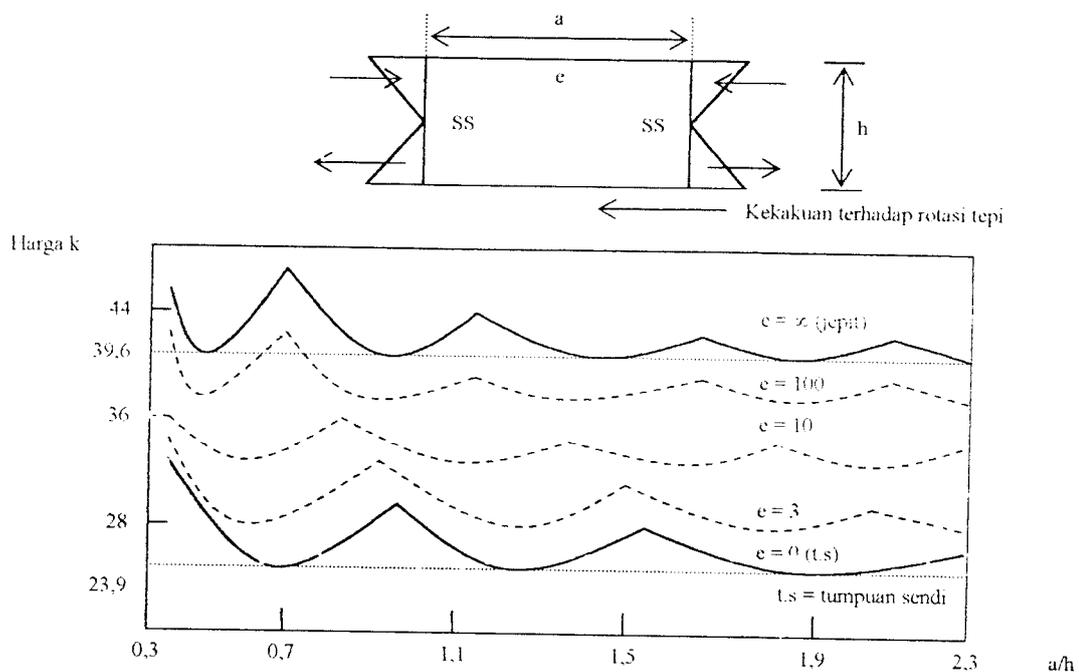
**Gambar 3.5** Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak (NS. Trahair dan MA. Bradford (1988))

Dari Gambar 3.5 dapat diketahui bahwa nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak sangat dipengaruhi oleh perbandingan antara lebar sayap dengan tinggi badan dan perbandingan antara tebal sayap dengan tebal badan. Dari Gambar 3.5 dapat disimpulkan bahwa nilai  $k$  akan besar apabila  $b/d$  besar dan nilai  $(T/t)$  kecil.

### 3.4 Lentur Pada Bidang Badan

Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio tinggi terhadap tebal badan ( $h/t_w$ ), tekuk mungkin terjadi akibat lentur pada bidang badan. Pada badan gelagar

yang langsing dan diberi pengaku setelah terjadinya tekuk elastis masih ada kekutan pasca tekuk serta yang sudah di jelaskan di atas. Penurunan harga  $k$  secara teoritis untuk lentur pada bidang pelat dijabarkan oleh **Timoshenko dan Woinowski (1959)**



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

Pada Gambar 3.6 jika pelat bisa dianggap jepit sempurna sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan maka harga  $k$  minimum untuk sembarang rasio  $a/h$  menjadi 39,6. Jika sayap dianggap tidak mengekang secara rotasi tepi maka harga  $k$  minimum menjadi 23,9. Tegangan kritis (dengan  $E = 200.000$  MPa) bisa dikatakan terletak antara :

$$F_{cr} = \frac{4320000}{(h/t_w)^2} \text{MPa untuk } k = 23,9 \text{ (tumpuan sederhana di sayap)} \quad (3.10)$$

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna di sayap)} \tag{3.11}$$

Kapasitas momen batas gelagar tinggi merupakan fungsi dari :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \tag{3.12}$$

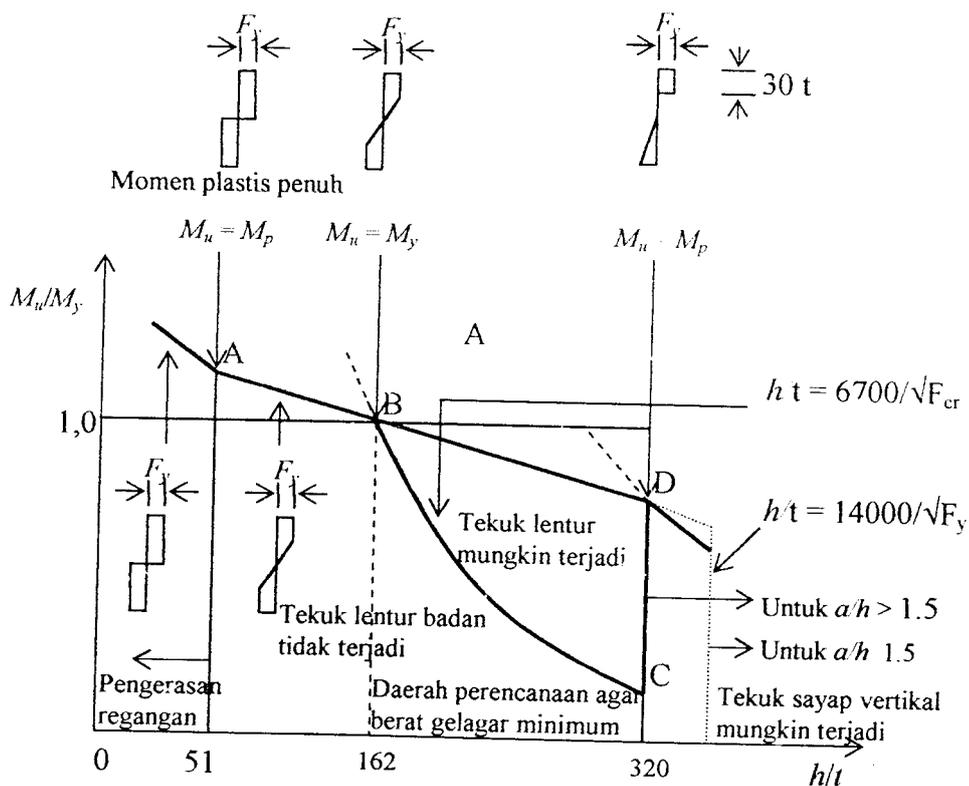
$h/t$  = menentukan ketidak stabilan badan (tekuk lentur)

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

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

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

Walaupun tegangan lentur dan geser pada daerah tertentu sepanjang bentang gelagar biasanya bisa ditinjau secara terpisah, umumnya tegangan geser dan lentur selalu ada yang bersama sama mengakibatkan ketidak stabilan elastis.



**Gambar 3.7** Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna di sayap)} \tag{3.11}$$

Kapasitas momen batas gelagar tinggi merupakan fungsi dari :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \tag{3.12}$$

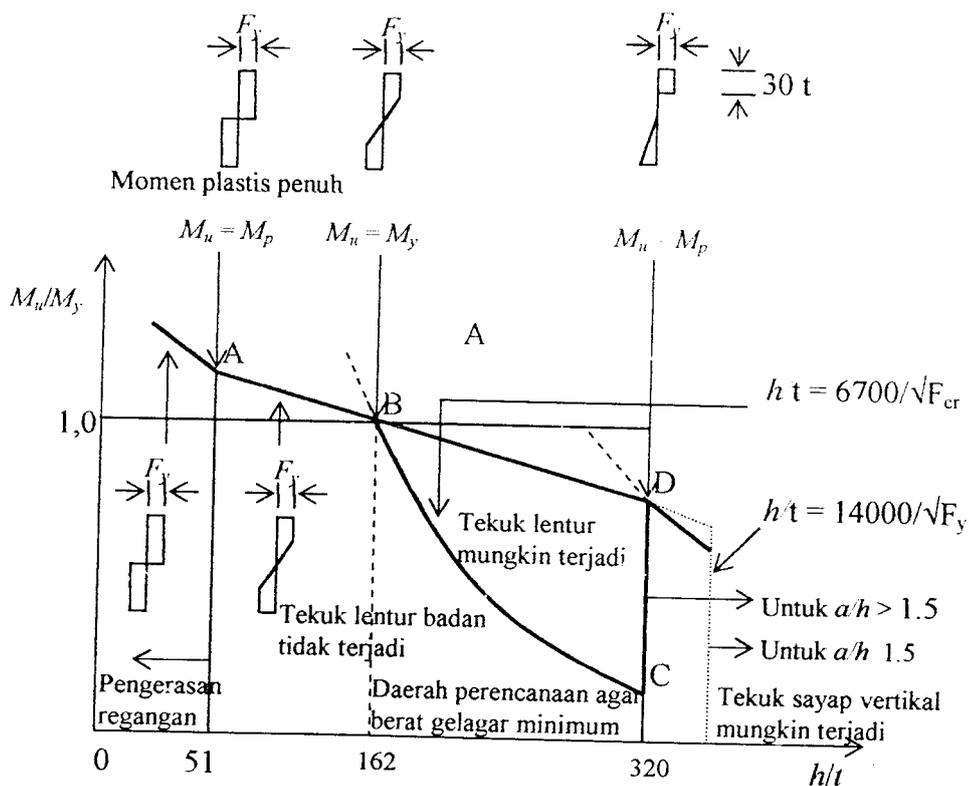
$h/t$  = menentukan ketidak stabilan badan (tekuk lentur)

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

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

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

Walaupun tegangan lentur dan geser pada daerah tertentu sepanjang bentang gelagar biasanya bisa ditinjau secara terpisah, umumnya tegangan geser dan lentur selalu ada yang bersama sama mengakibatkan ketidak stabilan elastis.



**Gambar 3.7** Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur

Gambar 3.7 Paulay dan Priestley, 1992 memperlihatkan hubungan antara kekuatan momen nominal  $M_n$  vs  $h/t_w$ . Untuk  $h/t$  antara 0–51 terjadi pengerasan regangan, pada  $h/t$  51–162 tekuk lentur pada badan tidak terjadi, pada  $h/t$  162–320 tekuk lentur pada badan mungkin terjadi, pada  $h/t > 320$  tekuk vertikal pada sayap tekan mungkin terjadi

Bila keadaan batas yang menentukan mencegah tegangan sayap mencapai  $F_y$ , maka tegangan dari keadaan batas yang menentukan  $F_{cr}$  harus menggantikan  $F_y$ . Maka secara umum kekuatan nominal tereduksi  $M_n$  menurut **Salmon dan Johnson** (1996).

$$M_n = \frac{F_y J_e}{(1-k).h} \quad (3.13)$$

dengan persamaan untuk k adalah:  $k = \sqrt{\frac{120}{400} + \frac{26}{10\rho} + \frac{4}{\rho^2}} - \left(\frac{3}{20} + \frac{2}{\rho}\right)$

(3.14)

persamaan untuk nilai  $J_e$ ,

$$J_e = Af(k.h)^2 + \frac{2}{3}.t_w.k.h^3 + Af.(1-k)^2.h^2 + \frac{6.t_w.h}{20} \left(\frac{37}{40}h - k.h\right)^2 \quad (3.15)$$

$$\text{nilai } \rho = \frac{A_w}{A_f} = \frac{t_w.h}{t_f.b_f} \quad (3.16)$$

$$\text{persamaan untuk momen leleh adalah } A_f = t_f.b_f \left(1 + \frac{\rho}{6}\right) \quad (3.17)$$

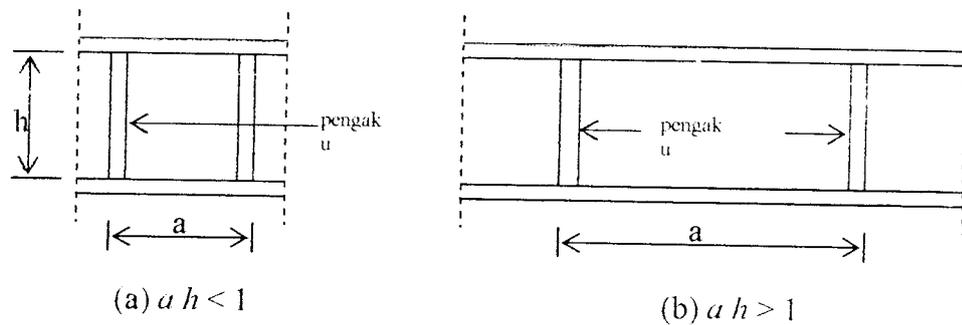
### 3.5 Tekuk Akibat Geser

#### 3.5.1 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut Salmon dan Johnson, 1986, tegangan tekuk elastis untuk satu pelat ditentukan pada Persamaan 3.7. Untuk kasus geser murni Persamaan 3.7 bisa dituliskan sebagai (dengan mengganti  $F$  dengan  $\tau$  untuk tegangan geser) sehingga  $\tau_{cr} = \tau_y$ .

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

dimana sisi pendek adalah jarak pengaku dengan tinggi badan sedang sisi panjang adalah tinggi pengaku.



**Gambar 3.8** Dua keadaan dari jarak pengaku antara (Salmon dan Johnson, 1986)

Tampak pada Persamaan 3.18 bila  $a/h$  semakin kecil maka nilai  $k$  akan semakin besar dan nilai  $\tau_{cr}$  akan semakin besar. Dalam AISC-1.10.5, Persamaan 3.19 ditulis dalam bentuk tanpa dimensi, dengan mendefinisikan koefisien  $C_v$  sebagai rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan leleh geser,

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

tampak bahwa  $C_v$  merupakan stabilitas elastis.

Substitusi nilai  $E = 200000 \text{ MPa}$ ,  $\mu = 0,3$ ,  $\tau_y = 0,6 F_{yw}$  ke Persamaan 3.19 menjadi :

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t)^2 F_{yw} (\text{MPa})} \quad (3.20)$$

Nilai  $C_v$  dipengaruhi oleh nilai  $k$  dan  $h/t$ ,  $C_v$  akan besar bila nilai  $k$  besar dan  $h/t$  kecil sebaliknya  $C_v$  akan kecil bila  $k$  kecil dan  $h/t$  besar dengan  $k$  itu sendiri dipengaruhi oleh  $a/h$  persamaan 3.21 dan 3.22 :

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

$$k = 4,0/(a/h)^2 + 5,34, \text{ untuk } a/h \geq 1 \quad (3.22)$$

### 3.5.2 Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni

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

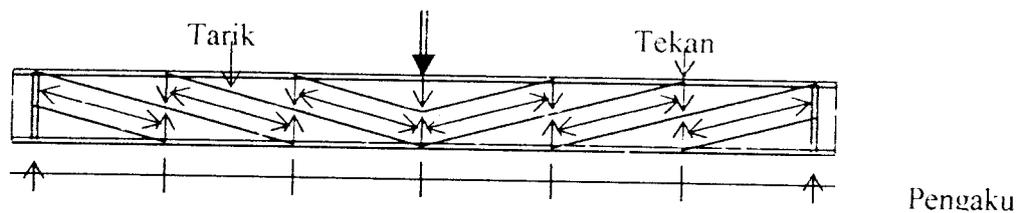
$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_{batas \text{ proporsional}} \tau_{cr(\text{elastikidal})}} \quad (3.23)$$

Batas proporsional diambil sebagai  $0,8 \tau_y$ , yang lebih besar daripada untuk tekan dalam flens, karena efek tegangan sisa lebih sedikit. Pembagian Persamaan 3.19 dengan  $\tau_y$  untuk mendapatkan  $C_v$  dan tegangan menggunakan Persamaan 3.20 memberikan

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

### 3.5.3 Kekuatan Geser Nominal Termasuk Aksi Medan Tarik

Salmon dan Johnson, 1986 menyimpulkan bahwa aksi medan adalah aksi membran badan untuk memikul gaya tarik dan pengaku memikul gaya tekan. Pada Gambar 3.9 kekuatan geser  $V_f$  berasal dari aksi medan tarik dalam badan gelagar menimbulkan suatu pita gaya-gaya tarik yang terjadi setelah badan itu mengalami tekuk akibat tekan diagonal. Keseimbangan gaya dipertahankan melalui transfer gaya ke pengaku vertikal.



**Gambar 3.9** Aksi medan tarik (Salmon dan Johnson,1986)

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

$$V_n = V_{cr} + V_{ff} \quad (3.25)$$

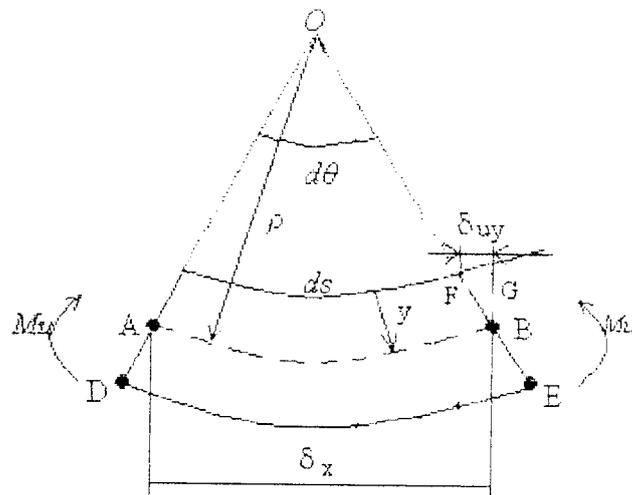
Kekuatan tekuk nominal  $V_n = \tau_{cr} A_w$  dengan  $V_n = V_{cr}$  dimana  $C_v = \tau_{cr} \tau_v$ .

Kekuatan geser  $V_{ff}$  dinyatakan dalam Persamaan 3.26

$$V_{ff} = \sigma_t \frac{h_{tw}}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.26)$$

### 3.6 Hubungan Momen dengan Kelengkungan

Park dan Paulay, 1975 mengemukakan bahwa jika pada suatu balok mengalami lentur, maka bentuk perubahan dari sumbu netral disebut dengan kurva elastis (*elastic curve*). Memperhatikan elemen kecil  $\delta x$ , seperti ditunjukkan Gambar 3.10. Jika  $l$  sebagai titik ordinat dari sumbu netral elemen, berharga positif ketika titik tersebut berada diatas sumbu netral. Dengan mengasumsikan bahwa bagian tersebut akan tetap datar selama terdeformasi. Tegangan lentur  $\sigma$  pada serat sejauh  $y$  dari garis netral untuk bahan yang bersifat elastis linier adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.10** Deformasi segmen balok dalam lenturan

$$f = -\frac{My}{I} \quad (3.27)$$

dengan  $M$  adalah momen pada bagian tersebut dan  $I$  adalah momen inersia tampang, tanda negatif menunjukkan gaya tekan. Gambar 3.10 menunjukkan perpotongan  $O$  disebut dengan pusat kelengkungan (*center of curvature*) dan jarak sejauh  $\rho$  dari

perpotongan O menuju sumbu netral disebut jari-jari kelengkungan (*radius of curvature*). Untuk serat pada jarak sejauh  $y$  dari sumbu netral, panjang awal dari elemen  $\delta x$  memendek menjadi  $\delta u_y$  dan regangan pada sumbu tersebut sama dengan  $\varepsilon = \delta u_y / \delta x$  mendekati nol

$$\varepsilon = -\frac{\delta u_y}{\delta x} \quad (3.28)$$

Dari segitiga OAB dan FGB didapatkan :

$$\frac{\delta u_y}{\delta x} = \frac{\delta x}{\rho} \text{ atau } \frac{du_y}{dx} = \frac{y}{\rho} \quad (3.29)$$

dari persamaan (3.28) dan (3.29) didapat :

$$\varepsilon = -\frac{y}{\rho} \quad (3.30)$$

untuk bahan elastis memakai hukum Hooke,

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = -\frac{E \cdot y}{\rho} \quad (3.31)$$

dengan menyamakan persamaan 3.27 dan 3.31 hubungan momen kelengkungan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{\rho} \quad (3.32)$$

pada dasarnya hubungan gaya deformasi dengan  $M$  adalah gaya dan kelengkungan  $1/\rho$  merupakan hasil dari perubahan bentuk besaran  $EI$  sebagai faktor kekakuan (*flexural rigidity*) atau *bending stiffness* dari balok. Dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\pm d^2 y / dx^2}{[1 + (dy/dx)^2]^{3/2}} \quad (3.33)$$

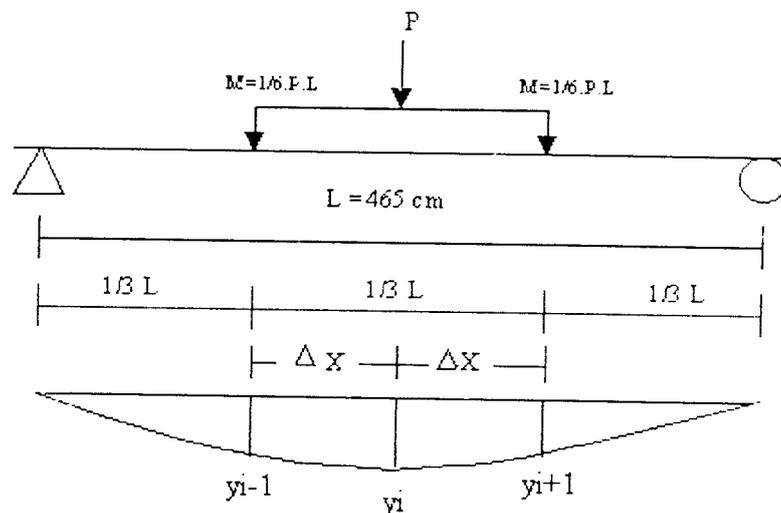
karena Kemiringan  $dy/dx$  dari kurva elastis adalah sangat kecil maka :

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0 \quad (3.34)$$

sehingga persamaan 3.33 dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \quad (3.35)$$

Menurut **Pandey dkk, 1991** dari Gambar 3.11 pada pengujian kuat lentur balok badan terbuka, didapatkan defleksi pada titik-titik distrik dengan menggunakan pendekatan kemiringan menggunakan metoda *central differeni*.



**Gambar 3.11** Momen kelengkungan

Mengacu Gambar 3.11  $dy/dx$  dapat diperoleh dengan persamaan 3.36:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(y_{i+1}) - (y_{i-1})}{2 \Delta x} \quad (3.36)$$

turunan kedua Persamaan (3.36) adalah :

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

karena  $(2\Delta_x)$  adalah konstanta maka

$$\frac{d}{dx} (2\Delta_x) = 0 \quad (3.38)$$

sehingga Persamaan (3.37) menjadi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.39)$$

selanjutnya dari Persamaan (3.39) didapatkan

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.40)$$

kemudian Persamaan (3.40) disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \quad (3.41)$$

selanjutnya persamaan 3.41 disederhanakan menjadi persamaan 3.42:

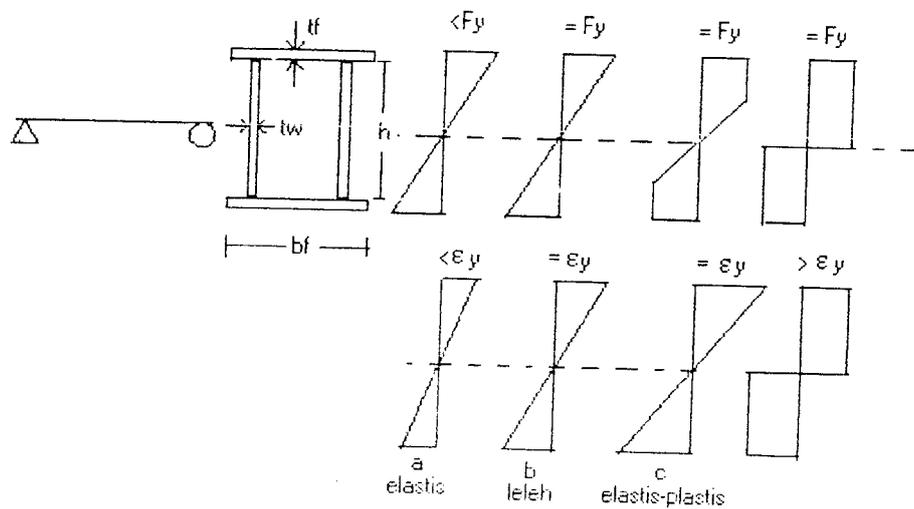
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI} \quad (3.42)$$

dari persamaan 3.42 didapat persamaan 3.43:

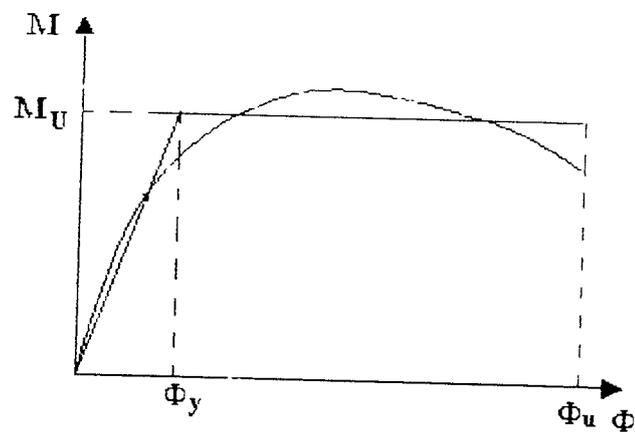
$$M = EI \cdot \phi \quad (3.43)$$

$$M = EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.44)$$

Mengacu pada Gambar 3.11 didapat momen  $(M) : \frac{1}{6} \cdot P \cdot L$  (3.45)



**Gambar 3.12** Distribusi tegangan dan regangan pada berbagai tahap pembebanan



**Gambar 3.13** Grafik momen kelengkungan

Lynn S. Beedle, 1958 menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar juga momennya.

Paulay dan Priestley, 1992 dari Gambar 3.12 Dengan menganggap stabilitas lateral sayap tekan memadai, perencanaan gelagar didasarkan pada pencapaian kekuatan lentur penampang maksimum, sehingga perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen-kelengkungan yang menggambarkan perilaku balok pada berbagai kondisi, yaitu saat kondisi elastis, leleh, elastis-plastis dan plastis.

Pada Gambar 3.12a beban  $P$  kecil penampang balok masih elastis tegangannya pada serat terluar ( $S_x$ ) lebih kecil dari tegangan leleh kapasitas momennya disebut momen elastis dan dapat dihitung :

$$M = F_{cr} \cdot S_x \quad (3.46)$$

$$\text{Dengan } S_x = \frac{I}{y} = \frac{2 \left\{ \frac{1}{12} t_w h^3 + t_w h y^2 \right\} + 2 \left\{ \frac{1}{12} b_f t_f^3 + b_f t_f y^2 \right\}}{\left( \frac{d}{2} \right)}$$

Pada Gambar 3.12b jika beban terpusat ditingkatkan maka momen eksternal bertambah sehingga tegangan dan regangan di penampang bertambah, momen leleh penampang kotak menjadi:

$$M_y = f_y \cdot \left[ \frac{2 \left\{ \frac{1}{12} t_w h^3 + t_w h y^2 \right\} + 2 \left\{ \frac{1}{12} b_f t_f^3 + b_f t_f y^2 \right\}}{\frac{d}{2}} \right] = F_y \cdot S_x \quad (3.47)$$

Pada Gambar 3.12c jika beban P terus ditambah tegangan leleh menjalar ke serat penampang yang letaknya lebih dalam akibatnya sebagian penampangnya menjadi plastis dan sisanya masih elastis, sehingga dapat dikatakan penampang dalam keadaan elastis-plastis. Kapasitas momen disebut momen elastis-plastis ( $M$ ) dan besarnya :

$$M = f_y \int y \cdot dA \quad (3.48)$$

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

$$M = f_y \cdot z \quad (3.49)$$

### 3.7 Hubungan Beban-Lendutan

Lynn S. Beedle (1958) menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya sehingga dengan menggunakan metoda *integrasi ganda* dari Gambar 3.11 didapat persamaan kemiringan .

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (3.50)$$

integral pertama dari persamaan 3.50 didapat persamaan 3.51

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1 \quad (3.51)$$

integral kedua dari persamaan 3.50 didapat

$$EI y = \iint M dx dx + C_1 x + C_2 \quad (3.52)$$

sehingga persamaan 3.52 menjadi persamaan 3.53

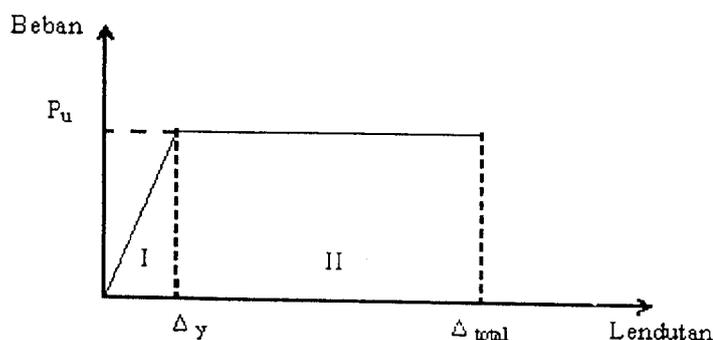
$$y = \frac{1}{EI} \iint M dx dx + C_1 x + C_2 \quad (3.53)$$

dari persamaan 3.53 didapatkan unuk besarnya defleksi tengah bentang

$$\Delta = \frac{23P \cdot L^3}{648EI} \quad (3.54)$$

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

Paulay dan Priestly, 1992 dari Gambar 3.14 Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier .



**Gambar 3.14** Hubungan beban dan lendutan pada balok

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

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

### 3.8 Daktilitas

Kemampuan suatu bahan dalam mendukung banyaknya regangan permanen disebut juga daktilitas. Daktilitas dapat mendistribusikan konsentrasi tegangan. Dasar dari suatu perencanaan adalah pada kekuatan *ultimit* yang membutuhkan kesatuan

daktilitas yang besar, terutama untuk memperbaiki tegangan-tegangan dekat lubang atau perubahan yang menandakan pada bentuk batang, seperti dalam perencanaan sambungan Paulay dan priestly, 1992.

Perilaku inelastis yang daktail bisa meningkatkan beban yang mampu dipikul batang dibanding dengan beban yang ditahan jika suatu struktur tetap dalam keadaan elastis. Jika seluruh tinggi pelat meleleh, diperoleh batas atas dari kekuatan momen yang disebut kekuatan plastis. Proses pembebanan diluar daerah elastis akan menyebabkan perubahan pada daktilitasnya *Salmon dan Jonhson (1990)*.

Sedangkan daktilitas itu sendiri dirumuskan :

$$Daktilitas = \frac{\varepsilon_{tot}}{\varepsilon_y} \quad (3.55)$$

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

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

$$\mu_{simpangan} = \frac{\Delta_{tot}}{\Delta_y} \quad (3.56)$$

dengan :  $\mu_{simpangan}$  = daktilitas simpangan;  $\Delta_{tot}$  = lendutan total  
 $\Delta_y$  = lendutan pada beban maksimum

Sedangkan daktilitas kelengkungan diperoleh dari hubungan momen-kelengkungan, yaitu perbandingan antara  $\Phi_{tot}$  dan  $\Phi_y$ , yang dirumuskan :

$$\mu_{kelengkungan} = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi_y} \quad (3.57)$$

dengan :  $\mu_{kelengkungan}$  = daktilitas kelengkungan;  $\Phi_{tot}$  = kelengkungan total  
 $\Phi_y$  = kelengkungan pada momen maksimum

### 3.9 Nilai Koefisien Kekakuan

Nilai koefisien kekakuan ( $k$ ) merupakan sebuah konstanta yang tergantung pada kondisi tumpuan, tipe tegangan, dan rasio panjang terhadap lebar, modulus elastis ( $E$ ), angka poisson ( $\mu$ ), dan rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ), **Salmon dan Jhonson (1996)**. Nilai  $k$  dapat diperoleh dari persamaan 3.21 dan 3.22 dengan memasukkan rasio ( $b/t$ ) dan  $F_{cr}$ . Nilai  $F_{cr}$  diperoleh dari persamaan 3.7

### 3.10 Pengelompokan Baja Berdasarkan tegangan Leleh

Berdasarkan besar tegangan leleh, PADOSBAJAYO, 1992 membagi baja dalam empat kelompok, dengan besar tegangan leleh sebagai berikut :

- a. Carbon Steels, tegangan leleh 210-280 Mpa
- b. High-Strength Low-Alloy Steels, tegangan leleh 280-490 Mpa
- c. Heat-Treated Carbon and High-Strength Low-Alloy Steels, tegangan leleh 322-700 Mpa
- d. Heat-Treated Constructional Alloy Steels, tegangan leleh 630-700 Mpa

## **BAB IV**

### **PELAKSANAAN PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Dalam pelaksanaan penelitian yang dilakukan pertama kali adalah membuat 12 buah pelat tebal 2 mm dengan lebar 400 mm ,12 buah pelat tebal 2,3mm dengan lebar 200mm, Kemudian membuat sampel benda uji gelagar pelat bentuk kotak sebanyak 3 buah dengan variasi jarak pengaku ( $a/h$ ) yaitu 0.44, 0.5, 1.25 dan rasio tebal badan terhadap tebal sayap ( $T/t$ ) 1.15 .

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

Pekerjaan persiapan alat yang dilakukan meliputi pembuatan benda uji, pengujian pendahuluan yaitu uji tarik , yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, pengujian lentur dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa FTSP-UII, Yogyakarta.

##### **4.2.1 Bahan**

Bahan -bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Pelat baja :

Pelat baja tebal 2 mm digunakan sebagai badan dari gelagar pelat , pelat baja tebal 2,3 mm digunakan sebagai sayap dari gelagar pelat

## 2. Profil siku

Profil siku L30X30X3 digunakan untuk pengaku pada dukungan , pengaku pada pembebanan , pengaku lateral dan,

## 3. Las

Las E70 digunakan sebagai alat sambung.

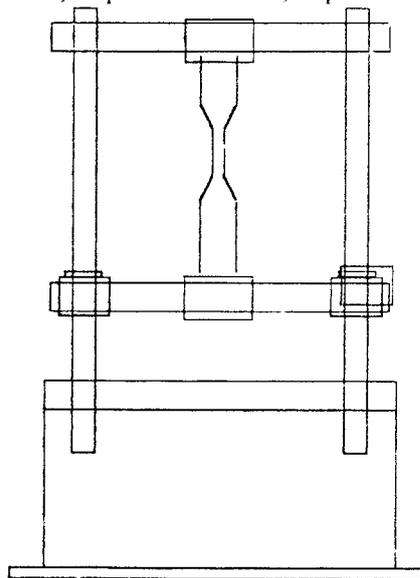
### 4.2.2 Alat yang digunakan

Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa peralatan yang digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian. Alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### 1. Mesin Uji Kuat Tarik

Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan leleh pelat baja. Pada penelitian ini digunakan UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM) merk SHIMATSU type UMH 30, kapasitas 30 ton, seperti ditunjukkan pada Gambar

(4.1)



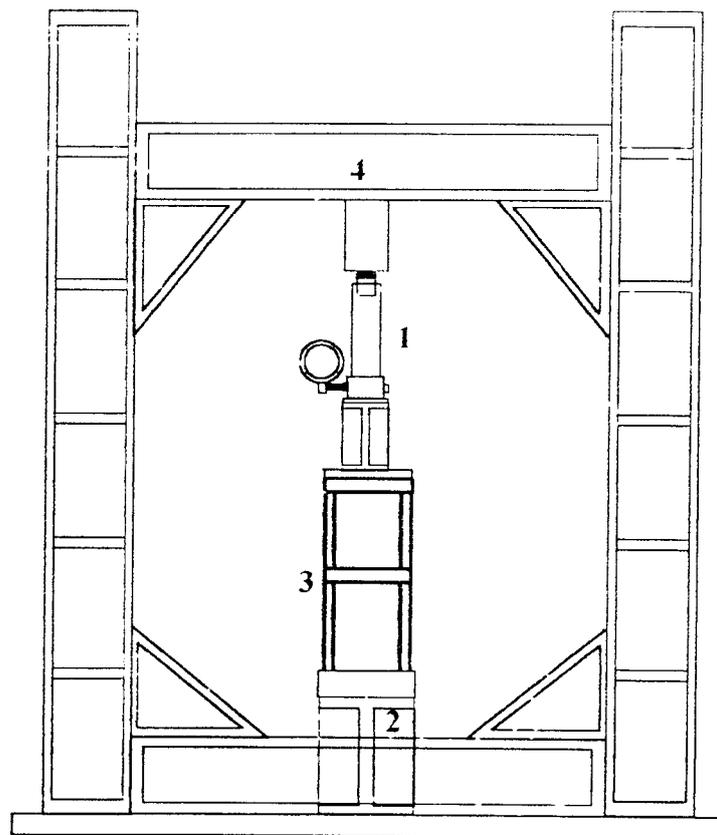
**Gambar 4.1** Mesin Uji Kuat Tarik

## 2. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur panjang benda uji dan jarak pengaku.

## 3. Loading Frame

Untuk keperluan penelitian ini dan penelitian-panelitian yang akan datang digunakan alat Loading Frame yang terbuat dari bahan baja profil WF 450x200x9x14, yang dapat dilihat pada Gambar (4.2).



**Gamabar 4.2** Bentuk Fisik Loading Frame

Keterangan :

1. Hydraulic Jack

2. Dukungan

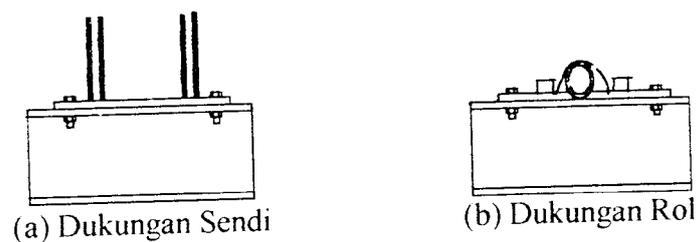
3. Benda Uji

4. Balok Portal (Baja WF)

Bentuk dasar Loading Frame berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar Loading Frame tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450x200x90x14 mm. Posisi balok portal dapat diatur menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut.

#### 4. Dukungan Sendi dan Rol

Untuk membuat model gelagar pelat seperti dilapangan, maka pada salah satu ujung model gelagar pelat dipasang dukungan sendi, dan pada ujung yang lain dipasang dukungan rol, seperti pada Gambar (4.3).

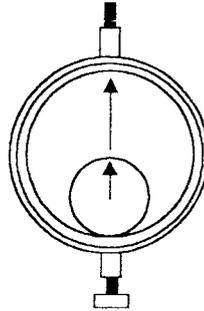


**Gambar 4.3** Dukungan Sendi dan Rol

#### 5. Dial Gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian sakal penuh dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan dengan ketelitian 0,01 mm. Pada penelitian tugas akhir ini, digunakan dial gauge sebanyak 3 buah. Dial gauge ke 1 terletak sejauh 1550mm dari 1/3 bentang ke arah dukungan sendi, dial gauge ke 2 terletak 1/2 bentang dan dial

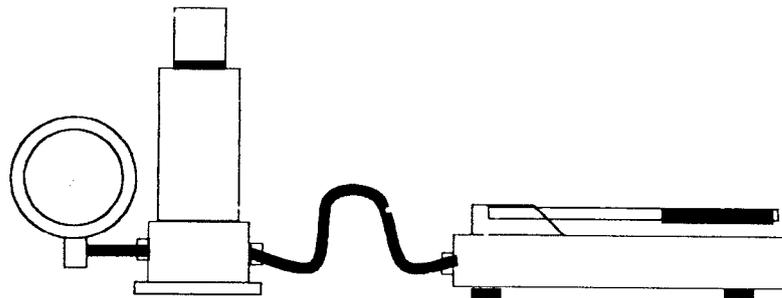
gauge ke 3 terletak sejauh 1550 mm dari 1/3 bentang ke arah rol. Alat ini dapat dilihat pada Gambar (4.4).



**Gambar 4.4** Dial Gauge

#### 6. Dongkrak Hidrolik

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada benda uji dengan kapasitas maksimum 30 ton. Bentuk fisik alat ini dapat dilihat pada Gambar (4.5).



**Gambar 4.5** Dongkrak Hidrolik

### 4.3 Pembuatan Benda Uji

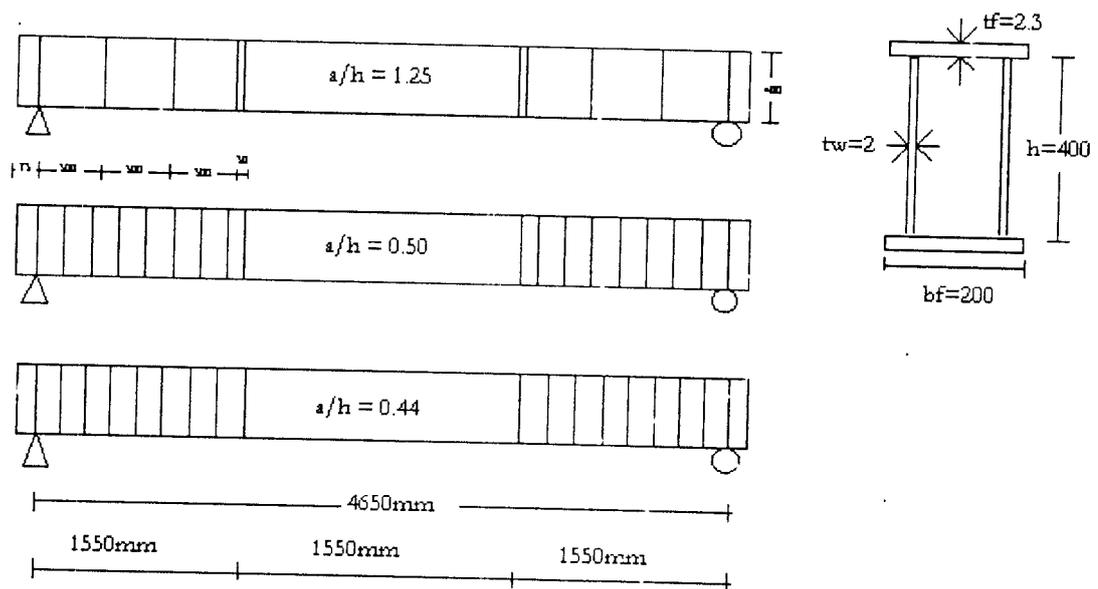
Setelah persiapan dan perhitungan dimensi pelat dan jarak antar pengaku didapat, maka selanjutnya adalah pembuatan benda uji melalui tahap-tahap berikut ini

:

1. Bahan-bahan disiapkan dan diukur sesuai dengan ukuran yang telah direncanakan. Pada tahap ini dilakukan pemotongan pelat dan profil siku sesuai ukuran yang direncanakan.
2. pelat dan profil siku yang sudah dipotong kemudian dilas menerus menjadi gelagar pelat bentuk kotak dengan variasi jarak antar pengaku ( $a/h$ ) yaitu 0.44, 0.5, 1.25 .

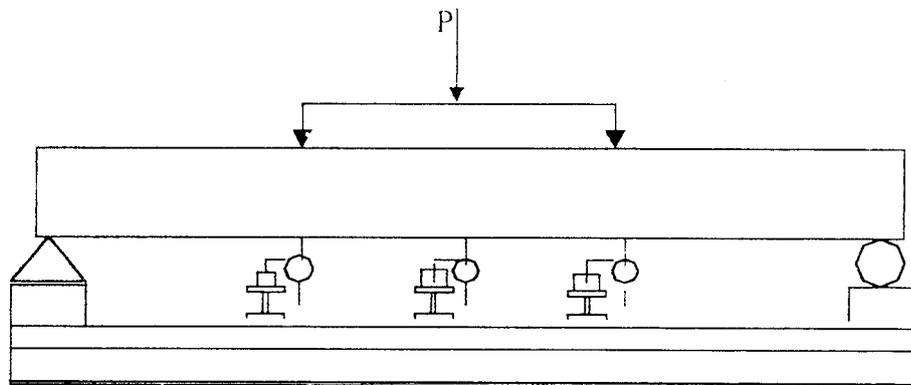
#### 4.4 Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini berupa gelagar pelat yang berbentuk kotak dengan panjang bentang 4,8 m , tinggi 0,4 m , dan lebar 0,2 m. Yang dibuat sebanyak 3 buah sampel dan diberi variasi jarak pengaku ( $a/h$ ) 0.44, 0.5, 1.25 setiap sampelnya



**Gambar 4.6** Model Benda Uji

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji diletakan pada tumpuan sesuai dengan tanda yang telah diberikan. Dibawah sayap bawah benda uji dipasang dial untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada waktu dilaksanakan pengujian kuat lentur, posisi benda uji dan letak dial dapat dilihat pada Gambar (4.7).
2. Benda uji siap diuji. Hidrolik Jack dipompø guna melakukan pembebanan secara perlahan-lahan, beban konstan dan dinaikan secara berangsur-angsur sehingga pada batas kekuatan tertentu.



**Gambar 4.7** Model Pembebanan

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Hasil Penelitian Pendahuluan**

Dalam pelaksanaan penelitian ini, sebelum dilakukan pengujian pada gelagar pelat penampang kotak terlebih dahulu dilakukan beberapa uji pendahuluan, yaitu uji tarik pelat dan profil siku yang digunakan, sehingga dari hasil tersebut didapatkan kekuatan yang sesungguhnya dari pelat dan profil siku yang dipakai untuk membuat sampel.

Setelah itu dilakukan pengujian pada sampel gelagar pelat bentuk kotak yang telah dibuat, yang hasilnya berupa kekuatan maksimum gelagar pelat bentuk kotak dalam menerima beban desak.

##### **5.1.1. Hasil Uji Kuat Tarik Pelat dan Profil Siku**

Dalam penelitian ini, hasil uji tarik pelat profil siku ditampilkan pada Tabel 5.1. Dari penelitian kuat tarik baja berupa pelat baja dengan tebal 2 mm dan 2.3 mm profil dan L 30x30x3 yang diambil bagian sayap masing-masing sebanyak 3 sampel yang hasilnya dapat dilihat pada Lampiran 2. Pengujian kuat tarik baja ini dilakukan

di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

**Tabel 5.1** Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

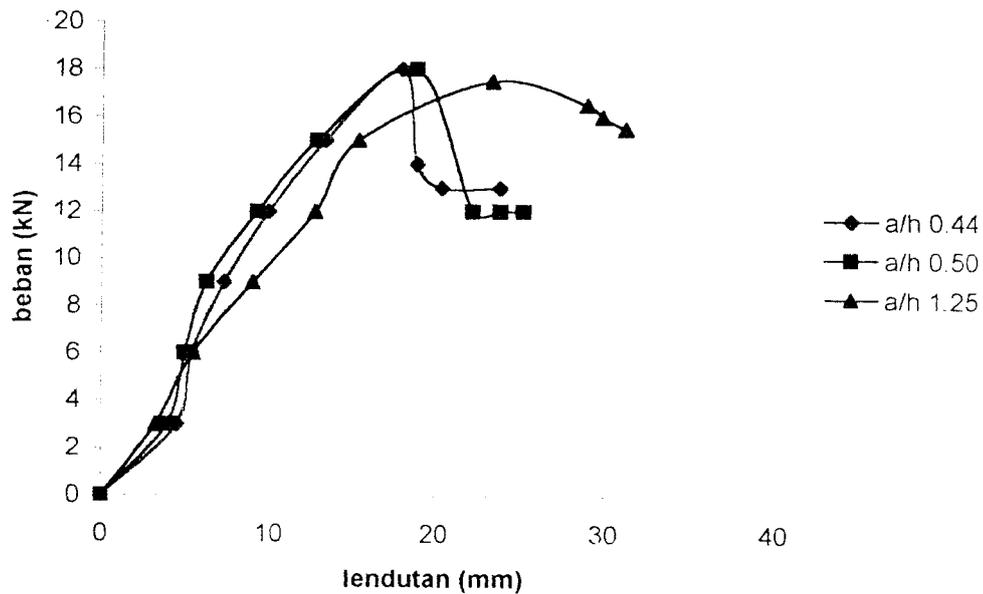
NO	JENIS PENGUJIAN	Fy(Mpa)	Fu(Mpa)
1	Kuat Tarik Pelat 2,3mm	240	290
2	Kuat Tarik Pelat 2mm	240	360
3	Kuat Tarik Profil Siku	380	420

## 5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang Kotak

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Universitas Islam Indonesia, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Dari hasil pengujian didapat grafik hubungan beban-lendutan baik arah vertikal dan momen kelengkungan vertikal.

### 5.2.1 Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)

Pengujian kuat lentur gelagar pelat bentuk kotak ini diberikan dua beban secara bertahap gelagar pelat tersebut diberi kenaikan beban sebesar 300 kg (3,0 kN), yang terletak sepanjang 1.55 m dihitung dari ujung gelagar pelat. Kemudian setiap tahap pembebanan lendutan yang terjadi dicatat. Data pengujian dapat dilihat pada Lampiran 4. Dari data hasil pengujian ketiga benda uji tersebut dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) seperti pada Gambar (5.1).



**Gambar 5.1** Grafik hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)  
Ketiga Benda Uji

Pada Gambar 5.1 pembacaan dial setelah beban maksimum yang menghasilkan besarnya lendutan berhenti karena dial sudah dilepas sebab benda uji semakin tertekuk dan rawan terhadap keruntuhan sehingga lendutan tidak terbaca.

### 5.2.2 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)

Dari data hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) pada Grafik (5.1) dapat disimpulkan tentang kekakuan gelagar pelat bentuk kotak seperti pada Tabel (5.2) dan daktilitas lendutan pada Tabel (5.3).

**Tabel 5.2** Analisa kekakuan dari hubungan beban-lendutan lentur (vertikal)

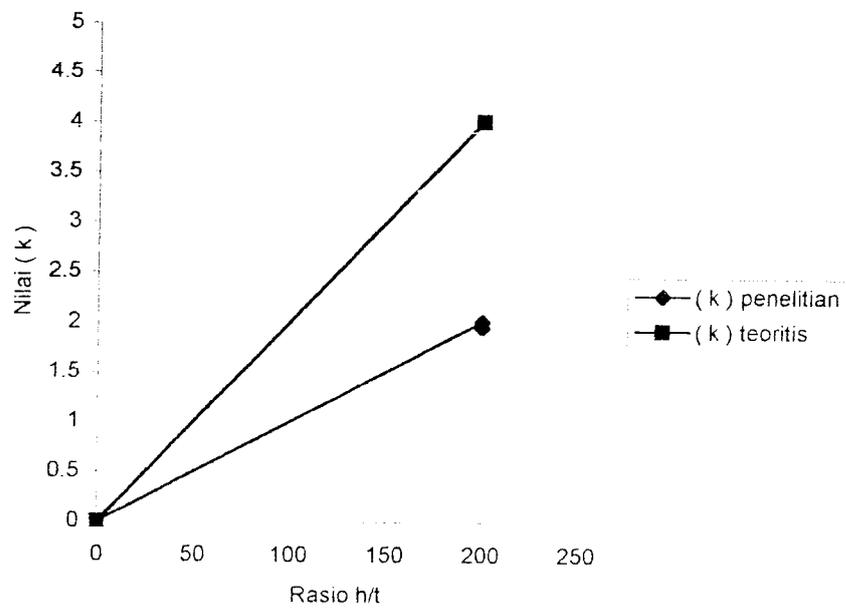
Benda uji	Beban (P) kN	Lendutan ( $\Delta$ ) Mm	Kekakuan (P/ $\Delta$ ) kN/mm	Kekakuan rata – rata KN/mm	Kekakuan Rata –rata (%)
a/h = 0,44	18	17.90	0,9559		99,7287
a/h = 0,50	18	18.78	0,9585	0,92835	100
a/h = 1,25	17,5	23.35	0,870646		90,8342

**Tabel 5.3** Analisa daktilitas lentur dari hubungan beban-lendutan lentur (vertikal)

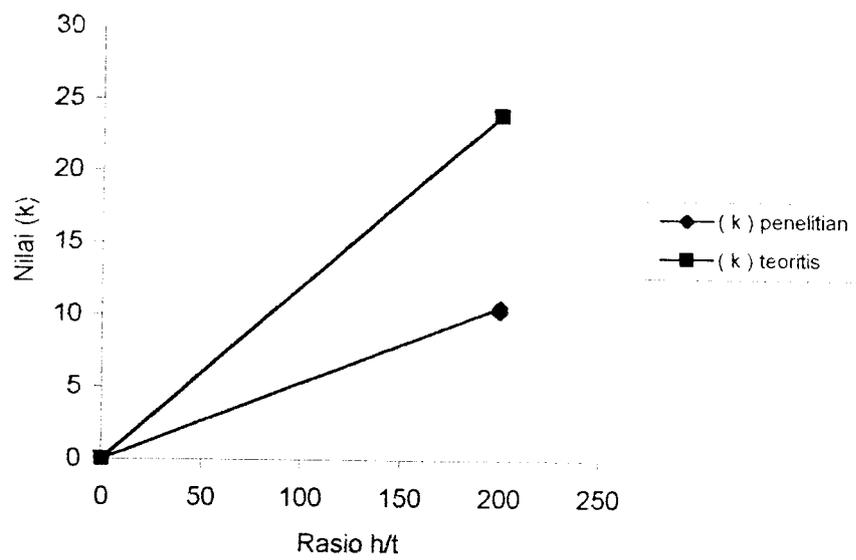
Benda Uji (mm)	Beban P (kN)	Lend/ $\Delta y$ mm	Lend maks ( $\Delta u$ )mm	Daktilitas ( $\Delta u / \Delta y$ )	Daktilitas rata-rata	Daktilitas rata-rata (%)
a/h = 0.44	18	13.32	17.90	1.3438		88.0545
a/h = 0.50	18	12.80	18.78	1.4672	1.4458	96.1405
a/h = 1.25	17.5	15.30	23.35	1.5261		100

### 5.2.3 Hubungan Nilai Koefisien Kekakuan Pelat ( $k$ ) dengan Rasio $h/tw$

Hubungan antar nilai koefisien kekakuan pelat dengan rasio  $h/tw$  ditunjukkan pada Gambar 5.2 . untuk perhitungan nilai koefisien kekakuan gelagar pelat penampang kotak pada sayap dan badan dapat dilihat pada lampiran 3.



**Gambar 5.2** Grafik Hubungan  $h/t$  VS  $k$  sayap



**Gambar 5.3** Grafik Hubungan  $h/t$  VS  $k$  badan

### 5.2.4 Analisa Data Hubungan Nilai Koefisien Kekakuan Pelat dengan Rasio $h/tw$

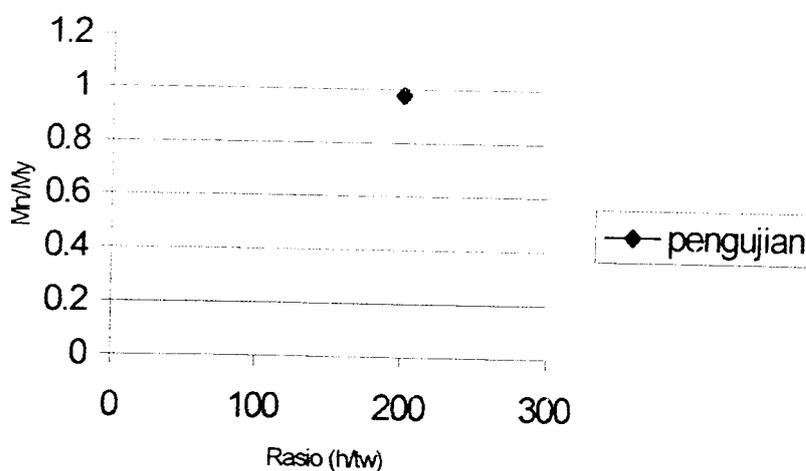
Data dari hasil pengamatan grafik hubungan koefisien kekakuan dengan rasio  $h/tw$  seperti pada tabel 5.4

**Tabel 5.4** Analisa hubungan nilai koefisien kekakuan pelat dengan rasio  $h/tw$

Benda uji	$h/tw$	$k$ badan	$k$ sayap
$a/h = 0.44$	200	10.5979	2.0014
$a/h = 0.50$	200	10.5979	2.0014
$a/h = 1.25$	200	10.29312	1.9458

### 5.2.5 Hubungan Rasio $Mn/My$ dengan $h/tw$

Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan rasio  $Mn/My$  dengan  $h/tw$  yang ditunjukkan Gambar 5.4



**Gambar 5.4** Grafik Hubungan rasio  $Mn/My$  dengan  $h/tw$

### 5.2.6 Analisa Data Hubungan Rasio $M_n/M_y$ dengan $h/t_w$

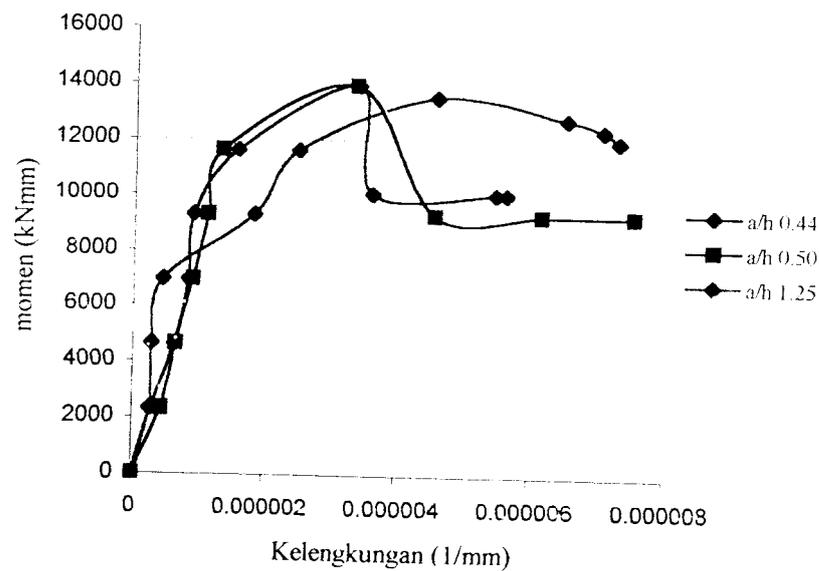
Analisa pada pengamatan Gambar 5.4 ditunjukkan pada Tabel 5.5 dan perhitungannya dapat dilihat pada lampiran 7.

**Tabel 5.5** Analisa rasio  $M_n/M_y$  dengan  $h/t_w$

$h/t_w$	$h$	$I_y$	$A_f$	$A_w$	$\rho$	$k$	$I_e$	$M_n$	$M_y$	$M_n/M_y$
200	400	240	460	800	2	0,447353	46133691	50086609	51200000	0,9776682

### 5.2.7 Hubungan Momen Kelengkungan Lentur (vertikal)

Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan beban-lendutan ( $P-\Delta$ ) sehingga dapat dicari momen ( $M$ ) dan kelengkungan ( $\phi$ ). Hubungan grafik  $M-\phi$  dapat digunakan untuk mencari nilai kekakuan. Dari hasil pengujian didapat grafik hubungan momen-kelengkungan Lentur (vertikal).



**Gambar 5.5** Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal) dari Tiga Benda Uji



### 5.2.8 Analisa Data hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal)

Pada Gambar (5.5) analisa data pengamatan ditunjukkan pada Tabel 5.6

**Tabel 5.6** Analisa kekakuan dari hubungan momen-kelengkungan lentur (vertikal)

Benda uji	Momen (M) kNmm	Kelengkungan ( $\phi$ ) 1/mm	$EI = M/\phi$ KNmm <sup>2</sup>	EI rata-rata (%)	EI Rata-rata
a/h = 0.44	13950	0.0000033965	4.1072E+9	99.04	3.74E+9
a/h = 0,50	13950	0.0000033632	4.15E+9	100	
a/h = 1.25	13562.5	0.00000456	2.97E+9	71.57	

Dari Gambar (5.5) juga dapat diketahui daktalitas lentur (vertikal) kelengkungan seperti dalam Tabel (5.7)

**Tabel 5.7** Analisa daktalitas kelengkungan dari hubungan momen-kelengkungan lentur(vertikal)

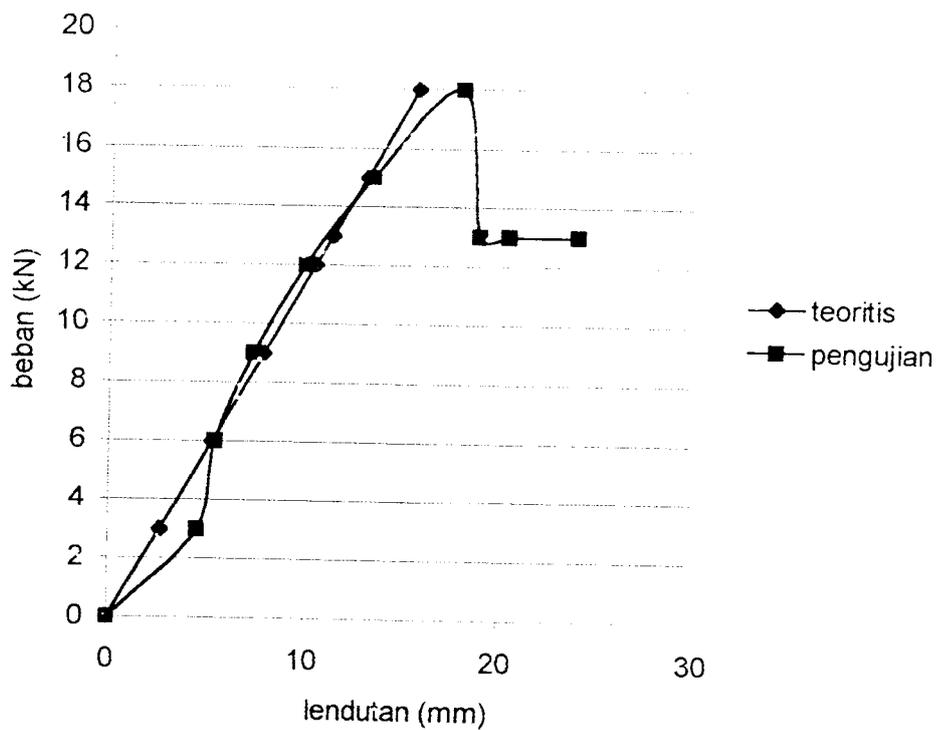
Benda Uji	M KNm	$\phi_y$ 1/m	$\phi_u$ 1/m	Daktalitas $\phi_u/\phi_y$	Daktalitas rata-rata	Daktalitas rata-rata (%)
a/h=0.44	13950	0.000001565	0.0000033965	2.1702	2.1737	85.9519
a/h=0.5	13950	0.000001332	0.0000033632	2.5249		100
a/h=1.25	13562,5	0.000002497	0.00000456	1.8259		72.3158

### 5.2.9 Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan secara teoritis dengan

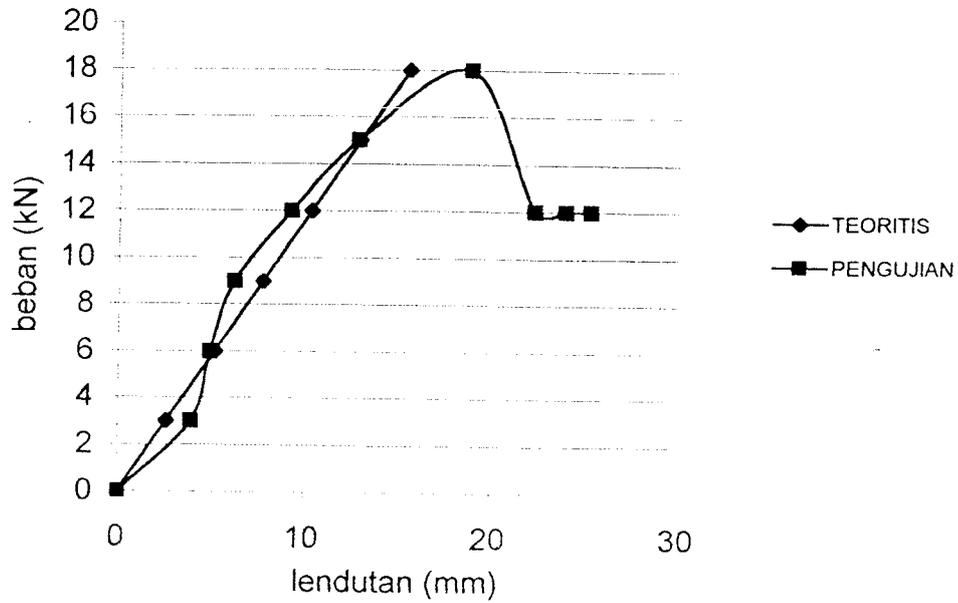
#### Hubungan Beban-Lendutan pengujian

Dari hasil pengujian kuat lentur gelagar pelat bentuk kotak diperoleh hubungan beban-lendutan yang terjadi selama penelitian atau hubungan beban-lendutan lapangan, untuk dapat mengetahui lendutan yang seharusnya terjadi pada gelagar

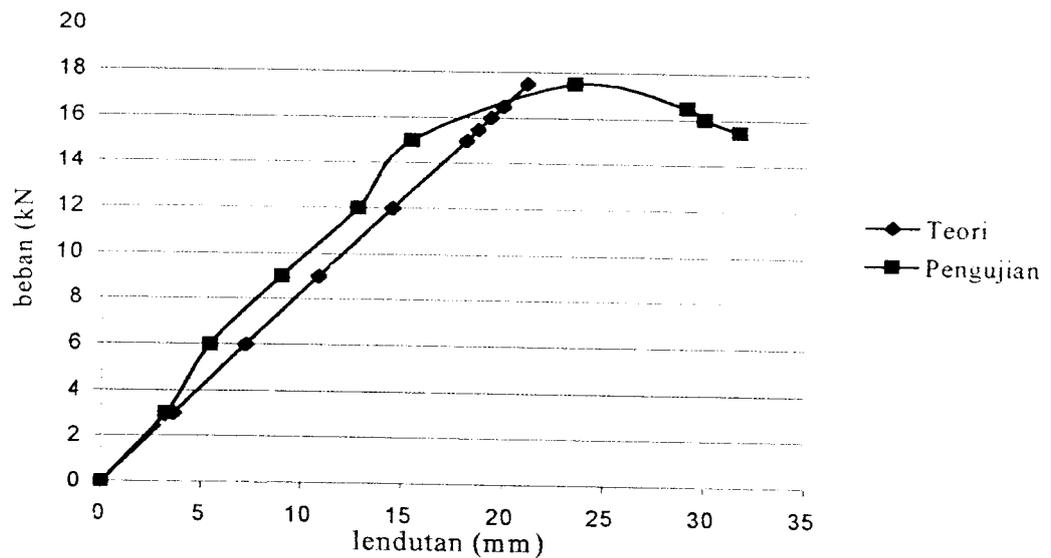
pelat bentuk kotak tersebut maka dilakukan juga perhitungan lendutan secara teoritis yang dihitung dengan yaitu beban teoritis tidak sama dengan beban pengujian tetapi di peroleh akibat gaya aksial maksimum yang seharusnya terjadi pada gelagar pelat bentuk kotak tersebut, contoh hitungan dapat dilihat pada Lampiran 6. Berikut ini adalah grafik hasil perbandingan hubungan beban-lendutan teoritis dan hubungan beban-lendutan pengujian untuk masing-masing benda uji.



**Gambar 5.6** Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 1



**Gambar 5.7** Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 2



**Gambar 5.8** Grafik Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian Benda Uji 3

### 5.2.10 Analisa Perbandingan Beban-Lendutan Secara Teoritis dengan Beban-Lendutan Pengujian

Dari Gambar (5.3),(5.4),(5.5) maka dapat disimpulkan seperti pada Tabel (5.8).

**Tabel 5.8** Analisa Perbandingan Beban-Lendutan Secara Teoritis dengan Beban-Lendutan Pengujian ( $P_{\text{teoritis}} \neq P_{\text{pengujian}}$ )

Benda Uji	$P_{\text{teoritis}}$ (kN)	$P_{\text{pengujian}}$ (kN)	Lendutan Teoritis (mm)	Lendutan Pengujian (mm)
a/h=0.44	91,5621	18	15.60	17.90
a/h=0.50	91,5621	18	15.50	18.78
a/h=1.25	91,5621	17.5	21.00	23.35

Beban teoritis diperoleh berdasarkan gaya aksial maksimum yang seharusnya terjadi pada gelagar pelat dan beban teoritis tersebut bukan berdasarkan beban yang terjadi pada saat pengujian.

### 5.3 Analisa Kerusakan Pada Benda Uji

Pada penelitian kerusakan benda uji terjadi karena pelat merupakan material yang sangat tipis dan panjang. Sedangkan pada gelagar pelat ini terjadi buckling yang cukup besar karena pengaku yang digunakan kurang kuat untuk menahan beban yang bekerja gelagar mengalami defleksi kearah bawah .

## 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  $F_u = 290$  Mpa untuk pelat 2,3mm dapat digolongkan sebagai baja carbon

kemudian hasil pengujian kuat tarik pelat baja 2 mm maka baja dengan  $F_y = 240$  Mpa dan  $F_u = 360$  Mpa dapat digolongkan sebagai baja carbon, dan hasil pengujian kuat tarik Profil L (30x30x3) dengan  $F_y = 380$  Mpa dan  $F_u = 420$  Mpa maka baja dapat digolongkan sebagai baja High-Strength Low-Alloy Steels, dengan asumsi bahwa  $F_y$  280 Mpa – 290 Mpa termasuk termasuk baja High-Strength Low-Alloy Steels.

#### **5.4.2 Kuat Lentur Vertikal Gelagar Pelat Penampang Kotak Berdasarkan Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)**

Pada penelitian ini setiap benda uji mempunyai perilaku yang berbeda ini dapat dilihat pada hubungan beban-lendutan ketiga benda uji pada Gambar (5.1) karena mulai dari titik awal sampai beban maksimum kemudian beban tetap maksimum dengan lendutan yang semakin bertambah besar.

Gelagar pelat dengan  $a/h = 0.44$  mempunyai beban maksimum sebesar 18 KN sedangkan untuk gelagar pelat dengan  $a/h = 0.50$  mempunyai beban maksimum sebesar 18 KN dan Gelagar pelat dengan  $a/h = 1.25$  mempunyai beban maksimum sebesar 17,5 KN. Dengan demikian besar variasi jarak antar pengaku berpengaruh sedikit terhadap beban maksimum yang akan diterima dalam penelitian kapasitas lentur gelagar pelat penampang kotak.

#### **5.4.3 Daktilitas Ditinjau dari Hubungan Beban-Lendutan Lentur (vertikal)**

Dari hasil pengamatan Gambar (5.1) selain didapat kekakuan juga dapat dianalisis untuk mencari daktilitas gelagar pelat bentuk kotak seperti dalam Tabel

(5.3). Gelagar pelat dengan  $a/h = 0.44$  mempunyai daktilitas rata-rata sebesar 1.3167 sedangkan untuk gelagar pelat dengan  $a/h = 0.50$  mempunyai daktilitas rata-rata sebesar 1.5023 dan Gelagar pelat dengan  $a/h = 1.25$  mempunyai daktilitas rata-rata sebesar 1,5437. Dengan demikian maka gelagar pelat bentuk kotak dengan jarak pengaku transversal lebih kecil memiliki daktilitas yang lebih kecil dibanding dengan gelagar pelat bentuk kotak dengan jarak pengaku transversal lebih panjang.

#### **5.4.4 Kuat Lentur Gelagar Pelat Bentuk Kotak ditinjau dari Hubungan Nilai Koefisien Kekakuan Pelat ( $k$ ) dengan Rasio $h/tw$**

Dengan mengamati Gambar (5.2) dan Gambar (5.3) grafik hubungan nilai koefisien kekakuan pelat dengan rasio  $h/tw$  dapat dilihat ketiganya memiliki perilaku yang hampir sama. Dari Tabel 5.4 dapat dilihat untuk benda uji dengan  $a/h = 0,44$  dan  $a/h = 0,50$  memiliki nilai koefisien kekakuan pelat untuk sayap 2,0014 dan untuk badan 10,5979 sedangkan untuk benda uji dengan  $a/h = 1,25$  memiliki nilai koefisien kekakuan pelat untuk sayap 1,9458 dan untuk badan 10,29312 .

Terlihat bahwa untuk gelagar pelat bentuk kotak dengan  $a/h = 0.44$  dan  $a/h = 0.50$  memiliki nilai  $k$  yang lebih besar dari pada gelagar pelat bentuk kotak dengan  $a/h = 1.25$ .

#### **5.4.5 Kuat Lentur Gelagar Pelat Bentuk Kotak Ditinjau Dari Hubungan Rasio $M_n/M_y$ Dengan Rasio $h/tw$**

Dengan mengamati Gambar 5.4 grafik hubungan rasio  $M_n/M_y$  dengan rasio  $h/tw$  dapat dilihat bahwa semua benda uji memiliki perilaku yang sama. Dari Tabel

5.5 dapat dilihat semua benda uji memiliki nilai  $M_n$   $M_y$  sama yaitu 0,9776683. Hal ini terjadi karena rasio  $h/t_w$  untuk semua benda uji sama yaitu 200.

#### **5.4.6 Kuat Lentur Gelagar Pelat Bentuk Kotak ditinjau dari Hubungan Momen-Kelengkungan**

Dengan mengamati Gambar (5.5) grafik hubungan momen-kelengkungan dapat dilihat ketiganya memiliki perilaku yang hampir sama. Dari Tabel (5.6) dapat dilihat  $EI$  rata-rata untuk  $a/h = 0.44$  adalah  $4.107E+9$  kN, untuk  $a/h = 0.50$  adalah  $4.15E+9$  kN/mm<sup>2</sup> sedangkan untuk  $a/h = 1.25$  memiliki  $EI$  rata-rata =  $2.97E+9$  kN/mm<sup>2</sup>. Terlihat bahwa untuk gelagar pelat bentuk kotak dengan  $a/h$  0.44 memiliki nilai  $EI$  yang lebih kecil dari pada gelagar pelat bentuk kotak dengan  $a/h$  0.50 tetapi lebih besar dari  $a/h$  1.25.

#### **5.4.7 Daktilitas Gelagar Pelat Bentuk Kotak Ditinjau dari Hubungan Momen-Kelengkungan**

Dengan mengamati Gambar (5.5) grafik hubungan momen-kelengkungan selain menghasilkan besarnya  $EI$  untuk masing-masing benda uji juga didapat analisa daktilitas kelengkungan seperti pada Tabel (5.7).

Gelagar pelat dengan  $a/h = 0.44$  mempunyai daktilitas rata-rata sebesar 2.1702 sedangkan untuk gelagar pelat dengan  $a/h = 0.50$  mempunyai daktilitas rata-rata sebesar 2.5249 dan Gelagar pelat dengan  $a/h = 1.25$  mempunyai daktilitas rata-rata sebesar 1.8259. Dengan demikian maka gelagar pelat bentuk kotak dengan  $a/h$  0.44

memiliki daktilitas yang lebih kecil dibanding dengan gelagar pelat bentuk kotak dengan  $a/h$  0.50 tetapi lebih besar dari  $a/h$  1.25.

#### **5.4.8 Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban-Lendutan Pengujian**

Dari Gambar (5.6),(5.7),(5.8) dapat terlihat adanya persamaan perilaku antara lendutan teoritis dan lendutan pengujian hanya saja lendutan teoritis cenderung linier dan lendutan pengujian tidak dapat linier. Dari ketiga benda uji dengan  $P_{teoritis} \neq P_{pengujian}$  tampak bahwa  $P_{teoritis}$  untuk semua benda uji lebih kecil dibandingkan dengan  $P_{pengujian}$ nya .

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan tentang gelagar pelat bentuk kotak dengan variasi jarak pengaku dan rasio tebal sayap terhadap tebal badan ( $T/t$ ), yaitu sebagai berikut :

1. Dari hubungan beban dan lendutan diperoleh bahwa untuk benda uji dengan  $a/h$  0,44 memiliki kekakuan 0,9559 kN/mm untuk benda uji  $a/h$  0,50 memiliki kekakuan 0,9585 kN/mm dan untuk benda uji dengan  $a/h$  1,25 memiliki kekakuan sebesar 0,870646 kN/mm. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk kekakuan maksimal besar rasio  $a/h$  minimal 0.50.
2. Dari hubungan momen dan kelengkungan diperoleh bahwa untuk benda uji dengan  $a/h$  0,44 besar nilai  $EI$  4,107E+9, untuk benda uji dengan  $a/h$  0,50 besar nilai  $EI$  4,15E+9 dan untuk benda uji dengan  $a/h$  1,25 besar nilai  $EI$  adalah 2,97E+9. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan nilai  $EI$  yang besar maka rasio  $a/h$  minimal 0.50

3. Dari perhitungan benda uji dengan  $a/h$  0,44 dan  $a/h$  0,50 memiliki nilai koefisien kekakuan sayap sebesar 2,0014 dan koefisien kekakuan badan sebesar 10,5979 . Untuk benda uji dengan  $a/h$  1,25 nilai koefisien kekakuan sayap 1,9458 dan untuk badan 10,29312 . Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien kekakuan pelat pengujian untuk sayap dan badan lebih kecil dari koefisien kekakuan pelat teoritis.
4. Dari hubungan  $M_n$   $M_y$  dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk semua benda uji memiliki perilaku yang sama karena besar rasio  $h/tw$  untuk semua benda uji sama .
5. Kerusakan yang terjadi pada gelagar pelat bentuk kotak secara keseluruhan mengalami tekuk lokal pada sayap maupun badan . Hal ini menunjukkan bahwa  $h/t > 162$  rawan terhadap tekuk.

## 6.2 Saran

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang gelagar pelat bentuk kotak dengan variasi jarak dan rasio perbandingan tebal sayap dan tebal badan yang berbeda.
2. Perlu dicari cara untuk mengatasi lokal buckling , yaitu dengan memperbesar rasio lebar badan terhadap tebal badan ( $b/tf$ ) atau rasio tinggi badan terhadap tebal badan ( $h/tw$ ).

## DAFTAR PUSTAKA

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

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

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

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

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

—————, 1999, **LRFD SFECIFICATION FOR STRUCTURAL STEEL BUILDINGS**, Third Edition, AISC, Amerika.

Ferdinand L. Singer dan Andrew Pytel, 1995, **ILMU KEKUATAN BAHAN**, Erlangga, Jakarta.

**REKAM JEJAK AKHIR**

**Kapasitas untuk belajar di luar negeri akan diadakan**

**PERIODE I : SEPTEMBER - FEBRUARI  
TAHUN : 2002 / 2003**

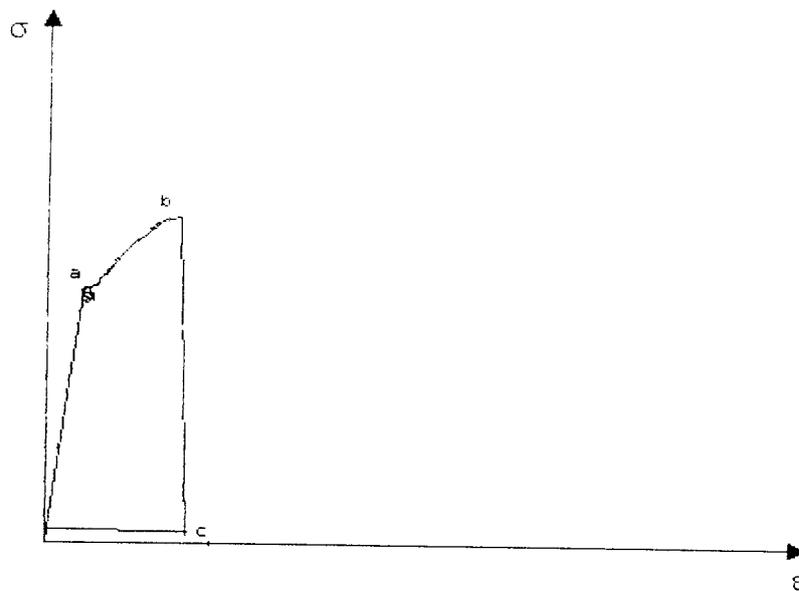
No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Sep.	Okt.	Nop.	Des.	Jan.	Peb.
1.	Pendaftaran						
2.	Penentuan Dosen Pembimbing						
3.	Pembantar. Proposal						
4.	Seminar Proposal						
5.	Konsultasi Penyusunan TA						
6.	Sidang Sidang						
7.	Pendaftaran						

**DOSEN PEMBIMBING  
DOSEN PEMBIMBING**



## HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap kekuatan kuat tarik pelat baja dengan tebal 2mm, 2.3mm dan profil L30x30x3 yang diambil bagian sayapnya. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 18 September 2002. Adapun hasil uji pendahuluan adalah sebagai berikut :

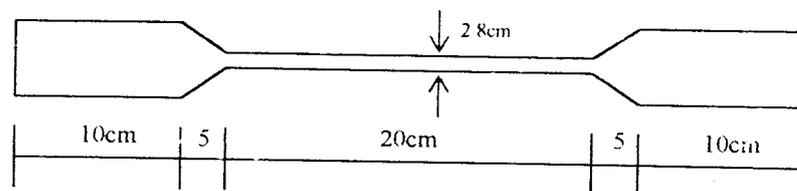


Keterangan :

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 2.3mm



$t = 0.23 \text{ cm}$

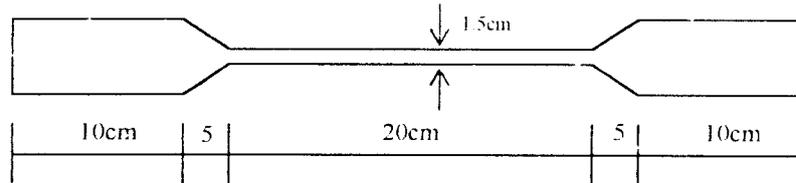
$A = 2.8\text{cm} \times 0.23 \text{ cm} = 0.644\text{cm}^2$

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.	1465	1880	250	2275 = 227.5 Mpa	2725 = 272.5 Mpa
2.	1480	1960	250	2298 = 229.8 Mpa	2841 = 284.1 Mpa
3.	1500	2030	0	2329 = 232.9 Mpa	2942 = 294.2 Mpa

$F_y = \frac{227.5 + 229.8 + 232.9}{3} = 230.1\text{Mpa}$  , dipakai  $F_y = 240\text{Mpa}$

$F_u = \frac{272.5 + 284.1 + 294.2}{3} = 283.6\text{Mpa}$  , dipakai  $F_u = 290 \text{ Mpa}$

b. Pelat Baja 2mm



$t = 0.2 \text{ cm}$

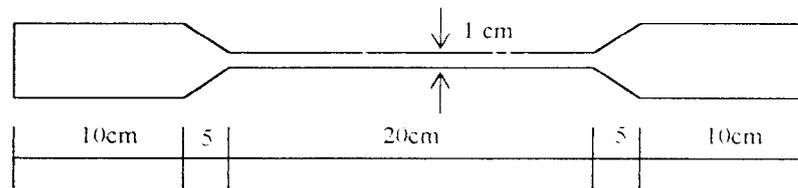
$A = 1.5\text{cm} \times 0.2 \text{ cm} = 0.3\text{cm}^2$

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	3217 = 321.7 Mpa
2.	760	1137.5	200	2533 = 253.3 Mpa	3792 = 379.2 Mpa
3.	730	1120	75	2433 = 243.3 Mpa	3733 = 373.3 Mpa

$$F_y = \frac{215 + 253.3 + 243.3}{3} = 237.2 \text{ Mpa}, \text{ dipakai } F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_u = \frac{321.7 + 379.2 + 373.3}{3} = 358.06 \text{ Mpa}, \text{ dipakai } F_u = 360 \text{ Mpa}$$

## c. Profil L30x30x3



$$t = 0.3 \text{ cm}$$

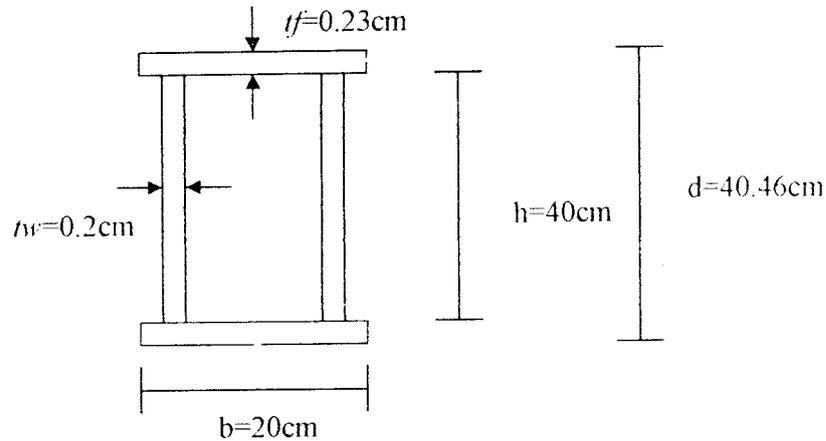
$$A = 1 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm} = 0.3 \text{ cm}^2$$

NO	P luluh (kg)	P maks (kg)	P patah (kg)	$F_y = \frac{\text{Beban Luluh}}{A}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$F_u = \frac{\text{Beban Maksimum}}{A}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1.	960	1120	425	3200 = 320 Mpa	3733 = 373.3 Mpa
2.	1150	1305	370	3833 = 383.3 Mpa	4350 = 435 Mpa
3.	1225	1355	325	4083 = 408.3 Mpa	4517 = 451.7 Mpa

$$F_y = \frac{320 + 383.3 + 408.3}{3} = 370.5 \text{ Mpa}, \text{ dipakai } F_y = 380 \text{ Mpa}$$

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

### PERHITUNGAN KOEFISIEN KEKAKUAN ( $k$ )



**Error!  $h = 400$  mm**

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

Garis netral badan (pelat)

$$y = 0,5d = 0,5 \times 40.46 = 20.23 \text{ mm}$$

$$I_x \text{ badan} = 2 \left\{ \frac{1}{12} \cdot (tw) \cdot (h)^3 + tw \cdot h \cdot y^2 \right\} = \left\{ \frac{1}{12} \cdot (2) \cdot (400)^3 + (2) \cdot (400) \cdot (0)^2 \right\}$$

$$I_x \text{ sayap} = 2 \left\{ \frac{1}{12} \cdot (b) \cdot (tf)^3 + (b) \cdot (tf) \cdot (y)^2 \right\}$$

$$\left\{ \frac{1}{12} \cdot (200) \cdot (2,3)^3 + (200) \cdot (2,3) \cdot (202,3)^2 \right\}$$

$$\begin{aligned}
 I_{x\text{total}} &= 2 \left\{ \frac{1}{12} . t w . h^3 + t w . h . y^2 \right\} + 2 \left\{ \frac{1}{12} . b . t^3 + b . t . y^2 \right\} \\
 &= 2 \left\{ \frac{1}{12} . 2 . 400^3 + 0 \right\} + 2 \left\{ \frac{1}{12} . 200 . 2,3^3 + 200 . 2,3 . 202,3^2 \right\} \\
 &= 58985005,7 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

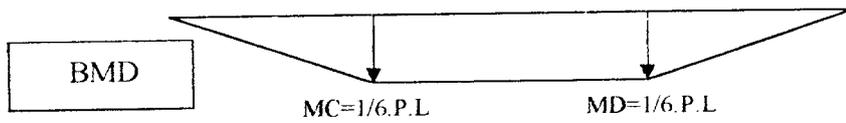
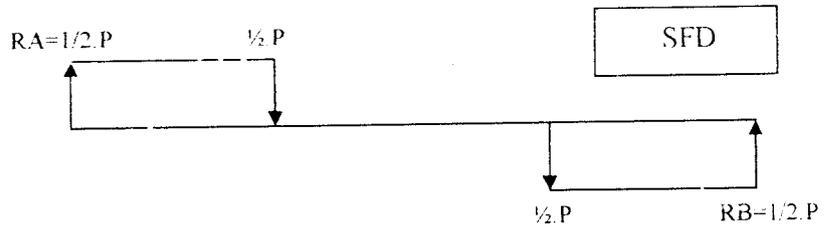
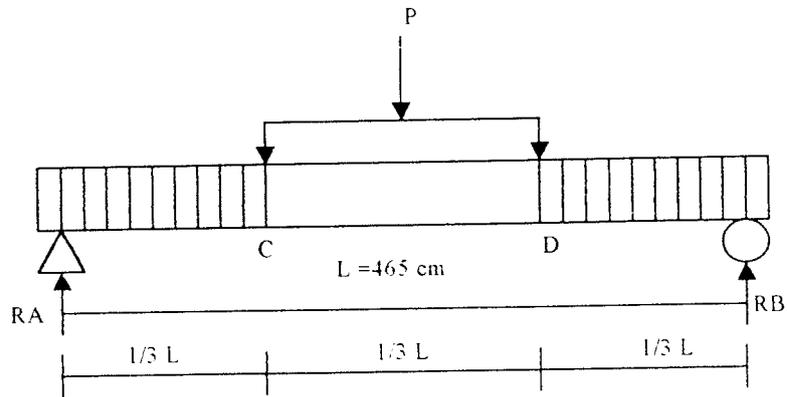
$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{58985005,7}{202,3} = 291571,9511 \text{ mm}^3$$

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

$$M = F_y . S_x = 240 . 291571,9511 = 69977268,26 \text{ N.mm} = 69977,26826 \text{ kNmm}$$

$$M = \frac{1}{6} PL \text{ dengan } L = 4650 \text{ mm maka}$$

$$P = \frac{6M}{L} = \frac{6 \times 69977,26826}{4650} = 91,5621 \text{ kN} = 9,15621 \text{ ton}$$



$$R_A L - \frac{1}{2}P \cdot \frac{1}{3}L + \frac{1}{2}P \cdot \frac{2}{3}L = 0$$

$$R_A = \frac{1}{2}P$$

$$-R_B L + \frac{1}{2}P \cdot \frac{2}{3}L + \frac{1}{2}P \cdot \frac{1}{3}L = 0$$

$$R_B = \frac{1}{2}P$$

$$M_A = 0$$

$$M_B = 0$$

$$M_C = R_A \cdot \frac{1}{3}L = \frac{1}{6}P.L$$

$$M_D = R_B \cdot \frac{1}{3}L = \frac{1}{6}P.L$$

$$P = 9.0293t$$

$$\frac{1}{2}P = 4.51465t$$

a) Benda uji 1 dengan variasi jarak pengaku ( $a/h$ ) = 0,44

Beban Maksimum = 18 kN

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

$$\frac{1}{6}P \cdot L = F_{cr} \cdot S_x$$

$$\frac{1}{6} \cdot 18.4.65.10^6 = F_{cr} \cdot 291571.9511$$

$$F_{cr} = 47,8441$$

k lentur pada badan

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot (h/t_w)^2}{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5} = \frac{47,8441 \cdot 12 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot \left(\frac{400}{2}\right)^2}{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5}$$

$$k = 10,5979$$

k Tekuk pada sayap

$$k = \frac{47,8441 \cdot 12 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot \left(\frac{200}{2.3}\right)^2}{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5} = 2.0014$$

b) Benda uji 2 dengan variasi jarak pengaku ( $a/h$ ) = 0,50

Beban Maksimum = 18 kN

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

$$\frac{1}{6} \cdot P \cdot L = F_{cr} \cdot S_x$$

$$\frac{1}{6} \cdot 18 \cdot 4,65 \cdot 10^6 = F_{cr} \cdot 291571,9511$$

$$F_{cr} = 47,8441$$

k lentur pada badan

$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot (h/t_w)^2}{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5} = \frac{47,8441 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{400}{2}\right)^2}{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5}$$

$$k = 10,5979$$

k Tekuk pada sayap

$$k = \frac{47,8441 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{200}{2,3}\right)^2}{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5} = 2,0014$$

c) Beban maksimum 17,5 kN pada benda uji 3 dengan  $a/h = 1,25$

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

$$\frac{1}{6} . P.L = F_{cr} . S_x$$

$$\frac{1}{6} . 17,5 . 4.65 . 10^6 = F_{cr} . 291571,9511$$

$$F_{cr} = 46,5151$$

k lentur pada badan

$$k = \frac{F_{cr} . 12 . (1 - \mu^2) (h/t_w)^2}{\pi^2 . 2 . 10^5} = \frac{46,5151 . 12 . (1 - 0,3^2) \left(\frac{400}{2}\right)^2}{3,14^2 . 2 . 10^5}$$

$$k = 10,29312$$

k Tekuk pada sayap

$$k = \frac{46,5151 . 12 . (1 - 0,3^2) \left(\frac{200}{2,3}\right)^2}{3,14^2 . 2 . 10^5}$$

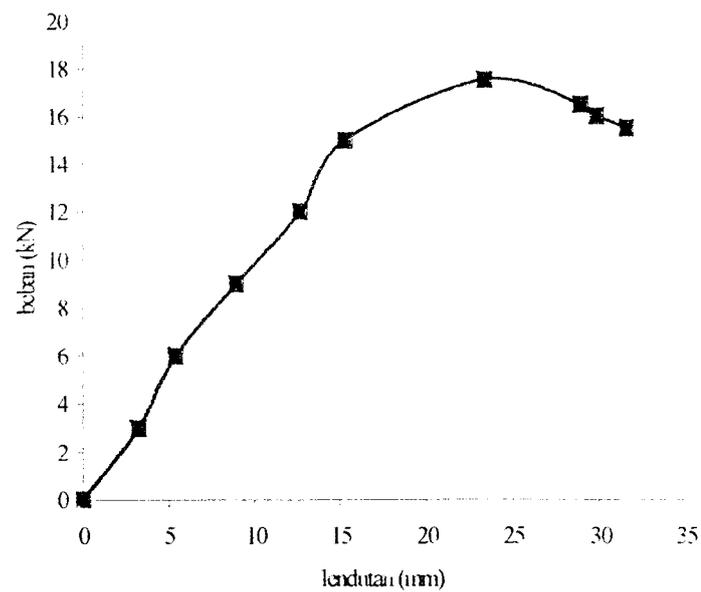
$$k = 1,9458$$

### HASIL PEMBEBANAN BENDA UJI

Hasil Pengujian Beban Lendutan Lentur (vertikal)  
Benda Uji 1

NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	4.54	4.46	4.55
3	6	5.51	5.34	5.55
4	9	7.22	7.27	6.82
5	12	9.70	9.93	9.62
6	15	13.20	13.32	12.50
7	18	17.21	17.90	16.55
8	13	18.07	18.83	17.42
9	13	18.89	20.34	18.51
10	13	22.46	23.85	21.86

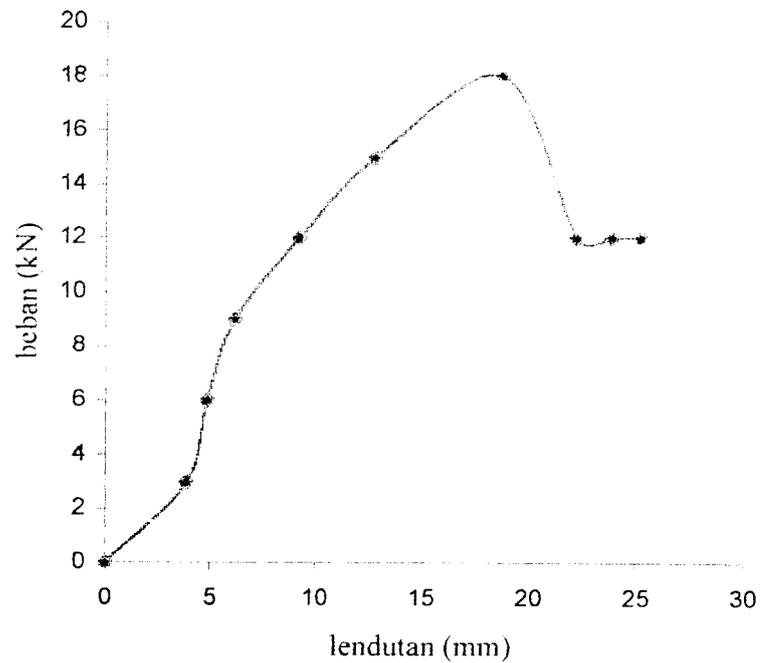
Grafik Hubungan Beban-Lendutan  
Lentur (vertikal) Benda Uji 3



Hasil Pengujian Beban Lendutan Lentur (vertikal)  
Benda Uji 2

NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	3.84	3.90	3.70
3	6	4.80	4.90	4.61
4	9	6.18	6.20	5.68
5	12	9.08	9.22	8.69
6	15	12.62	12.80	12.18
7	18	18.21	18.78	17.33
8	12	21.66	22.23	20.06
9	12	22.82	23.89	21.26
10	12	23.50	25.22	22.42

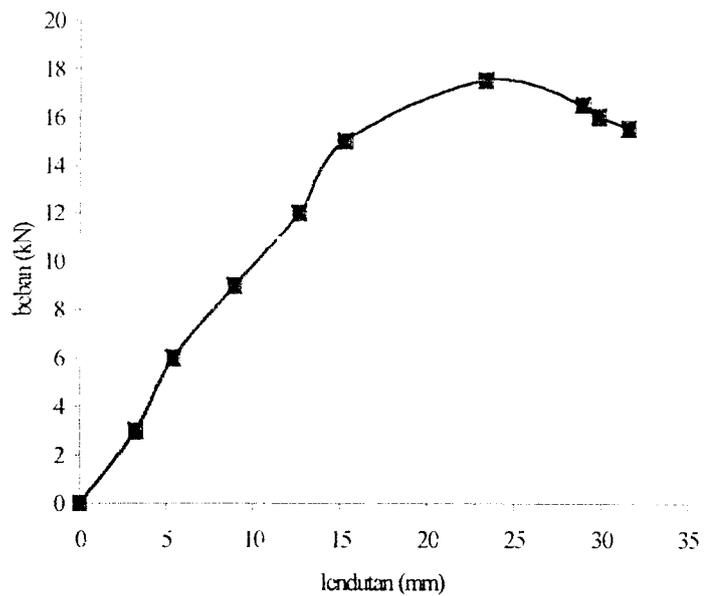
Hubungan Beban Lendutan Lentur (vertikal) benda  
uji 2



Hasil Pengujian Beban Lendutan Lentur (vertikal)  
Benda Uji 3

NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	3.28	3.22	3.32
3	6	5.18	5.40	5.45
4	9	8.75	8.95	8.88
5	12	12.34	12.70	11.96
6	15	14.82	15.30	14.28
7	17.5	22.36	23.35	21.60
8	16.5	27.23	28.90	26.66
9	16	28.25	29.80	27.12
10	15.5	30.34	31.55	28.39

Grafik Hubungan Beban-Lendutan  
Lentur (vertikal) Benda Uji 3

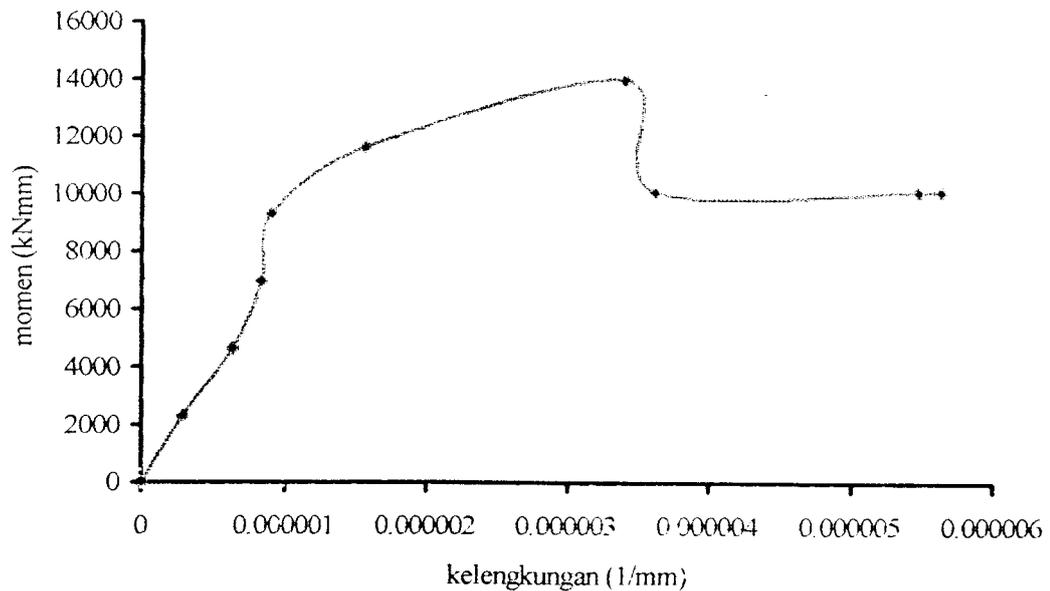


**HUBUNGAN MOMEN-KELENGKUNGAN LENTUR (VERTIKAL)**

Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal)  
 Hasil Pengujian Benda Uji 1

NO	BEBAN kN	defleksi (mm)			Momen (kNmm) M = (1/6)PL	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	4.54	4.46	4.55	2325	2.830E-07
3	6	5.51	5.34	5.55	4650	6.327E-07
4	9	7.22	7.27	6.82	6975	8.325E-07
5	12	9.70	9.93	9.62	9300	8.991E-07
6	15	13.20	13.32	12.50	11625	1.565E-06
7	18	17.21	17.90	16.55	13950	3.396E-06
8	13	18.07	18.83	17.42	10075	3.613E-06
9	13	18.89	20.34	18.51	10075	5.468E-06
10	13	22.46	23.85	21.86	10075	5.627E-06

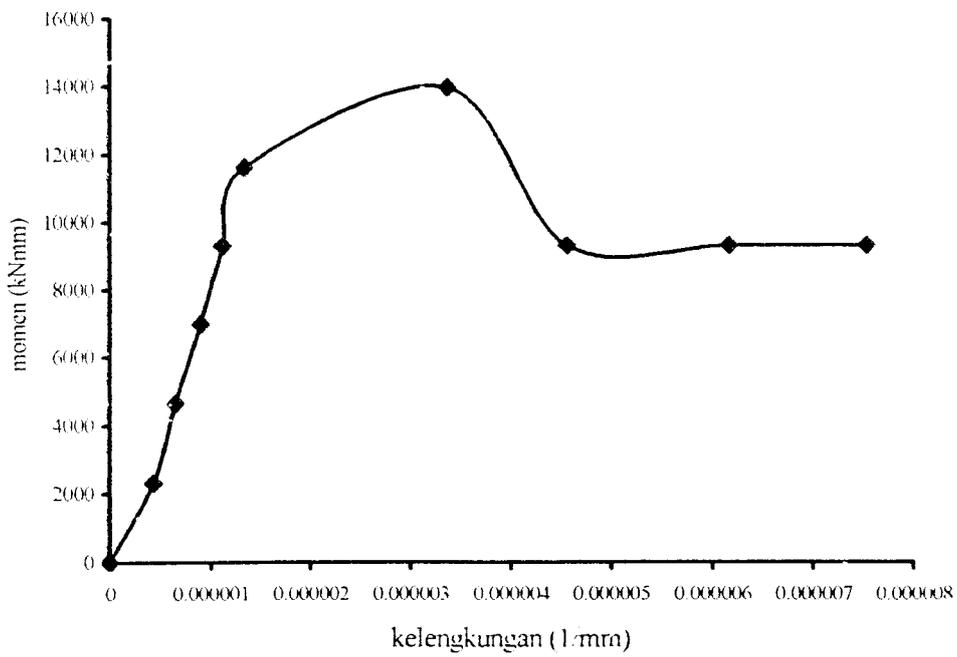
Grafik Hubungan Momen-  
 Kelengkungan Lentur(vertikal)  
 Benda Uji 1



Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal)  
 Hasil Pengujian Benda Uji 2

NO	BEBAN kN	defleksi (mm)			Momen (kNmm) M = (1/6)PL	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	3.84	3.90	3.70	2325	4.329E-07
3	6	4.80	4.90	4.61	4650	6.493E-07
4	9	6.18	6.20	5.68	6975	8.991E-07
5	12	9.08	9.22	8.69	9300	1.116E-06
6	15	12.62	12.80	12.18	11625	1.332E-06
7	18	18.21	18.78	17.33	13950	3.363E-06
8	12	21.66	22.23	20.06	9300	4.562E-06
9	12	22.82	23.89	21.26	9300	6.160E-06
10	12	23.50	25.22	22.42	9300	7.526E-06

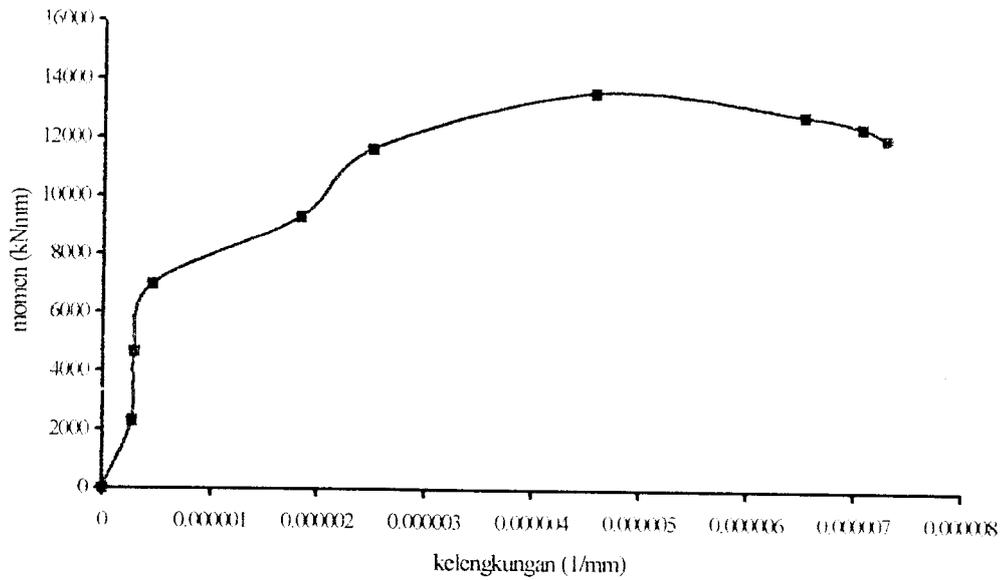
Hubungan Momen-Kelengkungan  
 Lentur (vertikal) Benda Uji 2



Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur (vertikal)  
Hasil Pengujian Benda Uji 3

NO	BEBAN KN	defleksi (mm)			Momen (kNmm) $M = (1/6)PL$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	3.28	3.22	3.32	2325	2.66389E-07
3	6	5.18	5.40	5.45	4650	2.83039E-07
4	9	8.75	8.95	8.88	6975	4.49532E-07
5	12	12.34	12.70	11.96	9300	1.83143E-06
6	15	14.82	15.30	14.28	11625	2.4974E-06
7	17.5	22.36	23.35	21.60	13562.5	4.56191E-06
8	16.5	27.23	28.90	26.66	12787.5	6.50989E-06
9	16	28.25	29.80	27.12	12400	7.04266E-06
10	15.5	30.34	31.55	28.39	12012.5	7.27575E-06

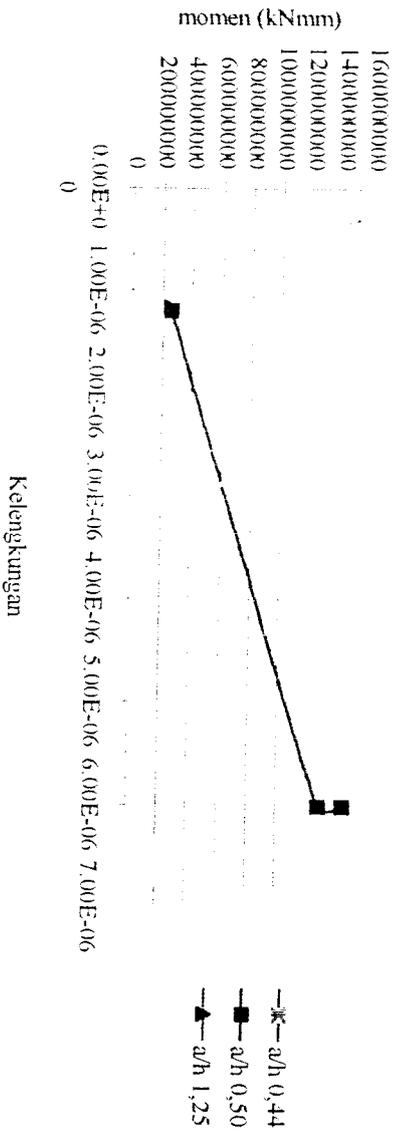
Hubungan Momen-Kelengkungan  
Lentur(vertikal) Benda Uji 3



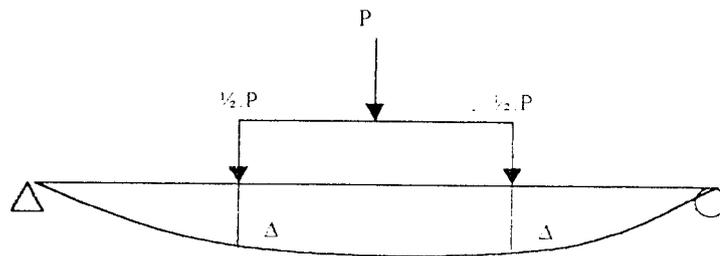
HUBUNGAN MOMEN-KELINGKUNGAN LENTUR (VERTIKAL) TEORITIS

	$F_{cr}$	$F_y$	$E$	$M_{elastis}$	$M_{leleh}$	$M_{el-s-pls}$	$\epsilon_{elastis}$	$\epsilon_{leleh}$	$\epsilon_{el-s-pls}$	$\phi_{elastis}$	$\phi_{leleh}$	$\phi_{el-s-pls}$
$a/h$ 0,44	47.84	240	2.00E+05	2.55E+08	1.28E+09	1.44E+09	2.39E-04	1.20E-03	1.20E-03	1.20E-06	6.00E-06	6.00E-06
$a/h$ 0,50	47.84	240	2.00E+05	2.55E+08	1.28E+09	1.44E+09	2.39E-04	1.20E-03	1.20E-03	1.20E-06	6.00E-06	6.00E-06
$a/h$ 1,25	46.52	240	2.00E+05	2.48E+08	1.28E+09	1.44E+09	2.33E-04	1.20E-03	1.20E-03	1.16E-06	6.00E-06	6.00E-06

Grafik Momen Kelengkungan Teoritis



### PERHITUNGAN LENDUTAN SECARA TEORITIS



Contoh perhitungan lendutan untuk benda uji 3 pada beban 3 kN

$$\text{Lendutan teori} = \Delta_1 = \frac{23PL^3}{648EI}$$

$$P = \frac{23 \cdot P}{648} = \frac{23 \cdot (3)}{648} = 0.106481 \text{ kN}$$

$$L = 4650$$

$EI$  = Momen terbesar pada benda uji 3 / kelengkungan

$$EI = 13562.5 / 2.66E-07 = 2.97E-09$$

$$\Delta_1 = \frac{0.106481 \times 4650^3}{29700000} = 3.6 \text{ mm}$$

#### Perhitungan Beban Teoritis Berdasarkan Gaya Geser Maksimum

$$V = A_w \cdot F_v$$

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

$$F_v = \frac{F_y}{2,89} C_v < 0,4F_y \Rightarrow F_y = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$C_v < 0,8 \Rightarrow \text{Gelagar pelat lentur elastis} \Rightarrow C_v = \frac{310000k}{F_y(h/t)^2}$$

$$\text{untuk } a/h = 500 \text{ mm} / 400 \text{ mm} = 1,25 \Rightarrow a/h \geq 1 \Rightarrow k = \frac{4,0}{(a/h)^2} + 5,34$$

$$k = \frac{4,0}{(0,5)^2} + 5,34 = 21,34$$

$$C_v = \frac{310000 \cdot 21,34}{240 \cdot (200)^2} = 0,6891$$

$$F_v = \frac{240}{2,89} \cdot 0,6891 = 57,2263 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 800 \cdot 57,2263 = 45781,03806 \text{ N} = 45,78103806 \text{ kN}$$

$$V = (1/2)P \Rightarrow P = 91,5621 \text{ kN}$$

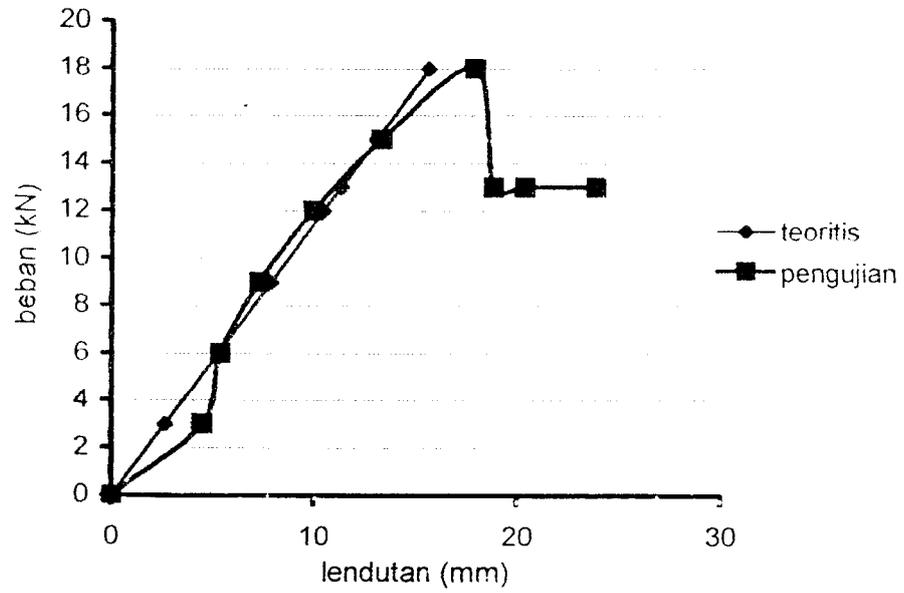
### **Beban Pengujian**

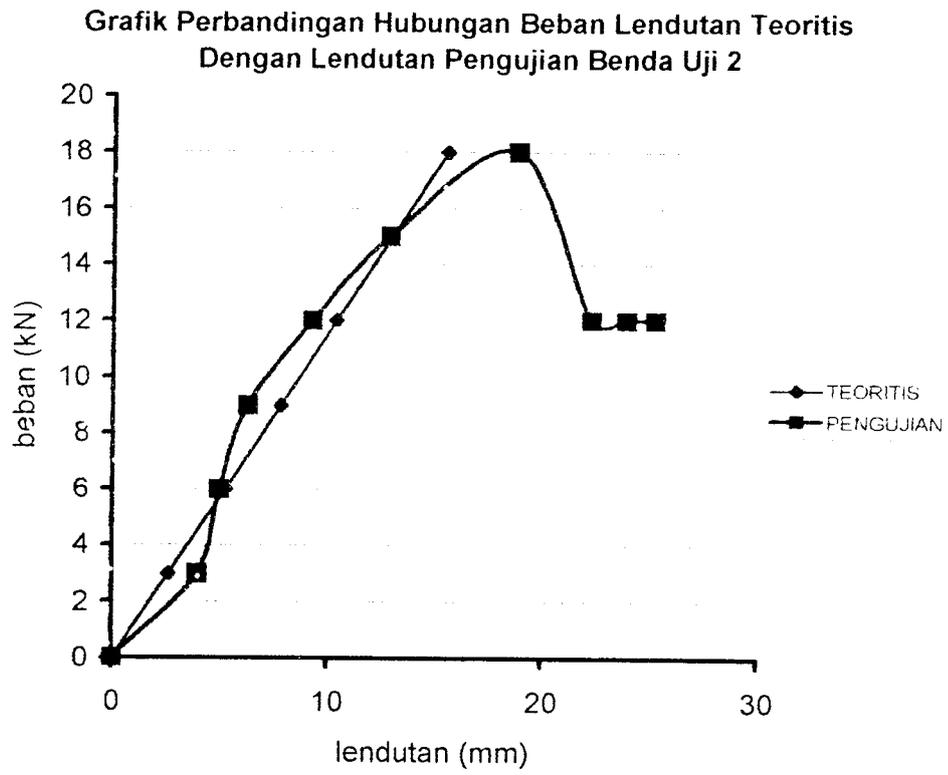
Benda uji 1 ( $a/h = 0,44$ )  $P_{\text{maks}} = 18 \text{ KN}$

Benda uji 2 ( $a/h = 0,50$ )  $P_{\text{maks}} = 18 \text{ KN}$

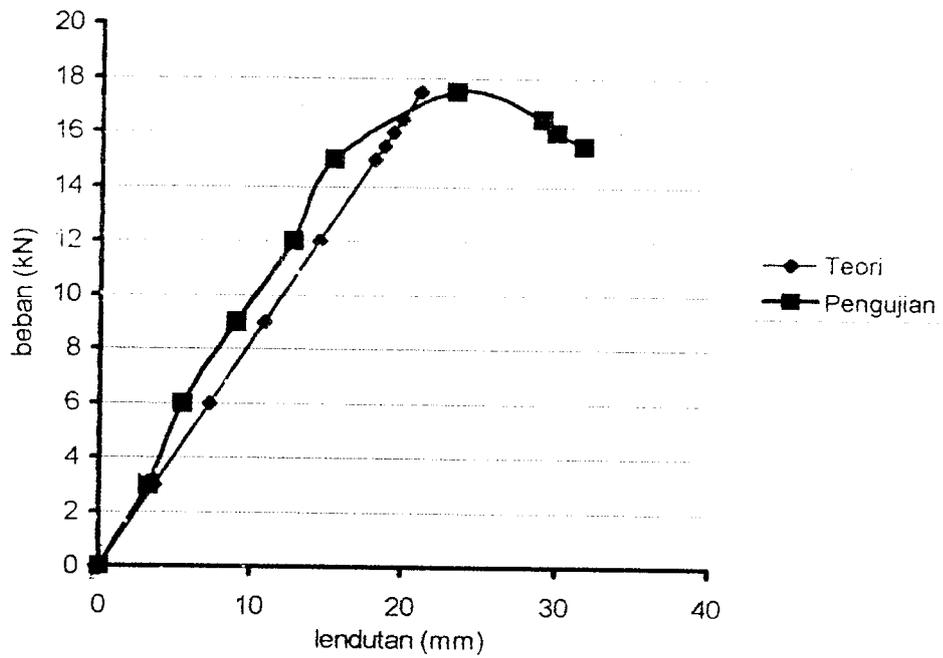
Benda uji 3 ( $a/h = 1,25$ )  $P_{\text{maks}} = 17,5 \text{ KN}$

Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lendutan  
Teoritis Dengan Pengujian Benda Uji I





Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lendutan  
Teoritis Dengan Pengujian Benda Uji 3



## PERBANDINGAN HUBUNGAN BEBAN-LENDUTAN TEORITIS DENGAN BEBAN LENDUTAN LAPANGAN

### A. $P_{\text{TEORITIS}} = P_{\text{LAPANGAN}}$

Perbandingan lendutan secara teoritis dengan lendutan lapangan benda uji 1 ( $a/h = 0,44$ )

P (kN)	L (mm)	Momen (kNm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kNm <sup>2</sup> )	lendutan teori (mm)	lendutan lapangan (mm)
0	4650	0	0	0	0	0
3	4650	2325	2.83E-07	4.11E+09	2.61E+00	4.46
6	4650	4650	6.33E-07	4.11E+09	5.21E+00	5.34
9	4650	6975	8.32E-07	4.11E+09	7.82E+00	7.27
12	4650	9300	8.99E-07	4.11E+09	1.04E+01	9.93
15	4650	11625	1.565E-06	4.11E+09	1.30E+01	13.32
18	4650	13950	3.397E-06	4.11E+09	1.56E+01	17.90
13	4650	10075	3.613E-06	4.11E+09	1.13E+01	18.83
13	4650	10075	5.461E-06	4.11E+09	1.13E+01	20.34
13	4650	10075	5.628E-06	4.11E+09	1.13E+01	23.85

Perbandingan lendutan secara teoritis dengan lendutan lapangan benda uji 2 ( $a/h = 0,50$ )

P (kN)	L (mm)	Momen (kNm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kNm <sup>2</sup> )	Lendutan teori (mm)	Lendutan lapangan (mm)
0	4650	0	0	0	0	0
3	4650	2325	4.33E-07	4.15E+09	2.58E+00	3.90
6	4650	4650	6.49E-07	4.15E+09	5.16E+00	4.90
9	4650	6975	8.99E-07	4.15E+09	7.74E+00	6.20
12	4650	9300	1.116E-06	4.15E+09	1.03E+01	9.22
15	4650	11625	1.33E-06	4.15E+09	1.29E+01	12.80
18	4650	13950	3.363E-06	4.15E+09	1.55E+01	18.78
12	4650	9300	4.562E-06	4.15E+09	1.03E+01	22.23
12	4650	9300	6.160E-06	4.15E+09	1.03E+01	23.89
12	4650	9300	7.526E-06	4.15E+09	1.03E+01	25.22

perbandingan lendutan secara teoritis dengan lendutan lapangan benda uji 3 ( $a/h = 1,25$ )

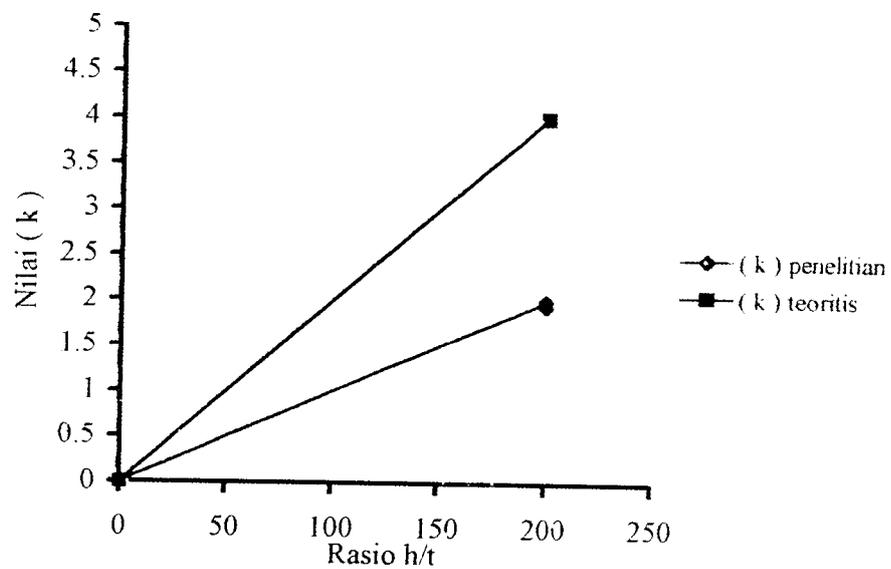
P (kN)	L (mm)	Momen (kNm)	Kelengkungan (1/mm)	EI (kNm <sup>2</sup> )	Lendutan teori (mm)	Lendutan lapangan (mm)
0	4650	0	0	0	0	0
3	4650	2325	2.66E-07	2.97E+09	3.60E+00	3.22
6	4650	4650	2.83E-07	2.97E+09	7.20E+00	5.40
9	4650	6975	4.50E-07	2.97E+09	1.08E+01	8.95
12	4650	9300	1.8314E-06	2.97E+09	1.44E+01	12.70
15	4650	11625	2.4974E-06	2.97E+09	1.80E+01	15.30
17.5	4650	13563	4.56E-06	2.97E+09	2.10E+01	23.35
16.5	4650	12788	6.5099E-06	2.97E+09	1.98E+01	28.90
16	4650	12400	7.0427E-06	2.97E+09	1.92E+01	29.80
15.5	4650	12013	7.2758E-06	2.97E+09	1.86E+01	31.55

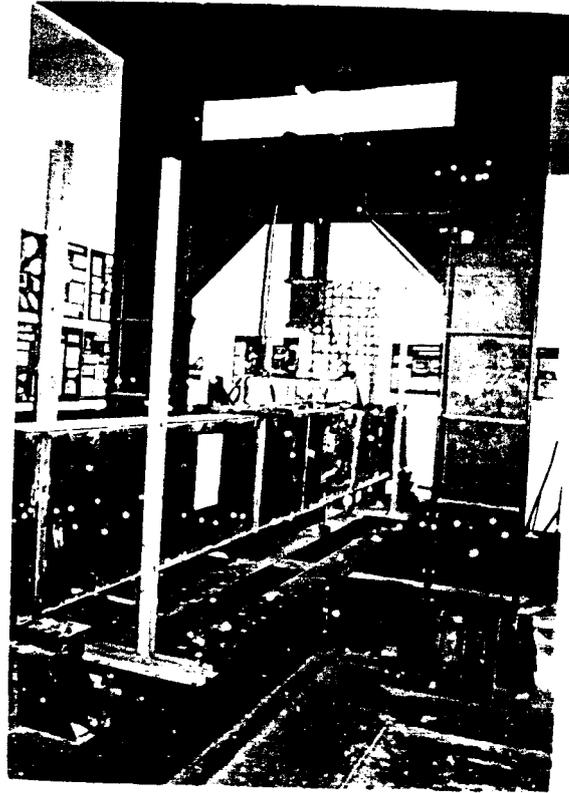
**B. P<sub>TEORITIS</sub> ≠ P<sub>LAPANGAN</sub>**

Benda uji	P Teori (kN)	P Lap (kN)	L (mm)	Momen (kNm <sup>mm</sup> )	Kelengkungan (1/mm)	EI (kNm <sup>mm</sup> <sup>2</sup> )	Lend Teori (mm)	Lend Lap Maks (mm)
a/h = 0,44	91,5621	18	4650	13950	3.39646E-06	4.11E+09	1.56E+01	17.90
a/h = 0,50	91,5621	18	4650	13950	3.709469E-06	4.15E+09	1.55E+01	18.78
a/h = 1,25	91,5621	17,5	4650	13562.5	4.56191E-06	2.97E+09	2.10E+01	23.35

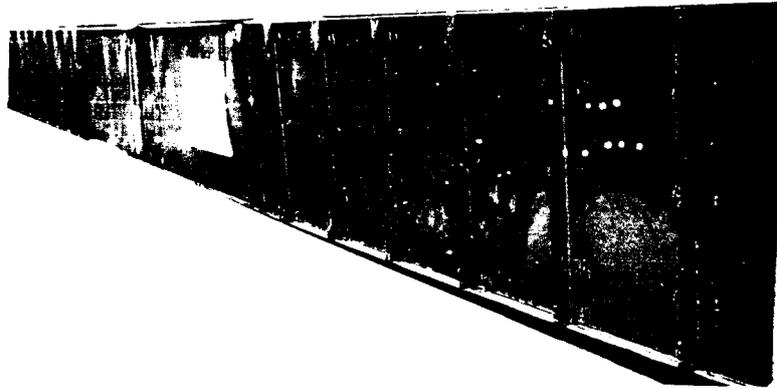
HUBUNGAN  $k$  dengan RASIO  $h/tw$ 

Benda uji	$h/tw$	$k$ badan	$k$ sayap
$a/h = 0.44$	200	10.5979	2.0014
$a/h = 0.50$	200	10.5979	2.0014
$a/h = 1.25$	200	10.29312	1.9458

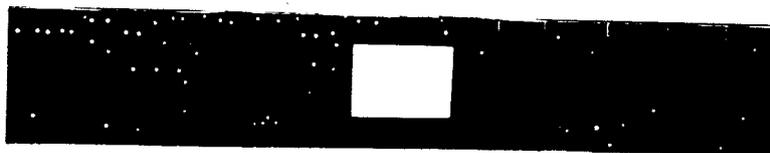
Hubungan  $k$  dengan Rasio  $h/tw$  Pada Sayap



Pengujian Gelagar Pelat Penampang Kotak



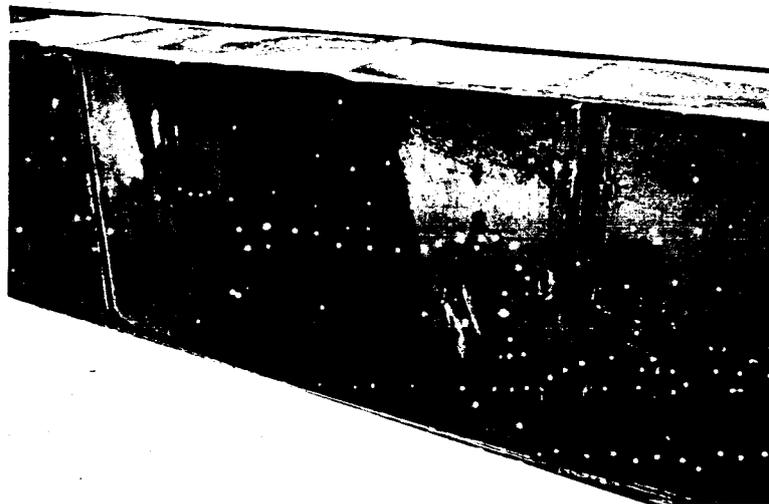
Benda Uji  $a/h$  0.44



Benda Uji  $a/h$  0.50



Benda Uji *a h* 1.25



Tekuk Pada Sayap dan Lentur Pada Badan