

TUGAS AKHIR

PERPUSTAKAAN FTSP UII

HADIAH/BELI

TGL. TERIMA : 29 03 2003
NO. JUDUL : 000 403
NO. INV. : 5120000403001
NO. INTUK. :

**KUAT LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG KOTAK TANPA PENGAKU
TRANSVERSAL**



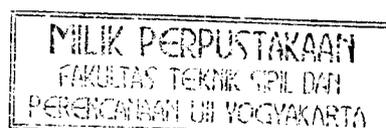
Disusun Oleh :



Nama : ADI MARWANTO
No. Mhs : 97 511 085
NIRM : 970051013114120072

Nama : ANDRE BHARATA
No. Mhs : 97 511 266
NIRM : 970051013114120215

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2003**



**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**KUAT LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG KOTAK TANPA
PENGAKU TRANSVERSAL**

Disusun Oleh :

**Nama : ADI MARWANTO
No. Mhs : 97 511 085
NIRM : 970051013114120072**

**Nama : ANDRE BHARATA
No. Mhs : 97 511 266
NIRM : 970051013114120215**

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Ir. H. M. SAMSUDIN, MT.

Dosen Pembimbing I

Ir. FATKHURROHMAN N.S, MT.

Dosen Pembimbing II


Tanggal : 8/03-'03


Tanggal : 8/03-2003

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

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

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

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini kupersembahkan buat,

1. Ibu Bapak yang tercinta.
2. Adik-adikku tersayang.
3. Teman-teman dekatku terkasih.
4. Para pembaca sekalian.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

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

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

Pada kesempatan ini tidak berlebihan kiranya menyampaikan terima kasih kepada :

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

5. Ibu dan Bapak serta adikku tercinta atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala doa-nya.
6. Teman-teman dekatku yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
7. Semua pihak yang telah membantu didalam penyusunan Tugas Akhir.

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Januari 2003

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
ABSTRAKSI	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	5
BAB III	LANDASAN TEORI	8
	3.1 Gelagar Pelat	8
	3.2 Stabilitas Pelat.....	10
	3.3 Tekuk Pelat Pada Sayap Akibat Tekan	11
	3.4 Lentur pada Bidang Badan.....	15
	3.5 Kekuatan Lentur Batas pada Gelagar.....	16
	3.6 Tekuk Akibat Geser	18
	3.6.1 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni.....	18
	3.6.2 Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni	20
	3.6.3 Kekuatan Geser	21
	3.7 Pengaku Dukung atau Landasan	24
	3.8 Hubungan Beban-Lendutan	27
	3.9 Hubungan Momen-Kelengkungan	29
	3.10 Daktilitas	34
	3.11 Pengelompokan Baja Berdasarkan Tegangan Leleh.....	36
BAB IV	METODE PENELITIAN	37
	4.1 Metode Penelitian	37
	4.2 Persiapan Bahan dan Alat.....	38
	4.2.1 Bahan	38
	4.2.2 Peralatan Penelitian.....	38
	a. Mesin Uji Kuat Tarik	38
	b. Loading Frame	39

c.	Dukungan Sendi dan Rol.....	40
d.	Hidraulic Jack.....	41
e.	Dial Gauge.....	41
4.3	Model Benda Uji	42
4.4	Pembuatan Benda Uji.....	43
4.5	Pengujian Benda Uji.....	43
4.5.1	Pengujian Kuat Tarik Baja	43
4.5.2	Pengujian Kuat Lentur	43
BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	46
5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	46
5.2	Hasil Pengujian Lentur Gelagar Pelat Penampang Kotak.....	46
5.2.1	Hubungan Beban-Lendutan Lentur Pengujian.....	47
5.2.2	Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Pengujian	47
5.2.3	Hubungan Beban-Tinggi badan Teoritis dan Pengujian	49
5.2.4	Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Pengujian.....	50
5.2.5	Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis pada kondisi elastis.....	51
5.2.6	Perbandingan Nilai Koefisien Tekuk (k) Teoritis dengan Pengujian.....	52
5.2.7	Perbandingan Tegangan Kritis (F_{cr}) Teoritis dengan Pengujian.....	53

5.3.3	Hubungan Beban-Tinggi badan (h) berdasarkan Teoritis dan Pengujian	59
5.3.4	Hubungan Momen-Kelengkungan berdasarkan Teoritis dan Pengujian	60
5.3.5	Perbandingan Nilai Koefisien Tekuk (k) Teoritis dengan Pengujian	61
5.3.6	Perbandingan Nilai Tegangan Kritis (F_{cr}) Teoritis dengan Pengujian.....	61
5.3.7	Hubungan Rasio M_n/M_y Teoritis dan Pengujian dengan h/t_w	62
5.3.8	Kekakuan Lentur dan Daktilitas dari berbagai Benda Uji	63
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	64
6.1	Kesimpulan	64
6.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN		

5.2.8	Hubungan Rasio M_n/M_y Teoritis dan Pengujian dengan h/t_w	53
5.2.9	Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan Lentur Pengujian.....	54
5.2.10	Analisa Data Perbandingan Beban Lendutan secara Teoritis dengan Beban Lendutan Pengujian.....	54
5.2.11	Analisa Data Hubungan Beban-Tinggi Badan Teoritis dan Pengujian.....	55
5.2.12	Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Pengujian.....	55
5.2.13	Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis pada kondisi Elastis.....	56
5.2.14	Analisa Data Perbandingan Nilai koefisien Tekuk (k) Teoritis dengan Pengujian.....	57
5.2.15	Analisa Data Perbandingan Tegangan Kritis (F_{cr}) Teoritis dengan Pengujian.....	57
5.2.16	Analisa Data Rasio M_n/M_y Teoritis dan Pengujian dengan h/t_w	59
5.3	Pembahasan.....	58
5.3.1	Kuat Tarik Baja Berdasarkan Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	58
5.3.2	Hubungan Beban Lendutan berdasarkan Teoritis dan Pengujian.....	59

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3.1 Distribusi tegangan pada berbagai tahap pembebanan
- Gambar 3.2 Koefisien tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana
- Gambar 3.3 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan pada pelat segi empat datar
- Gambar 3.4 Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak
- Gambar 3.5 Koefisien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni
- Gambar 3.6 Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada pelat badan : baja A36
- Gambar 3.7 Teori geser klasik
- Gambar 3.8 Dua keadaan dari jarak pengaku.
- Gambar 3.9 Perbandingan antara tekuk pelat dengan tekuk kolom
- Gambar 3.10 Penampang lintang efektif pangaku tumpu.
- Gambar 3.11 Lendutan balok
- Gambar 3.12 Diagram momen
- Gambar 3.13 Diagram geser
- Gambar 3.14 Grafik hubungan beban dan lendutan pada balok
- Gambar 3.15 Hubungan momen kelengkungan

- Gambar 3.16 Momen kelengkungan
- Gambar3.17 Distribusi tegangan dan regangan pada berbagai tahap Pembebanan
- Gambar 3.18 Grafik momen kelengkungan
- Gambar 4.1 Bagan alir metode penelitian
- Gambar 4.2 Universal testing material shimatzu UMH 30
- Gambar 4.3 Bentuk fisik Loading Frame
- Gambar 4.4 Dukungan sendi dan rol
- Gambar 4.5 Hidraulic Jack
- Gambar 4.6 Dial Guage
- Gambar 4.7 Perletakan dukungan sendi-rol gelagar pelat penampang kotak
- Gambar 4.8 Penampang gelagar pelat penampang kotak
- Gambar 4.9 Benda uji untuk uji kuat tarik baja
- Gambar 4.10 Gelagar penampang kotak $h/t = 200$
- Gambar 4.11 Gelagar penampang kotak $h/t = 250$
- Gambar 4.12 Gelagar penampang kotak $h/t = 300$
- Gambar 5.1 Grafik hubungan beban lendutan lentur ketiga benda uji
- Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban Lendutan Pengujian Benda Uji 1
- Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban Lendutan Pengujian Benda Uji 2
- Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban Lendutan Pengujian Benda Uji 3

- Gambar 5.5 Grafik Hubungan Beban-Tinggi Badan Teoritis dan Pengujian
- Gambar 5.6 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur dari Ketiga Benda Uji.
- Gambar 5.7 Grafik Regresi Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur dari Ketiga Benda Uji.
- Gambar 5.8 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis pada kondisi Elastis
- Gambar 5.9 Grafik perbandingan Nilai Koefisien Tekuk (k) penelitian dengan teoritis pada sayap.
- Gambar 5.10 Grafik perbandingan Nilai Koefisien Tekuk (k) penelitian dengan teoritis pada badan.
- Gambar 5.11 Grafik perbandingan Tegangan kritis (F_{cr}) Teoritis dan Pengujian.
- Gambar 5.12 Grafik Hubungan rasio M_n / M_y teoritis dan pengujian dengan h / t_w

DAFTAR TABEL

- Tabel 5.1 Hasil pengujian kuat tarik baja
- Tabel 5.2 Analisa hubungan beban-lendutan lentur Pengujian
- Tabel 5.3 Analisa daktilitas simpangan dari hubungan beban-lendutan lentur
- Tabel 5.4 Analisa Perbandingan Beban lendutan secara Teoritis dengan Lendutan Pengujian
- Tabel 5.5 Analisa Hubungan Beban-Tinggi badan Teoritis dan pengujian.
- Tabel 5.6 Analisa Kekakuan lentur dari hubungan momen-kelengkungan lentur.
- Tabel 5.7 Analisa daktilitas kelengkungan dari hubungan momen-kelengkungan lentur
- Tabel 5.8 Analisa Hubungan Momen kelengkungan Teoritis pada kondisi Elastis.
- Tabel 5.9 Analisa Perbandingan Nilai koefisien Tekuk (k) Teoritis dengan Pengujian
- Tabel 5.10 Analisa Perbandingan Tegangan kritis (F_{cr}) Teoritis dan Pengujian
- Tabel 5.11 Analisa rasio M_n / M_y teoritis dan pengujian dengan h / t_w

DAFTAR NOTASI

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

f_b	=	Tegangan lentur dalam layanan
f_c	=	Tegangan merata beban layanan
f_v	=	Tegangan geser baban layanan
F_a	=	Tegangan aksial beban layanan yang disajikan dalam
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
γ	= Istilah umum untuk faktor kelebihan beban
ε	= Regangan
ε_t	= Regangan total
ε_x	= Regangan arah x
ε_y	= Regangan pada saat tegangan leleh
Δ	= Defleksi atau lendutan
Δ_y	= Lendutan pada saat beban maksimum
Δ_{total}	= Lendutan total
λ	= Rasio kerampingan untuk pelat
λ_c	= Parameter kerampingan
λ_p	= Rasio kerampingan maksimum untuk elemen kompak
μ	= Rasio poisson
ϕ	= Koefisien resistensi = 0,85
τ	= Tegangan geser
τ_c	= Tegangan tekuk geser
τ_y	= Tegangan leleh geser
θ	= Sudut rotasi

- ρ = Rasio luas penampang lintang badan Aw terhadap luas penampang Af salah satu flens
- σ = Tegangan
- π = Konstanta = 3,15

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Lembar Konsultasi	
Lampiran 2	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	1
Lampiran 3	Perhitungan Benda Uji.....	4
Lampiran 4	Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk (k) hasil pengujian.....	15
Lampiran 5	Hasil Pembebanan Benda Uji.....	22
Lampiran 6	Hubungan Momen Kelengkungan.....	26
Lampiran 7	Perhitungan Rasio Momen Nominal terhadap Momen Lelch ($M_n M_y$)	32
Lampiran 8	Perbandingan Lendutan Secara Teoritis dengan Lendutan Pengujian.....	34
Lampiran 9	Foto Benda Uji.....	36

ABSTRAKSI

Gelagar pelat adalah struktur lentur tersusun yang badan mempunyai rasio tinggi terhadap tebal (h/t_w) cukup besar sehingga masalah tekuk membatasi kapasitasnya. Gelagar penampang kotak lebih kaku dibandingkan dengan gelagar penampang I, karena diproporsikan sayap menumpu pada kedua sisi badannya.

Penelitian eksperimental menggunakan tiga benda uji dengan spesifikasi, panjang total 4800 mm, menggunakan pelat dengan tebal 2 mm baik pada sayap dan badan. Untuk tinggi (h) masing-masing benda uji bervariasi yaitu 400 mm, 500 mm, 600 mm sedangkan untuk lebar (b) masing-masing benda uji tetap yaitu 200 mm dan profil L30x30x3 digunakan sebagai pengaku dukung. Bertujuan untuk mendapatkan kurva hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$), beban-tinggi badan ($P-h$), momen-kelengkungan ($M-\phi$), nilai koefisien tekuk (k), nilai tegangan kritis (F_{cr}), rasio momen nominal dengan momen leleh (M_n/M_y) dan nilai kekakuan lentur (EI) serta daktilitasnya (ϵ).

Hasil penelitian eksperimental ini diperoleh bahwa semakin tinggi badan (h) pada benda uji maka lendutan yang terjadi semakin kecil, beban yang ditahan semakin meningkat, kelengkungan yang terjadi semakin kecil, nilai koefisien tekuk (k) pada badan semakin meningkat dan berbanding terbalik dengan nilai koefisien tekuk (k) pada sayap, nilai tegangan kritis (F_{cr}) semakin menurun, rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) semakin menurun, kekakuan lentur (EI) semakin meningkat dan daktilitasnya (ϵ) semakin menurun. Dari penelitian ini didapatkan bahwa semakin besar rasio (h/t) maka lentur yang terjadi pada gelagar pelat penampang kotak tanpa pengaku transversal lebih kecil dibandingkan nilai rasio (h/t) rendah.

Kata Kunci = beban-lendutan, momen-kelengkungan, koefisien tekuk, tegangan kritis, momen nominal-momen leleh.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelagar pelat dibentuk dari komponen- komponen pelat sehingga perilaku profil sangat dipengaruhi oleh pelat, karena itu diperlukanlah inovasi tatanan pelat yang lebih baik yaitu dengan cara menata pelat menjadi penampang kotak dimana badan dan sayap profil menjadi terkekang.

Gelagar pelat paling sederhana terdiri dari pelat sayap atas, pelat sayap bawah yang dihubungkan secara menerus oleh pelat badan. Pelat sayap berfungsi memikul sebagian besar momen, sedangkan pelat badan berfungsi menahan gaya geser dan menghubungkan sayap-sayap menjadi satu kesatuan

Akibat momen, sebagian penampang menerima tekan dan sebagian lagi menerima tarik. Bagian penampang gelagar pelat yang menerima tegangan tekan rawan terhadap bahaya tekuk yang dapat berupa tekuk lokal dan tekuk lateral, keduanya merupakan pola kegagalan dini yang dialami oleh gelagar pelat.

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

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

Ketiga pola kegagalan tersebut terjadi jika perbandingan b/t , h/t dan L/r_y besar.

Gelagar penampang I memiliki nilai koefisien tekuk (k) teoritis mendekati 0,425 pada sayap karena tidak ditumpu secara menerus, sedangkan pada gelagar pelat penampang kotak memiliki nilai koefisien tekuk (k) teoritis mendekati 4 pada sayap karena ditumpu secara menerus dan 23,9 pada badan karena sayap tidak mengekang pada rotasi tepi. Dengan demikian tampak bahwa nilai koefisien tekuk (k) pada sayap naik sepuluh kali lipat.

Melihat kondisi diatas apabila nilai koefisien tekuk (k) teoritis meningkat maka nilai tegangan kritis (F_{cr}) teoritis menjadi lebih besar. Dengan hal tersebut, timbul pemikiran untuk mengetahui nilai koefisien tekuk (k) hasil pengujian pada gelagar pelat dengan melakukan penelitian tentang kuat lentur gelagar pelat penampang kotak tanpa pengaku transversal yang menggunakan variasi rasio tinggi terhadap tebal (h/t).

1.2 Rumusan Masalah

Menyelidiki kapasitas lentur dan nilai koefisien tekuk (k) gelagar pelat penampang kotak tanpa pengaku transversal sebelum terjadinya tekuk lokal .

1.3 Batasan Masalah

Supaya penelitian dapat terarah dan sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian maka diperlukan batasan sebagai berikut:

1. Gelagar pelat penampang kotak yang ditumpu sederhana (sendi-rol), dengan panjang bentang $L = 4800$

2. Gelagar pelat dengan tebal pelat sayap dan pelat badan (t) = 2 mm, lebar sayap (b) = 200 mm dengan variasi tinggi yang digunakan adalah $h = 400$, $h = 500$, $h = 600$.
- 4 Model pembebanan yang digunakan pembebanan dua titik dan menguji kuat lentur gelagar pelat
- 5 Alat sambung yang digunakan alat sambung las.
- 6 Profil L 30x30x3 digunakan sebagai pengaku dukung.

1.4 Tujuan Penelitian

Mempelajari perilaku gelagar pelat yaitu;

1. Mendapatkan grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta_y$) teoritis dan pengujian pada gelagar pelat penampang kotak.
2. Mendapatkan grafik hubungan beban-tinggi ($P-h$) teoritis dan pengujian pada gelagar pelat penampang kotak
3. Mendapatkan grafik hubungan momen kelengkungan ($M-\phi$) teoritis dan pengujian pada gelagar pelat penampang kotak.
4. Mendapatkan grafik nilai koefisien tekuk (k) teoritis dan pengujian pada gelagar pelat penampang kotak.
5. Mendapatkan grafik nilai tegangan kritis (F'_{cr}) teoritis dan pengujian pada gelagar pelat penampang kotak.
6. Mendapatkan grafik hubungan momen nominal terhadap momen leleh (M_n M_y) pada berbagai rasio h/t .

7. Mendapatkan kekakuan lentur (EI) dan daktilitas pada gelagar pelat penampang kotak.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diambil dari penelitian ini adalah :

- 1 Menggunakan kurva hubungan momen-kelengkungan dapat diketahui daktilitas lengkung (curvature ductility) dan momen maksimum yang dapat didukung sehingga tegangan kritis dapat diketahui dan dapat dijadikan sebagai dasar perencanaan pada gelagar pelat penampang kotak.
- 2 Memperoleh kapasitas lentur gelagar pelat penampang kotak dengan variasi h/t.
- 3 Sebagai salah satu masukan bagi pembaca sehingga menambah pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan bangunan baja.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Speigel dan Limbrunner, 1991 mendefinisikan girder (gelagar) adalah balok utama atau tinggi yang sering digunakan untuk menumpu balok-balok lain sedangkan **Bowles, 1985** gelagar pelat pada pokoknya adalah bagian konstruksi rangka yang flensnya adalah batang tepi atas dan batang tepi bawah dan badan yang membentuk suatu konstruksi begitu juga **Salmon dan Johnson, 1996** Gelagar pelat adalah suatu balok yang dibuat dari elemen-elemen pelat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien ketimbang yang tidak mungkin diperoleh dengan balok tempa.

Schodek, 1991 mendefinisikan masalah lentur adalah analisa mengenai tegangan dan deformasi yang timbul pada elemen yang mengalami aksi gaya (umumnya tegak lurus pada sumbu elemen) sehingga salah satu tepi serat mengalami perpanjangan dan tepi dan tepi serat lainnya mengalami perpendekan pendapat yang sama dikemukakan oleh **Gere dan Timoshenko, 1997**

Menurut **Salmon dan Johnson, 1996** kekuatan nominal tereduksi (M_n) dipengaruhi oleh fungsi rasio luas badan terhadap terhadap luas sayap ($A_w A_f$), rasio tinggi badan terhadap tebal ($h t_w$), rasio panjang total terhadap jari-jari girasi ($L r_y$) dan rasio lebar sayap terhadap tebal ($b t_f$).

Hubungan antara kekuatan momen nominal M_n vs h/t_w . Untuk h/t antar 51-162 harga $M_n/M_y \geq 1$ (penurunan grafik linier), pada h/t_w 162 rasio $M_n/M_y = 1$. Bila kekutan pasca tekuk gekagar diperhitungkan kekuatannya meningkat dari garis BC sampai garis BC. Gambar 3.9 **Salmon dan Johnson 1986**.

Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio sebesar h/t_w tekuk mungkin akan terjadi akibat lentur pada bidang badan. **Englekirk. 1991**.

Apabila suatu beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti mengalami defeksi atau lendutan dan meskipun sudah dicek aman terhadap lentur dan geser suatu gelagar biasanya tidak layak bila terlalu fleksibel **Speigel dan Limbrunner 1991**

Momen menyebabkan lenturan pada struktur. Semakin besar momen tersebut, akan semakin besar pula lenturan yang diakibatkannya. (**Schodek, 1991**)

Menurut **Speigel dan Limbremer 1991**, pengaku landasan digunakan pada titik beban terpusat dan reaksi untuk menyalurkan beban terpusat ke seluruh tinggi badan (web), pengaku antara dipasang dalam berbagai jarak disepanjang bentang dan berfungsi untuk memperbesar kekuatan tekuk badan, ini akan memperbesar tahanan badan terhadap kombinasi geser dan momen.

Hubungan antara kekuatan momen nominal M_n vs h/t_w . Untuk h/t antar 51-162 harga $M_n/M_y \geq 1$ (penurunan grafik linier), pada h/t_w 162 rasio $M_n/M_y = 1$. Bila kekuatan pasca tekuk gekagar diperhitungkan kekuatannya meningkat dari garis BC sampai garis BC. Gambar 3.9 **Salmon dan Johnson 1986**.

Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio sebesar h/t_w tekuk mungkin akan terjadi akibat lentur pada bidang badan. **Englekirk. 1991**.

Apabila suatu beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti mengalami defeksi atau lendutan dan meskipun sudah dicek aman terhadap lentur dan geser suatu gelgar bias tidak layak bila terlalu fleksible **Speigel dan Limbrunner 1991**

Momen menyebabkan lenturan pada struktur. Semakin besar momen tersebut, akan semakin besar pula lenturan yang diakibatkannya. (**Schodek, 1991**)

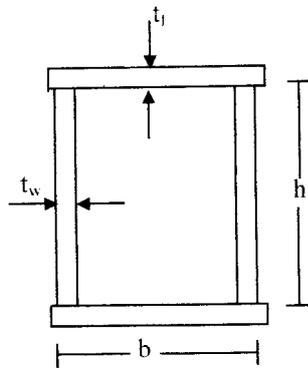
Menurut **Speigel dan Limbremer 1991**, pengaku landasan digunakan pada titik beban terpusat dan reaksi untuk menyalurkan beban terpusat ke seluruh tinggi badan (web), pengaku antara dipasang dalam berbagai jarak disepanjang bentang dan berfungsi untuk memperbesar kekuatan tekuk badan, ini akan memperbesar tahanan badan terhadap kombinasi geser dan momen.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Gelagar Pelat

Menurut **Salmon dan Johnson, 1996**, gelagar pelat adalah balok yang dibentuk dari elemen-elemen untuk mencapai kekuatan beban yang lebih efisien dibanding dengan yang diperoleh dari balok profil I. Gelagar pelat cukup ekonomis bila bentangnya cukup panjang sehingga memungkinkan penghematan biaya dengan cara memproposionalkan terhadap persyaratan-persyaratan tertentu. Gelagar pelat penampang kotak terbentuk dari pelat yang tersusun, dapat dilihat pada Gambar 3.1



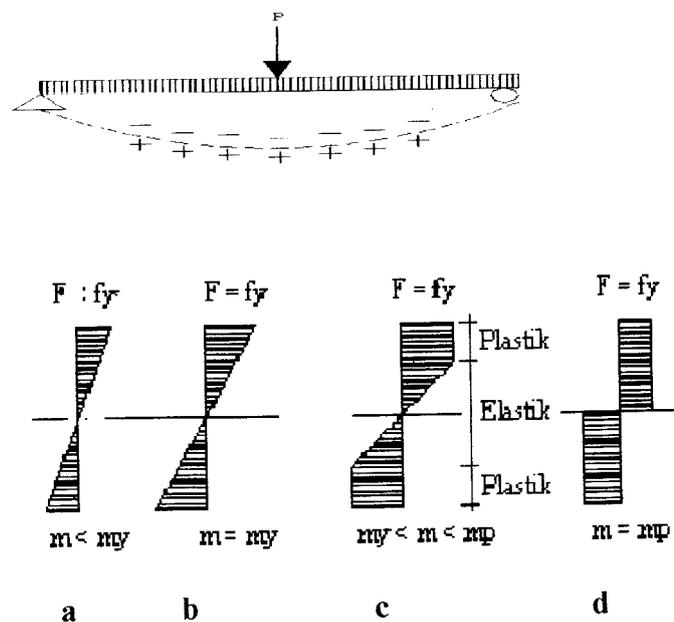
Gambar 3.1 Potongan melintang gelagar pelat penampang kotak.

Ada dua elemen dasar gelagar pelat penampang kotak antara lain :

1. Sayap gelagar berupa pelat baja yang terdiri dua bagian yaitu sayap atas dan sayap bawah yang diletakkan pada posisi memanjang horizontal, pada kedua sisinya ditumpu sederhana secara menerus.

2. Badan berupa pelat baja yang diletakkan memanjang vertikal, umumnya pelat badan relatif tipis yang diperkaku dengan pelat sayap dan ditumpu sederhana secara menerus

Menurut **Salmon dan Johnson, 1992**, distribusi tegangan yang mengalami peningkatan momen lentur diperlihatkan dalam **Gambar 3.2**, kondisi ini hanya dapat diwakili bila balok tidak mengalami tekuk lokal maupun tekuk puntir lateral. Pada momen lentur dalam rentang beban layanan, penampang tersebut bersifat elastik seperti dalam **Gambar 3.2a** dan kondisi elastik akan terjadi sampai tegangan pada serat terluar mencapai tegangan leleh f_y **Gambar 3.2b**. Pada **Gambar 3.2c** terjadi setelah sebagian serat pada penampang balok mencapai tegangan leleh sebagian lagi masih elastis dan **Gambar 3.2d** terjadi jika seluruh serat pada penampang balok mencapai tegangan leleh atau plastis penuh.



Gambar 3.2 Distribusi tegangan pada berbagai tahap pembebanan (**Salmon dan Johnson, 1992**)

3.2. Stabilitas Pelat.

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

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

dimana : w = lendutan lateral, q = komponen beban transversal akibat lenturan pelat, D = kekakuan lentur persatuan panjang pelat

Persamaan 3.1 bila ditulis untuk balok dengan lebar b , menjadi Persamaan deferensial untuk beban :

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

dengan $I = t^3 b / 12(1-\mu^2)$ dan qb merupakan beban panjang satuan di sepanjang bentang balok. Disamping suku umum q yang menyatakan komponen beban transversal akibat lenturan pelat, komponen transversal dari gaya tekan N_x ketika pelat melendut

$$q = -N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (3.3)$$

kemudian Persamaan 3.3 disubstitusikan kedalam Persamaan 3.1 menjadi

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

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,

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

sehingga Persamaan 3.6 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 $N_x = F_{cr} t$ dan $D = Et^3 / [12(1-\mu^2)]$, tegangan tekuk elastis dapat dituliskan sebagai,

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

dimana k merupakan sebuah konstanta yang tergantung pada tipe regangan, kondisi tumpuan tepi, dan rasio panjang terhadap lebar (rasio aspek) dari pelat yang bersangkutan, modulus elastisitas E , rasio poisson μ , dan rasio lebar terhadap tebal b/t

3.3. Tekuk Pelat pada Sayap akibat Tekan.

Menurut Salmon dan Johnson sepertinya profil kotak tersusun dari elemen pelat, kekuatan kolom penampang tersebut yang didasarkan atas rasio kerampingan keseluruhan hanya dapat terpenuhi bila elemen pelat tidak mengalami lokal. Tekuk lokal pada elemen pelat dapat menyebabkan terjadinya kegagalan prematur pada keseluruhan penampang, atau setidaknya akan

menyebabkan tegangan tidak merata dan mengurangi kekuatan keseluruhan tegangan tekuk elastik pelat dapat dinyatakan sebagai berikut :

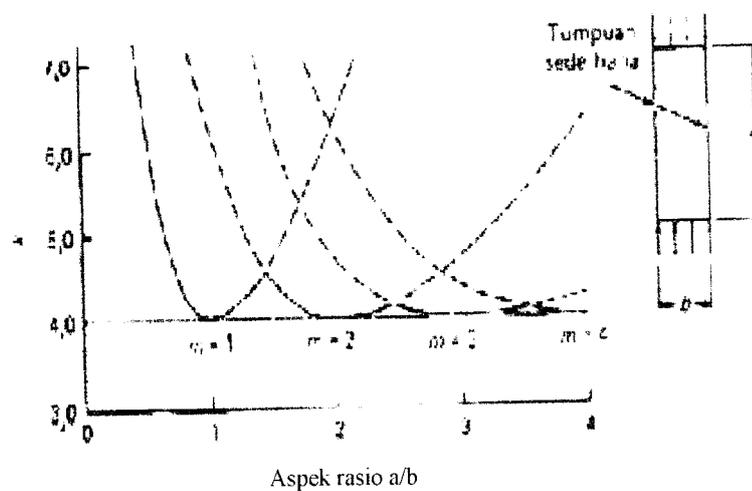
$$I_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.7)$$

dari rumus tegangan tekuk elastis diatas dapat dilihat dipengaruhi oleh nilai k dan b/t . apabila nilai k besar maka akan diperoleh I_{cr} yang besar sedangkan bila b/t besar akan diperoleh I_{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, kondisi tepi dan rasio aspek a/b yang muncul secara langsung dalam persamaan tersebut. Bilangan m menunjukkan banyaknya separuh gelombang yang terjadi dalam arah x pada saat tekuk menurut (Salmon dan Johnson 1992)



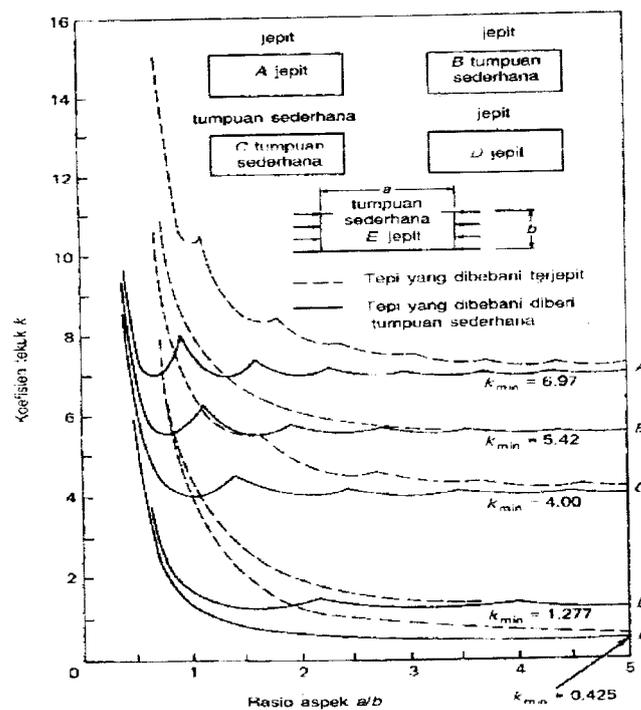
Gambar 3.3 Koefisien tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana (Salmon dan Johnson 1996)

Dari **Gambar 3.3** dapat dilihat variasi nilai k terhadap aspek rasio a/b dari pelat yang ditekan secara merata tepi longitudinal bertumpuan sederhana dan menurut **Salmon dan Johnson** nilai k minimum = 4 untuk berbagai variasi nilai m ($m = 1-4$) dengan disubstitusikan nilai $k = 4$ ke Persamaan 3.9 diperoleh,

$$I'_{cr} = \frac{4\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{l}\right)^2} \quad (3.9)$$

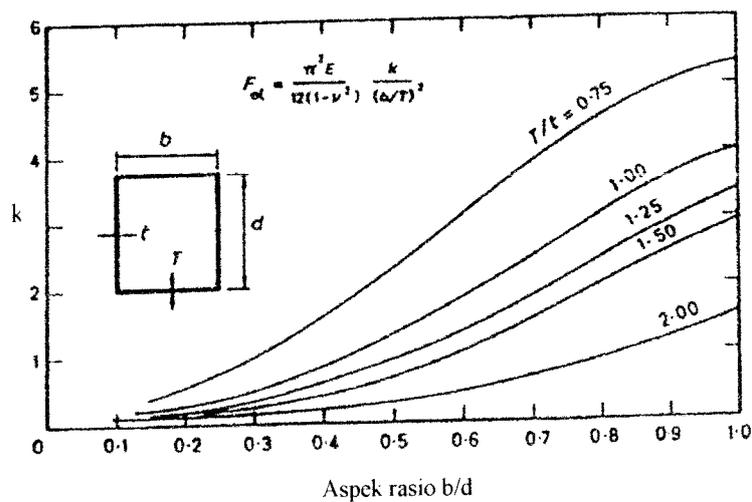
Secara umum elemen- elemen tekan pelat dapat dibedakan atas dua kategori

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



Gambar 3.4 Koefisien tekuk elastis untuk tekanan merata pada pelat segi empat datar (Gerard G dan Becker H, 1957)

Dari **Gambar 3.4** menunjukkan variasi nilai k untuk kondisi tepi-tepi pelat ideal yakni jepit, tumpuan sederhana dan bebas dimana pelat ditekan secara merata. Tampak bahwa untuk pelat dengan kondisi jepit-jepit (A) nilai $k_{\min} = 6,97$. Untuk pelat dengan tumpuan sederhana-jepit (B) nilai $k_{\min} = 5,42$ sedangkan pelat dengan tumpuan sederhana-sederhana (C) nilai $k_{\min} = 4$. Dan untuk pelat dengan tumpuan jepit-bebas (D) $k_{\min} = 1,277$, serta untuk pelat dengan tumpuan sederhana-bebas (E) $k_{\min} = 0,425$. Tekuk lokal pada elemen pelat dapat menyebabkan terjadinya kegagalan prematur pada keseluruhan penampang. Pada **Gambar 3.5** menunjukkan nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak yang dipengaruhi oleh rasio b/d (0-1) dan T/t (0.75;1.00;1.25;1.50;2.00) menurut (NS Trahair dan MA Bradford, 1988)



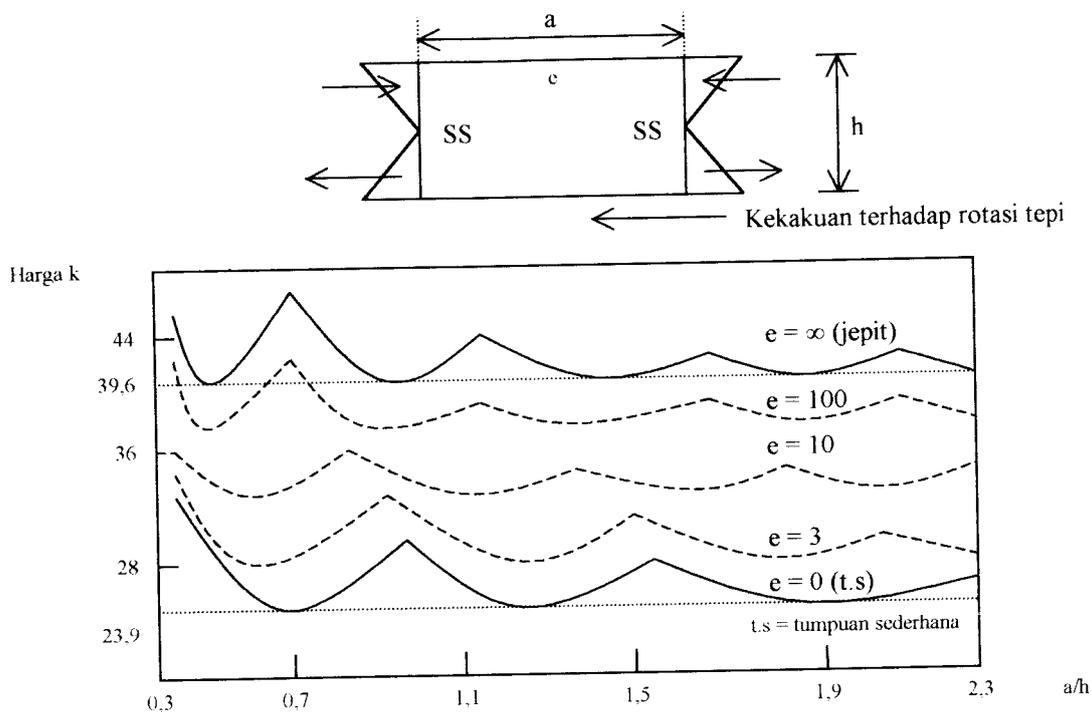
Gambar 3.5. Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak(NS Trahair dan MA. Bradford,1988)

Terlihat bahwa semakin besar rasio b/d nilai k semakin besar, semakin kecil rasio T/t nilai k semakin besar.

3.4. Lentur Pada Bidang Badan

Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio h/tw besar, tekuk mungkin terjadi akibat lentur pada bidang badan.

Penurunan harga k secara teoritis untuk lentur pada bidang pelat dijabarkan oleh Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959) seperti pada Gambar 3.5



Gambar 3.6 Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni

Pada **Gambar 3.6** nilai k bervariasi menurut rasio a/h , jika pelat bisa dianggap jepit sempurna sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan maka harga k minimum untuk sembarang rasio a/h menjadi 39,6, sedangkan sayap dianggap tidak mengekang secara rotasi tepi maka harga k minimum menjadi 23,9. Tegangan lentur dan geser pada daerah tertentu sepanjang bentang gelagar biasanya bisa ditinjau secara terpisah, umumnya tegangan geser dan lentur mengakibatkan ketidaksetabilan elastis.

3.5 Kekuatan Lentur Batas pada Gelagar.

Kekuatan momen nominal (M_n) dari gelagar pelat badan yang ramping dikontrol oleh keadaan batas tekuk pada sayap tekan, yang menurut Apendiks G1 LRFD adalah sebagai berikut:

$$M_n = F_{cr} S_{xc} R_{PG} \quad (3.10).$$

dengan: F_{cr} = tegangan tekuk pada sayap tekan, yang dikontrol oleh tekuk puntir lateral, tekuk lokal sayap, atau pelelehan, S_{xc} = modulus penampang yang diacukan ke sayap tekan, R_{PG} = Faktor yang digunakan untuk memperhitungkan efek lentur tekuk dari pelat badan yang ramping.

$$R_{PG} = 1 - 0,0005 a_r \left(\frac{h_c}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \leq 1 \quad (3.11)$$

dengan $a_r = A_w / A_f$, h_c = dua kali jarak dari sumbu netral ke muka dalam sayap minus radius sudut.

Rasio M_n / M_y untuk daerah dari titik B ke D (**Gambar 3.7**) adalah:

$$\frac{M_n}{M_y} = 1,0 - 0,0005 \frac{A_w}{A_f} \left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_y}} \right) \quad (3.12)$$

Bila keadaan batas yang menentukan mencegah tegangan sayap mencapai F_y , maka tegangan kritis dari keadaan batas menentukan F_{cr} harus menggantikan F_y , jika disubstitusikan kedalam Persamaan 3.12 maka secara umum

$$M_n = S_x \cdot F_{cr} \left[1,0 - 0,0005 \frac{A_w}{A_f} \left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \right] \quad (3.13)$$

Kapasitas momen batas gelagar tinggi merupakan fungsi dari :

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

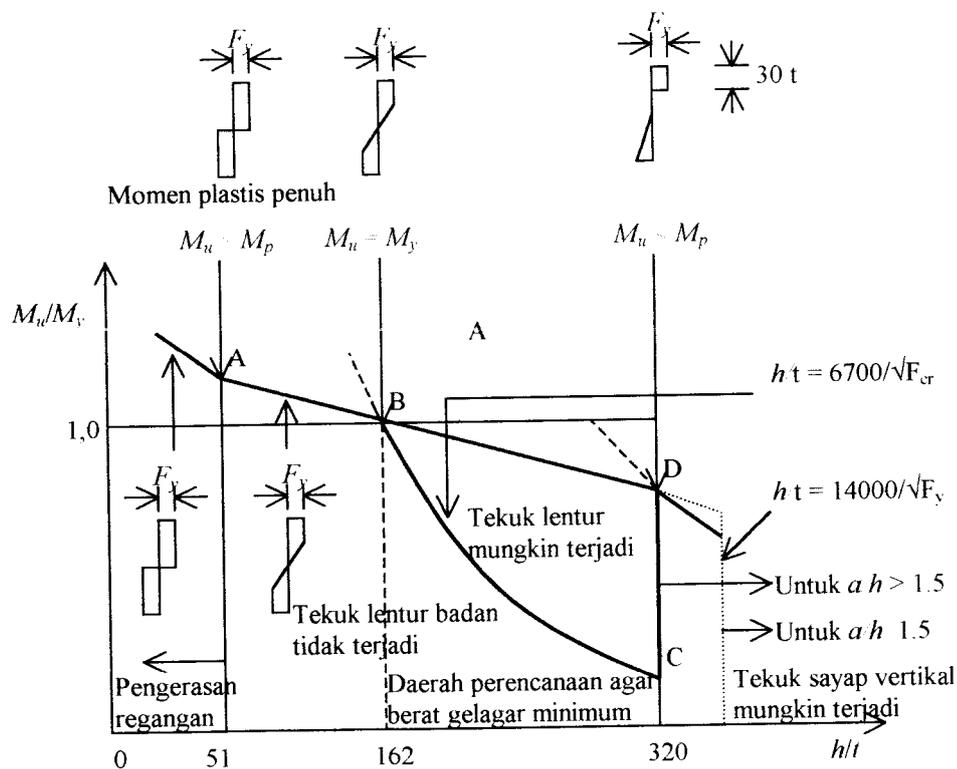
h/t = menentukan ketidak stabilan badan (tekuk lentur)

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

Tekuk badan tidak akan mengakhiri kemanfaatan gelagar. **Gambar 3.7** memperlihatkan hubungan antara kekuatan momen nominal M_n vs h/t_w dimana kondisi tekuk puntir lateral tidak terjadi.



Gambar 3.7 Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan baja A36 (Salmon dan Johnson)

Gambar 3.7 menunjukkan grafik hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh M_n / M_y dengan rasio tinggi terhadap tebal h / t pelat badan. Untuk h / t antara 0-162 harga $M_n / M_y \geq 1$ (penurunan grafik linier), pada $h / t = 162$ rasio $M_n / M_y = 1$. Untuk kondisi grafik dari B-D pada gelagar dengan pengaku dengan h / t 162-320 menunjukkan penurunan harga rasio $M_n / M_y < 1$ (penurunan grafik linier), pada gelagar tanpa pengaku terjadi penurunan grafik secara drastis ini berarti tekuk lentur mungkin terjadi.

3.6. Tekuk Akibat Geser

3.6.1. Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut **Salmon dan Johnson, 1986**, tegangan tekuk elastis untuk satu pelat ditentukan oleh Persamaan 3.7 sebagai

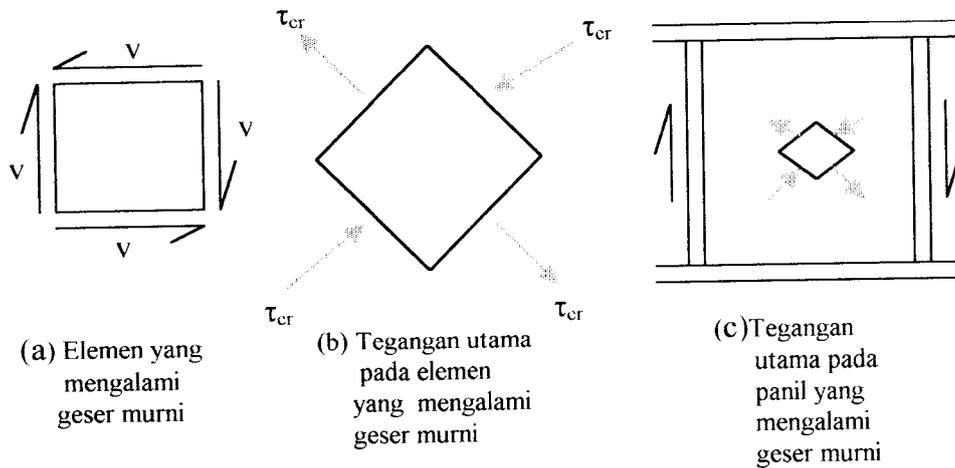
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b/t)^2} \quad (3.7)$$

Untuk kasus geser murni lihat Gambar 3.7 Persamaan 3.7 bisa dituliskan sebagai (dengan mengganti F dengan τ untuk tegangan geser)

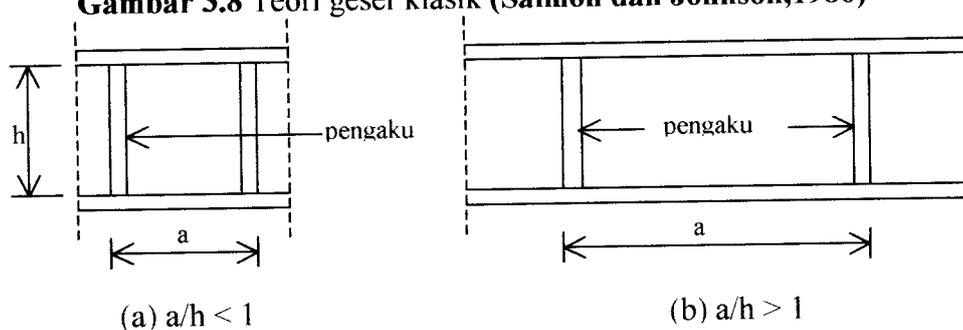
$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{\text{sisipendek}}{t} \right)^2} \quad (3.14)$$

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

$$k = 5,34 + 4,0 \left(\frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \quad (3.15)$$



Gambar 3.8 Teori geser klasik (Salmon dan Johnson, 1986)



Gambar 3.9 Dua keadaan dari jarak pengaku (Salmon dan Johnson, 1986)

Untuk perencanaan, Persamaan 3.14 dan 3.15 biasanya dinyatakan dalam h (tinggi badan tanpa sokongan) dan a (jarak antara pengaku). Bila hal ini dilakukan maka ada dua kasus yang harus ditinjau :

a. Jika $a/h \leq 1$ (lihat Gambar 3.8a), maka Persamaan 3.14 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(a/h)^2] (h/a)^2}{12(1 - \mu^2)(a/t)^2 (h/a)^2} \quad (3.16)$$

b. Jika $a/h \geq 1$ (lihat Gambar 3.8b), maka Persamaan 3.14 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(h/a)^2]}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.17)$$

Jelaslah dari Persamaan 3.16 dan 3.17 bahwa jika kita hendak memakai h/t sebagai rasio stabilitas pada penyebut, maka dua persamaan untuk k diperlukan. Untuk semua harga a/h , Persamaan 3.16 dan 3.17 bisa dituliskan sebagai :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 Ek}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.18)$$

dengan :

$$k = 4,0 + 5,34/(a/h)^2, \text{ untuk } a/h \leq 1 \quad (3.19)$$

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

tampak pada Persamaan 3.19 dan 3.20 bila a/h semakin kecil maka nilai k akan semakin besar.

Persamaan 3.18 ditulis dalam bentuk tanpa dimensi, dengan mendefinisikan koefisien C_v sebagai rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan leleh geser,

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 Ek}{\tau_y (12)(1-\mu^2)(h/t)^2} \quad (3.21)$$

tampak bahwa C_v merupakan stabilitas elastis.

Substitusi nilai $E = 200000 \text{ MPa}$, $\mu = 0,3$, $\tau_y = 0,6 F_{yw}$ ke Persamaan 3.21 menjadi :

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t)^2 F_{yw} (\text{MPa})} \quad (3.22)$$

3.6.2. Tekuk Inelastis Akibat Geser Murni

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

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

Batas proporsional diambil sebagai $0,8 \tau_y$, yang lebih besar daripada untuk tekan dalam flens, karena efek tegangan sisa lebih sedikit. Pembagian Persamaan 3.23 dengan τ_y untuk mendapatkan C_v dan tegangan menggunakan Persamaan 3.22 memberikan

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

3.6.3. Kekuatan Geser

a. Geser Nominal

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

$$V_n = \tau_{cr} A_w \quad (3.25)$$

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

$$V_n = C_v \tau_y A_w \quad (3.26)$$

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

$$V_n = (0.6F_y) A_w \quad (3.27)$$

b. Kekuatan Geser dalam Rentang Beban Layanan

$$\left(\frac{V_n}{\gamma/\phi} = \frac{V_n}{FS} \right) \geq V \quad (3.28)$$

dimana : γ/ϕ = faktor-faktor kelebihan beban dibagi oleh faktor resistansi

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

V = geser beban layanan

Untuk tegangan geser diuliskan sebagai berikut

$$\left(f_v = \frac{V}{A_w} \right) \leq \left(F_v = \frac{V_n}{(FS)A_w} \right) \quad (3.29)$$

dimana tegangan ijin F_v dapat diperoleh dengan menempatkan Persamaan 3.26 kedalam Persamaan 3.29 maka persamaan 3.30 menjadi

$$F_v = \frac{C_v \tau_v A_w}{(FS)A_w} = \frac{C_v \tau_v}{FS} \quad (3.30)$$

Dengan menggunakan $\tau_v = F_y/\sqrt{3}$ sebagai ganti dari $0.6F_y$ sebagaimana digunakan dalam LRFD, diambil $FS = 1.67$ dengan mengingat batas atas tradisional sebesar $0.40F_y$ untuk F_v

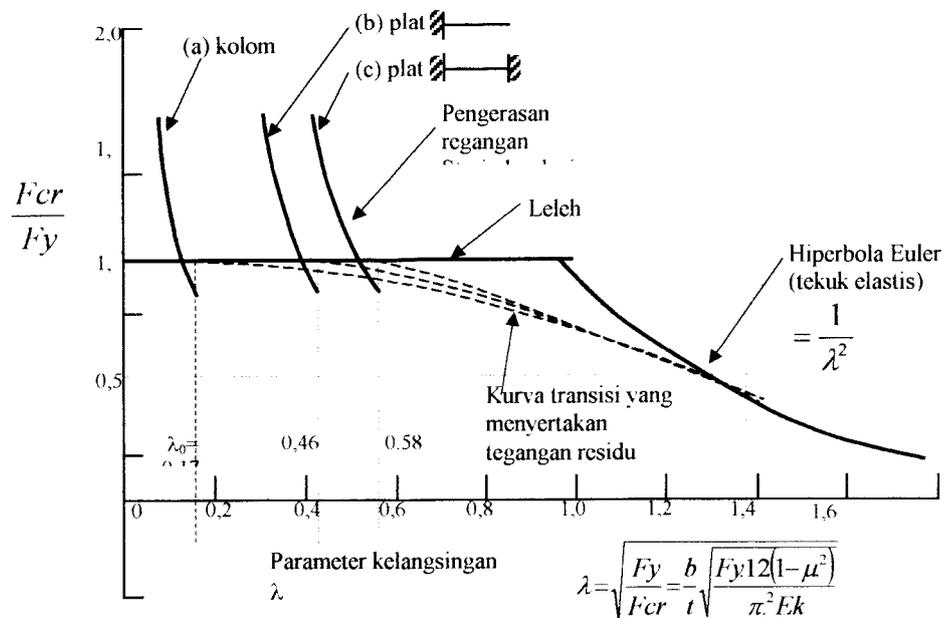
$$F_v = \frac{F_y \cdot C_v}{2,89} \leq 0,4 F_y \quad (3.31)$$

Gelagar pelat tersebut kompak jika :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \geq F_y \quad (3.32)$$

Bila F_{cr} / F_y didefinisikan sebagai $1/\lambda_c^2$, Persamaan 3.32 untuk pelat menjadi :

$$\lambda_c = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{F_y(12)(1-\mu^2)}{\pi^2 E k}} \quad (3.33)$$



Gambar 3.10 Perbandingan antara tekuk pelat dengan tekuk kolom (Salmon dan Johnson,1996)

Faktor penting yang menentukan λ_0 ialah jumlah tepi tumpuan elemen pelat yang sejajar pembebanan (yaitu satu atau dua tepi sehingga $\lambda_0 = 0$ menjamin terjadinya tegangan leleh bisa mencapai awal dari strain hardening

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{F_y 12 (1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2}{k \pi^2 E}} \quad (3.34)$$

dari persamaan 3.34 didapatkan:

$$\frac{b}{t} = \sqrt{\frac{\lambda_0 \pi^2 k E}{F_y 12 (1 - \mu^2)}} \quad (3.35)$$

Dengan menggunakan $\mu = 0.3$ untuk baja dan $E = 200,000$ Mpa dan F_y dalam Mpa menurut **Salmon dan Johnson,1992** :

λ_c harus dibatasi agar tercapai pengerasan regangan tanpa adanya tekuk pelat.

Bila harga $\lambda_c = 0,46$ dimasukkan kedalam persamaan 3.35 akan :

$$\frac{b}{t} = \left(\frac{(0,46)^2 \pi^2 2 \cdot 10^5}{12 F_y (1 - 0,3^2)} k \right)^{0,5} \quad (3.36)$$

$$\frac{b}{t} = 195,6 \sqrt{\frac{k}{F_y (Mpa)}} \quad (3.37)$$

Batas rasio b/t pada sayap untuk menghindari tekuk adalah :

$$\frac{b}{t} \leq \frac{171}{\sqrt{F_y (Mpa)}} \quad (3.38)$$

Bila harga $\lambda_c = 0,58$ dimasukkan ke dalam persamaan 3.37 maka

$$\frac{b}{t} = \left(\frac{(0,58)^2 \pi^2 2 \cdot 10^5}{12 F_y (1 - 0,3^2)} k \right)^{0,5} \quad (3.39)$$

$$\frac{b}{t} = 246,5 \sqrt{\frac{k}{F_y (Mpa)}} \quad (3.40)$$

batas rasio h/t pada badan untuk menghindari tekuk adalah:

$$\frac{h}{t} \leq \frac{500}{\sqrt{F_y (Mpa)}} \quad (3.41)$$

3.7. Pengaku Dukung / Landasan

Pengaku dukungan diperlukan secara berpasangan dan diletakan diatas reaksi-reaksi. Pengaku dukungan juga diperlukan dibawah beban terkonsentrasi yang diangkut oleh gelagar pelat **Salmon dan Johnson,1996**.

Pengaku tumpu yang mentransmisikan beban tekan didesain sebagai kolom. Panjang efektif KL menurut LRFD harus diambil sama dengan $0.75h$. Rasio kelangsingan dihitung sebagai

$$\frac{KL}{r} = 0.75 \frac{h}{r} \quad (3.42)$$

dengan h = kedalaman pelat badan

$$r = \text{jari-jari girasi} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

luas efektif A_e yang dihitung dengan menggunakan kekuatan kolom P_n .

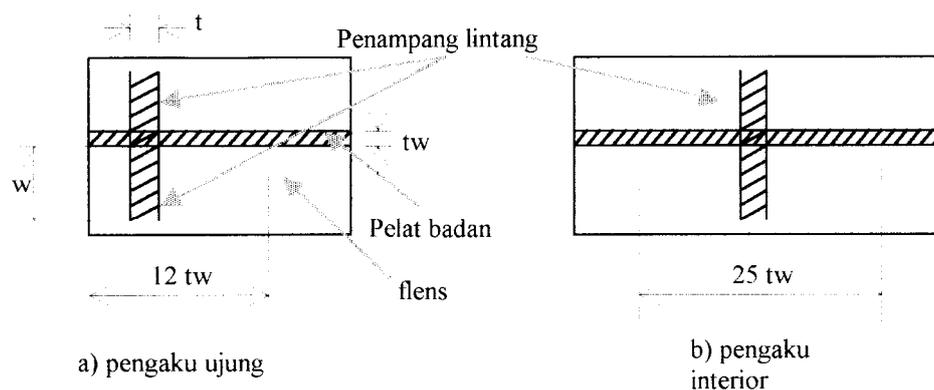
Persyaratan menurut LRFD adalah

$$\phi_c P_n \geq P_u \quad (3.43)$$

dengan ϕ = faktor resistansi = 0.85, $P_n = F_{cr} A_e$, P_u = beban tekan terpusat terfaktor, F_{cr} = tegangan tekuk kolom, A_e = luas kolom yaitu mencakup luas pelat pengaku dan luas pelat badan daerah pengaruhnya.

Menurut **Salmon dan Johnson, 1996**, luas efektif yang diperlukan adalah

$$A_{e\text{perlu}} = \frac{P_u}{\phi_c F_{cr}} \quad (3.44)$$



Gambar 3.11 Penampang Lintang Efektif Pengaku Tumpu (**Salmon dan Johnson, 1992**)

Persyaratan tumpu yang harus dipenuhi oleh LRFD adalah

$$\phi_c R_n \geq P_u \quad (3.45)$$

dengan $\phi = 0.75$, $Rn =$ kekuatan tumpu nominal $= 2.0F_yA_{pb}$, $A_{pb} =$ luas kontak pengaku yang menumpu pada sayap.

Persyaratan tegangan ijin adalah

$$f_a \leq F_a \quad (3.46)$$

dengan $f_a = P/A_e$, $P =$ beban terpusat layanan, $A_e =$ luas kolom yaitu mencakup luas pelat pengaku dan luas pelat badan daerah pengaruhnya, $F_a =$ tegangan kolom ijin.

untuk $\frac{KL}{r} < C_c$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{SF} \quad (3.47)$$

$$SF = \frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3} \quad (3.48)$$

untuk $\frac{KL}{r} \geq C_c$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (3.49)$$

dengan $C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (3.50)$

3.8. Hubungan Beban-Lendutan

Apabila suatu beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti mengalami lendutan. Meskipun sudah dicek aman terhadap lentur dan geser, suatu balok bisa tidak layak apabila balok terlalu fleksibel. Defleksi yang terlalu berlebihan harus dihindari karena defleksi yang terlihat dengan mata dapat mengurangi keyakinan terhadap kekuatan struktur.

Hubungan beban-lendutan untuk tipe pembebanan seperti **Gambar 3.12** dapat dicari dengan menggunakan metode *integrasi ganda* sehingga Persamaan 3.51

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (3.51)$$

Integral pertama dari Persamaan 3.51 didapat Persamaan 3.52

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1 \quad (3.52)$$

Integral kedua dari Persamaan 3.51 adalah Persamaan 3.53

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

sehingga dari Persamaan 3.53 didapat persamaan umum lendutan:

$$y = \Delta = \frac{1}{EI} \iint M dx dx + C_1 x + C_2 \quad (3.54)$$

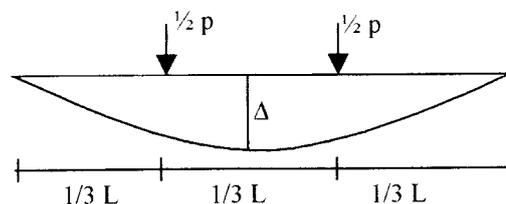
untuk besarnya defleksi tengah bentang dari Persamaan 3.54 adalah:

$$\Delta = \frac{23 PL^3}{648 EI} \quad (3.55)$$

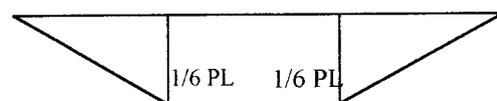
dengan :

Δ = defleksi balok; P = beban balok; E = modulus elastis bahan;

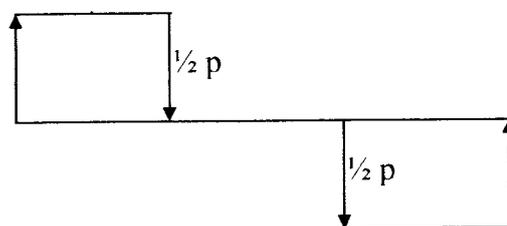
L = panjang bentang balok; I = momen inersia penampang



Gambar 3.12 Lendutan balok

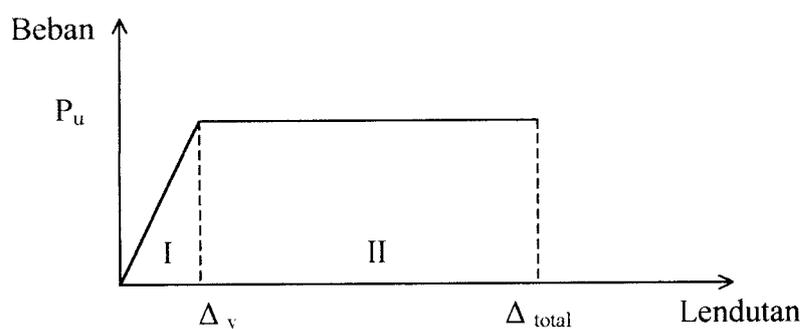


Gambar 3.13 Diagram momen



Gambar 3.14 Diagram geser

Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier seperti pada **Gambar 3.14**.



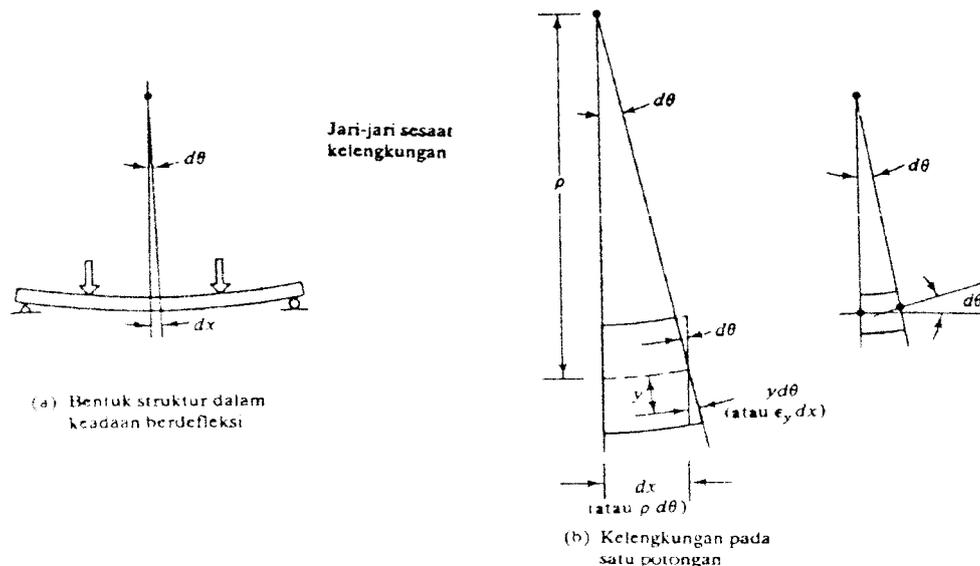
Gambar 3.15 Hubungan Beban dan Lendutan pada Balok

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.

3.9. Hubungan Momen-Kelengkungan

Menurut Schodek 1991 hubungan yang ada diantara momen di suatu titik dan kelengkungan elemen struktur pada titik yang sama. Momen menyebabkan terjadinya lenturan pada struktur. Semakin besar momen tersebut, akan semakin besar pula lenturan yang di akibatkannya. Potongan kecil dari suatu balok yang mengalami lentur **Gambar 3.16**. Anggap bahwa bidang yang semula datar pada balok akan tetap datar pada saat melentur. Dengan demikian, dua bidang yang berdekatan (mempunyai jarak sebesar $d\sigma$) pada saat balok melentur akan mengalami rotasi relatif sebesar $d\theta$.



Gambar 3.16 Hubungan momen kelengkungan (Schodek, 1991)

Serat-serat dibagian atas akan memendek, sedangkan yang dibagian bawah akan memanjang. Perpanjangan serat yang terletak sejauh y dari bidang netral (bidang horizontal yang mempunyai deformasi 0) dapat diperoleh dengan

meninjau lokasi semula kedua bidang. Perpanjangan ini adalah busur lingkaran yang mempunyai jari-jari y dan dibatasi sudut $d\theta$. Jadi, perpanjangannya adalah $y\theta$. Apabila panjang elemen sebelum deformasi adalah dx dan regangan (deformasi per satuan panjang) pada y adalah ϵ_y , maka $y d\theta = \epsilon_y dx$, atau $\epsilon_y = d\theta/dx$, atau $(d\theta/dx) = \epsilon_y/y$.

Dari **Gambar 3.16** jelaslah bahwa jari-jari kelengkungan ρ dan dx pada penampang tengah adalah busur lingkaran yang berjari-jari ρ dan dibatasi sudut $d\theta$, hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk $(d\theta/dx) = 1/\rho$. Dengan menyamakan kedua ekspresi untuk $d\theta/dx$, kita peroleh :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\epsilon_y}{y} \text{ atau } \epsilon_y = \frac{y}{\rho} \quad (3.56)$$

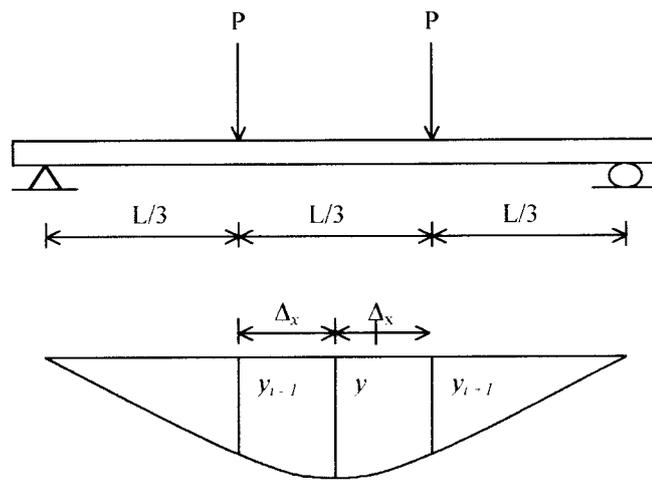
Hubungan antara tegangan dan regangan untuk material elastis homogen berbentuk $E = f_y/\epsilon_y$ dimana E adalah modulus elastisitas material dan f_y adalah tegangan di suatu titik. Hubungan tersebut dapat pula ditulis dalam bentuk $\epsilon_y = (1/E) f_y$. Jika tegangan lentur $f_y = My/I$. Dengan demikian, $\epsilon_y = (1/E) (My/I)$ atau $y/\rho = (1/E) (My/I)$

$$\Phi = K = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (3.57)$$

Ini adalah hubungan momen-kelengkungan,. Kelengkungan (Φ) berbanding lurus dengan momen (M) pada elemen struktur dan berbanding terbalik dengan hasil kali modulus elastisitas (E) dan momen inersia (I) elemen struktur. Apabila $M=0$, maka :

$\rho \rightarrow \infty$, yang berarti elemen tersebut lurus (seperti memang seharusnya terjadi pada pada elemen struktur yang momennya = 0). Apabila momennya semakin besar, maka jari-jari kelengkungan menjadi lebih kecil, yang berarti bahwa elemen struktur semakin lengkung pada saat dibebani.

Dari pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik-titik distrik. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Different*.



Gambar 3.17 Momen-kelengkungan

Mengacu pada **Gambar 3.17** dy/dx dicari dengan Persamaan 3.58:

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.58)$$

turunan kedua dari Persamaan 3.58 adalah Persamaan 3.59:

$$\frac{d^2_y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d_y}{d_x} (2\Delta x)}{(2\Delta x)} \quad (3.59)$$

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

$$\frac{d}{d_x} (2\Delta x) = 0 \quad (3.60)$$

sehingga Persamaan 3.60 menjadi Persamaan 3.61:

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{d_x} (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.61)$$

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta x)^2} \quad (3.62)$$

Kemudian Persamaan 3.62 disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2_y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \quad (3.63)$$

Persamaan 3.63 merupakan persamaan kelengkungan, dimana Kelengkungan ($d^2 y/dx^2$) pada suatu titik dapat diukur dengan lendutan yang terjadi pada 3 titik yang berurutan ($y_{i-1}; y_i ; y_{i+1}$) yang masing2 berjarak sama (Δ_x). Persamaan 3.63 digunakan dalam penelitian ini karena lebih sederhana dan tidak memerlukan peralatan khusus.

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \quad (3.64)$$

Mengacu kepada **Gambar 3.17** didapat momen (M) :

$$M = \frac{1}{6} p l \quad (3.65)$$

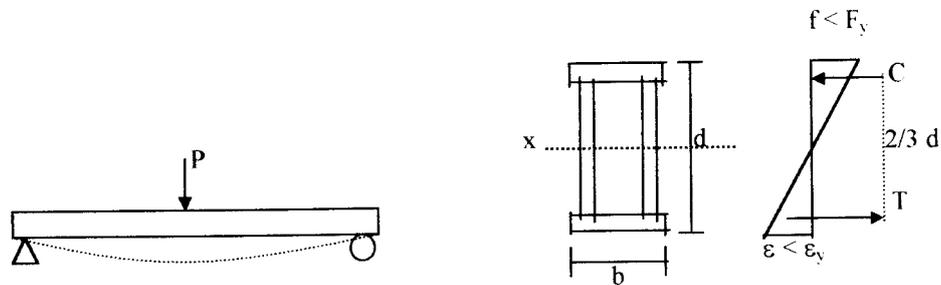
Sehingga dapat disimpulkan besar EI dengan rumus :

$$EI = \frac{M}{\Phi} \quad (3.66)$$

$$M = EI \cdot \Phi \quad (3.67)$$

$$M = EI \frac{d^2_y}{d_x^2} \quad (3.68)$$

Mengacu pada **Gambar 3.17** maka dapat diketahui kelengkungan teoritis, dimana nilai kelengkungan dipengaruhi regangan yang terjadi pada penampang. Pada **Gambar 3.17** dapat regangan dan tegangan yang terjadi penampang apabila balok tidak kompak.



Gambar 3.18 Distribusi tegangan dan regangan elastis pada pembebanan tegak lurus balok.

Pada **Gambar 3.18** dapat dilihat apabila balok dibebani (P) melentur dan tegangan yang terjadi pada penampang balok bersifat elastis dimana serat terluar lebih kecil dari tegangan leleh :

$$T = C = \frac{1}{2} \cdot f \cdot \left[\frac{d}{2} \right] b \quad (3.69)$$

karena jarak pusat gaya tarik ke pusat gaya desak $\frac{2}{3}d$ sehingga momen internal dalam keadaan penampang masih elastis

$$M = C \cdot \frac{2}{3} \cdot d \quad (3.70)$$

substitusi Persamaan 3.69 kedalam Persamaan 3.70 menjadi Persamaan 3.71 :

$$M = \frac{1}{2} \cdot f \cdot \left(\frac{d}{2} \right) b \cdot \left(\frac{2}{3} d \right)$$

$$M = f \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot b / d^2 \right) = f \cdot Sx_{profil} \quad (3.71)$$

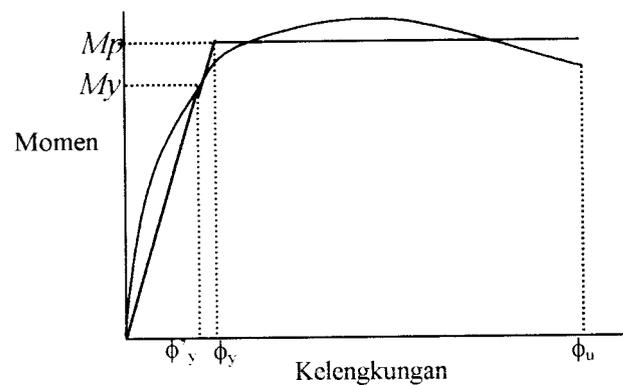
dari persamaan 3.71 maka regangan (ε) yang pada penampang dapat diketahui, jika $f = (\sigma)$ maka Persamaan 3.72 adalah

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (3.72)$$

dari Persamaan 3.72 kelengkungan teoritis dapat diketahui

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} \quad (3.73)$$

Hubungan Momen (M) dengan kelengkungan (Φ) ditunjukkan pada **Gambar 3.23**



Gambar 3.19 Grafik momen kelengkungan

Gambar 3.19 menurut **Paulay dan Priestley,1992** memperlihatkan ketika momen lentur diperbesar hingga melampaui harga beban kerja sudut regangan ϕ akan elastis seluruhnya (M_y) atau plastis sebagian (M_y ke M_p) sampai M_p tercapai. Setelah itu, keadaan tak stabil atau mekanisme terjadi sehingga lendutan bertambah. Pada keadaan runtuh, struktur dapat dianalisa sebagai dua benda tegar dengan dikontinuitas anguler ϕ_u ditengah bentang.

3.10. Daktilitas

Paulay dan Priestley M.J.N, 1992 daktilitas suatu bahan dapat didefinisikan sebagai banyaknya regangan permanen (*permanent strain*). Daktilitas mengizinkan konsentrasi tegangan (*locally stress*) untuk didistribusikan. Prosedur dari suatu perencanaan biasanya selalu didasarkan pada kekuatan ultimit yang membutuhkan kesatuan daktilitas yang besar, terutama untuk memperbaiki perubahan yang mendadak pada bentuk batang.

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

$$Daktilitas = \frac{\varepsilon_{tot}}{\varepsilon_y} \quad (3.74)$$

dengan :

ε_{tot} = regangan total

ε_y = regangan pada saat leleh pertama

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

$$\mu_{simpangan} = \frac{\Delta_{tot}}{\Delta_y} \quad (3.75)$$

dengan : $\mu_{simpangan}$ = daktilitas simpangan

Δ_{tot} = lendutan total

Δ_y = lendutan pada beban maksimum

Sedangkan daktilitas kelengkungan diperoleh dari hubungan momen-kelengkungan, yaitu perbandingan antara Φ_{tot} dan Φ_y , yang dirumuskan :

$$\mu_{kelengkungan} = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi_y} \quad (3.76)$$

dengan :

$\mu_{kelengkungan}$ = daktilitas kelengkungan

Φ_{tot} = kelengkungan total

Φ_y = kelengkungan pada momen maksimum

3.11. Pengelompokan Baja Berdasarkan tegangan Leleh

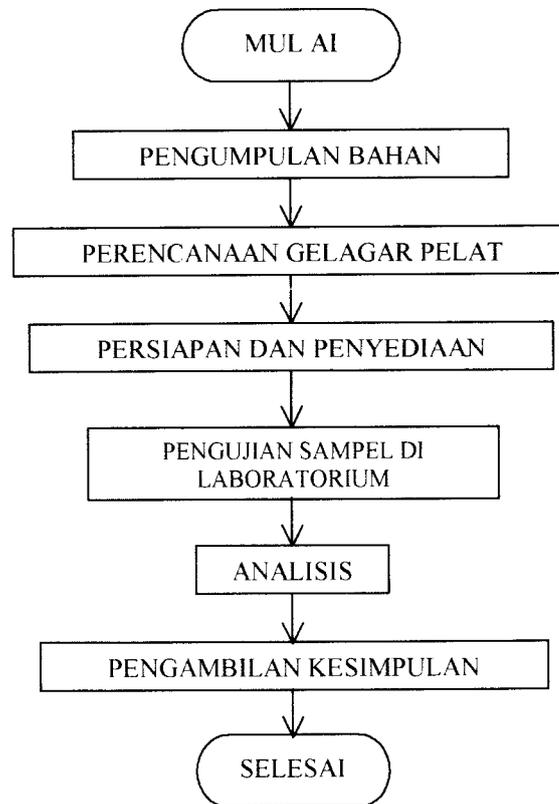
Berdasarkan besar tegangan leleh, PADOSBAJAYO,1992 membagi baja dalam empat kelompok, dengan kisaran tegangan leleh sebagai berikut :

- 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 METODE PENELITIAN

4.1. Metode Penelitian

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



Gambar 4.1. Bagan Alir metode penelitian

4.2. Persiapan Bahan dan Alat

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

4.2.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

a. Pelat baja

Pelat baja tebal 2 mm digunakan sebagai badan dari gelagar pelat

b. Profil siku

Profil siku L30x30x3 digunakan sebagai

Pengaku pada dukungan dan pada pembebanan.

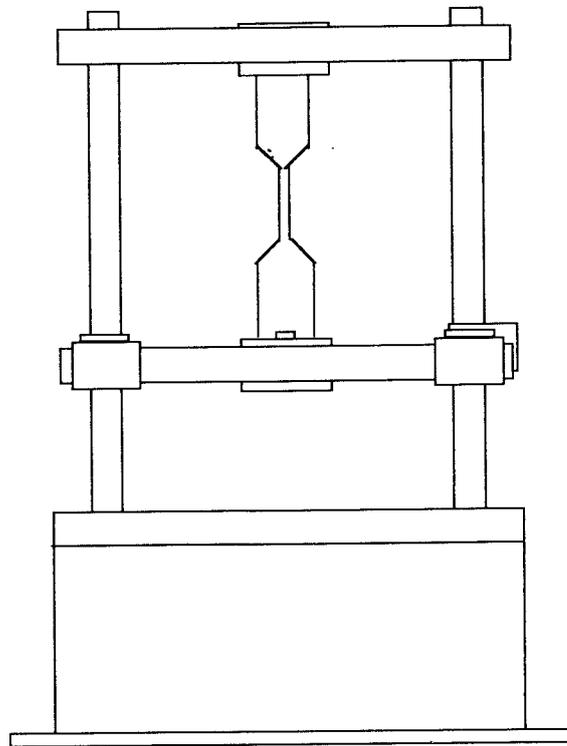
c. Alat sambung yang digunakan adalah las

4.2.2 Peralatan Penelitian

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

a. Mesin Uji Kuat Tarik

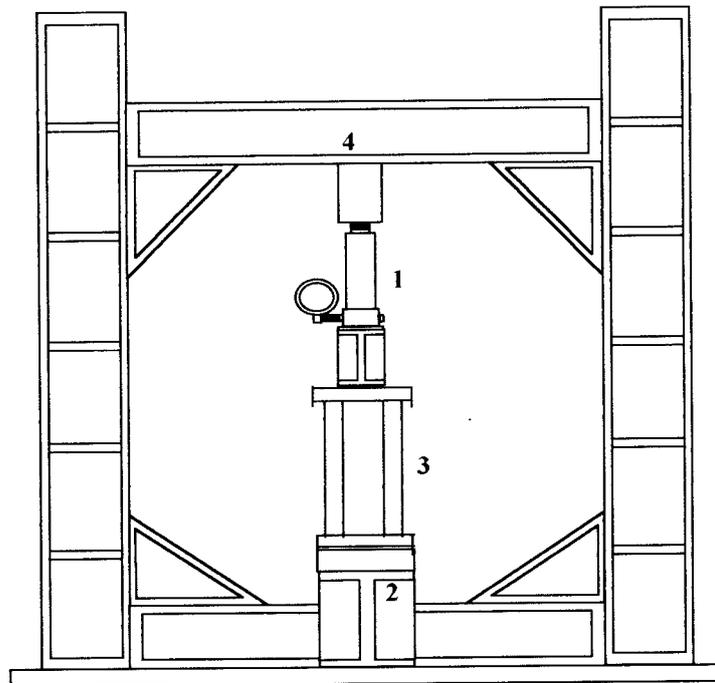
Digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Alat yang digunakan yaitu Universal Testing Material (UTM) merk Shimadzu type UMH-30 dengan kapasitas 30 ton, seperti pada **Gambar (4.2)**.



Gambar 4.2. Universal Testing Material Shimadzu UMH30

b. *Loading Frame*

Untuk keperluan uji pembebanan digunakan *loading frame*, dari bahan baja profil WF 450x200x9x14, seperti pada Gambar (4.3). Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton (*rigid floor*) 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 450x200x9x14. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji.



Gambar 4.3. Bentuk fisik *Loading Frame*

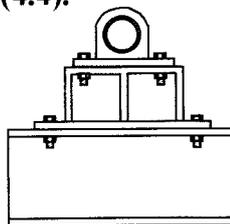
Keterangan :

- 1. Hydraulic Jack
- 2. Dukungan
- 3. Benda uji
- 4. Baja WF 450 x 200 x 14

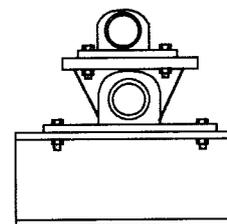
c. *Dukungan sendi dan rol*

Dukungan sendi dipasang pada salah satu dukungan balok gelagar pelat dan dukungan rol dipasang pada dukungan lainnya, seperti pada

Gambar (4.4).



(a.) Dukungan Sendi

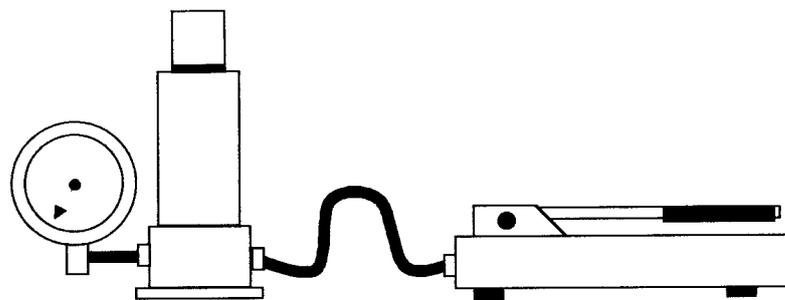


(b.) Dukungan Rol

Gambar 4.4. Dukungan Sendi dan Rol

d. *Hydraulic Jack*

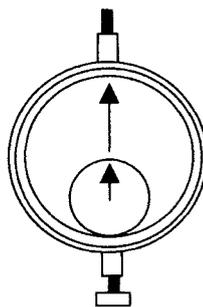
Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian desak gelagar pelat penampang kotak dengan beban sentris P yang mempunyai kapasitas maksimum 20 ton dengan ketelitian pembacaan sebesar 0,3 ton. Alat tersebut dapat dilihat pada gambar (4.5)



Gambar 4.5. *Hydraulic Jack*

e. *Dial Gauge*

Dial Gauge digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dengan ketelitian pembacaan *dial* 0,01 mm, seperti pada **Gambar (4.6)**. Pada penelitian tugas akhir ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak tiga buah.



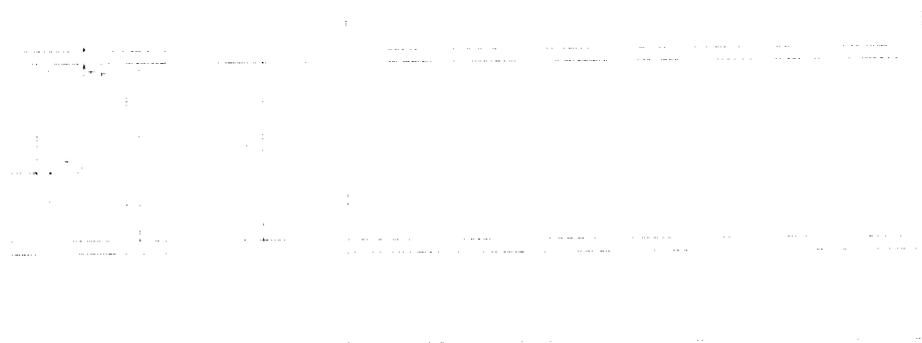
Gambar 4.6. *Dial Gauge*

4.3. Model Benda Uji

Model benda uji dalam penelitian ini berupa rangkaian profil gelagar pelat penampang kotak dengan panjang total 4,8 m dan perletakan tumpuan sendi rol sepanjang 4,650 m, merupakan gelagar pelat penampang kotak yang disusun dari lempengan pelat dengan tebal 2 mm sebagai badan dan sayap, profil siku L 30x30x3 digunakan sebagai pengaku dukung dan diperkuat dengan alat sambung las. Benda uji dibuat sebanyak tiga buah sampel untuk masing-masing varias. Bentuk model benda uji dapat dilihat pada Gambar (4.7) dan Gambar (4.8)



Gambar 4.7 Perletakan dukungan sendi-rol gelagar pelat penampang kotak



tampak melintang

tampak memanjang

Gambar 4.8 Penampang gelagar pelat penampang kotak

4.4 Pembuatan Benda Uji

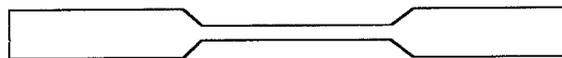
Setelah persiapan bahan dan perhitungan dimensi gelagar pelat , maka selanjutnya adalah pembuatan benda uji sesuai dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Bahan-bahan yang telah disiapkan diukur sesuai dengan rencana.
2. Gelagar pelat penampang kotak dibentuk dari pelat setebal 2 mm baik pada sayap maupun badan. Pelat dipasang secara tersusun sehingga membentuk kotak yang disambung dengan las sebagai alat perekat. Profil L 30x30x3 dipasang diatas dukungan dan dibawah titik pembebanan.

4.5 Pengujian Benda Uji

4.5.1 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari luasan benda uji. Benda uji untuk kuat tarik baja dibuat seperti pada (**Gambar 4.9**).



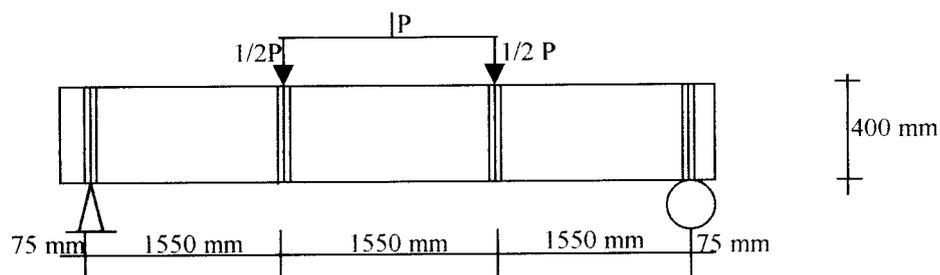
Gambar 4.9. Benda uji untuk uji kuat tarik baja

4.5.2 Pengujian Kuat Lentur

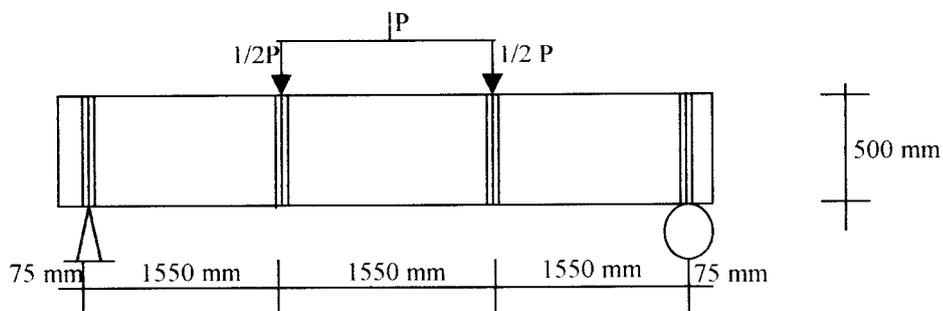
Sebelum pengujian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan *setting* terhadap peralatan yang akan digunakan, sebagai berikut :

Dukungan rol (Gambar 4.4b) diletakkan tepat di pusat *loading frame* (Gambar 4.3.) dan dukungan sendi (Gambar 4.4a) diletakkan pada *loading frame* (Gambar

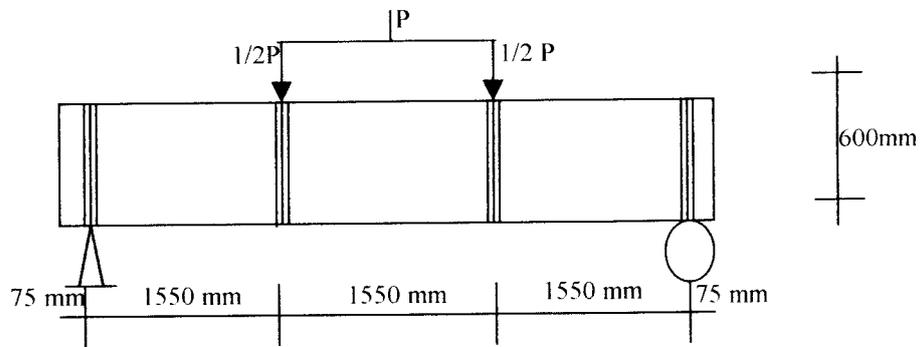
4.3.) pada bentang sepanjang 4,650 m diletakkan dukungan sendi dan dukungan rol. Kemudian pengaku dukung ditempatkan diatas dukungan sendi ataupun dukungan rol dan dibawah titik-titik pembebanan benda uji sesuai dengan perencanaan pada gambar 4.10, 4.11, dan 4.12. Selanjutnya *Hydraulic Jack* (Gambar 4.5.) diletakkan diatas balok sepanjang 1,550 meter yang berfungsi sebagai pembagi beban agar diperoleh dua pusat beban yang membebani benda uji, dan tiga buah *Dial Gauge* (Gambar 4.6.) diletakkan di bawah benda uji.



Gambar 4.10 gelagar penampang kotak $h/t = 200$



Gambar 4.11 gelagar penampang kotak $h/t = 250$



Gambar 4.12 gelagar penampang kotak $h/t = 300$

Setelah proses *setting* peralatan selesai kemudian dilaksanakan pengujian kuat lentur pada benda uji. Proses pengujian dengan menggunakan *Hidraulic Jack* dilakukan untuk mendapatkan lendutan yang terjadi kemudian diukur dengan menggunakan *Dial Gauge*. Proses pelaksanaan pengujian ini yaitu : *Hidraulic Jack* dipompa untuk mendapatkan beban bertahap, yaitu kelipatan dari 300 kg. Pada setiap kelipatan beban 300 kg, pemompaan *Hidraulic Jack* dihentikan dilanjutkan pembacaan dan pencatatan *Dial Gauge*. Proses ini dilakukan hingga pada batas kekuatan tertentu sampai dengan maksimum, sehingga benda uji akan mengalami leleh sampai terjadi kerusakan pada benda uji.



BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Dilakukan pengujian kuat tarik baja berupa profil L 30x30x3 dan pelat baja dengan tebal 2 mm 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. Dari pengujian tersebut mendapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

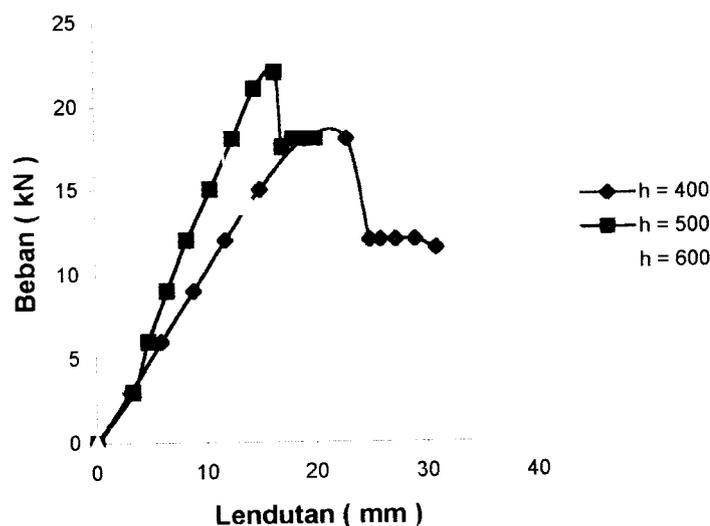
NO	Jenis Pengujian	Fy (Mpa)	Fu (Mpa)
1.	Kuat Tarik Pelat	240	350
2.	Kuat Tarik Profil L (siku)	370	420

5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang Kotak

Pengujian kuat lentur gelagar pelat penampang kotak dilaksanakan di Laboratorim Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Foto-foto pelaksanaan pada Lampiran 9 dan hasil pembebanan benda uji dapat dilihat pada Lampiran 5.

5.2.1 Hubungan Beban-Lendutan Lentur Pengujian.

Pengujian kuat lentur gelagar pelat ini diberikan dua beban yang terletak sepanjang 1,55 m yang terletak pada tengah bentang. Kemudian secara bertahap gelagar pelat tersebut diberi kenaikan beban sebesar 300 kg (3,0 kN), kemudian setiap tahap pembebanan lendutan yang terjadi dicatat. Data pengujian dapat dilihat pada **Lampiran 5**. Dari data hasil pengujian ketiga benda uji tersebut dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan lentur seperti pada **Gambar 5.1**.



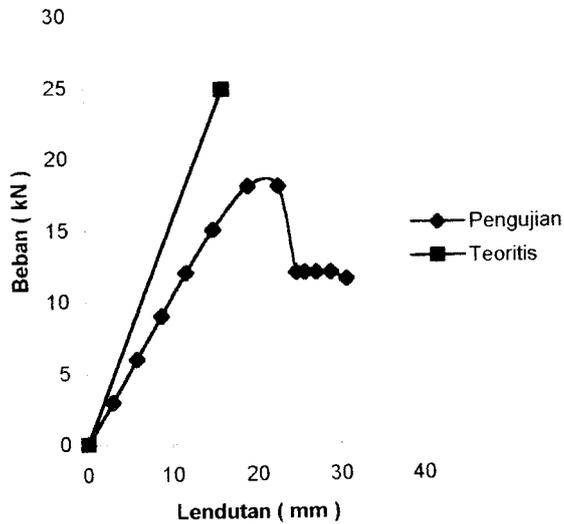
Gambar 5.1 Grafik hubungan Beban-Lendutan Lentur Ketiga Benda Uji

Tampak bahwa pada **Gambar 5.1** setelah beban maksimum pembacaan dial yang menghasilkan besarnya lendutan maksimum mengalami penurunan. Kemudian beban menjadi konstan dan tidak mengalami kenaikan lagi.

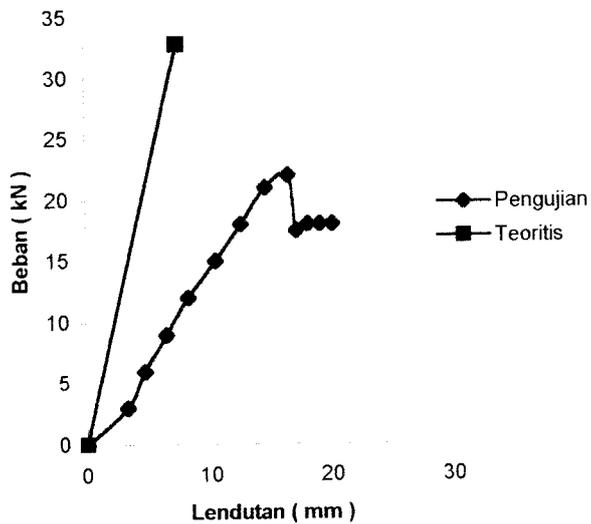
5.2.2 Perbandingan Hubungan Beban-Lendutan Teoritis dengan Pengujian.

Untuk mengetahui lendutan yang seharusnya terjadi pada gelagar pelat pelat penampang kotak, maka dilakukan perhitungan lendutan secara teoritis dan

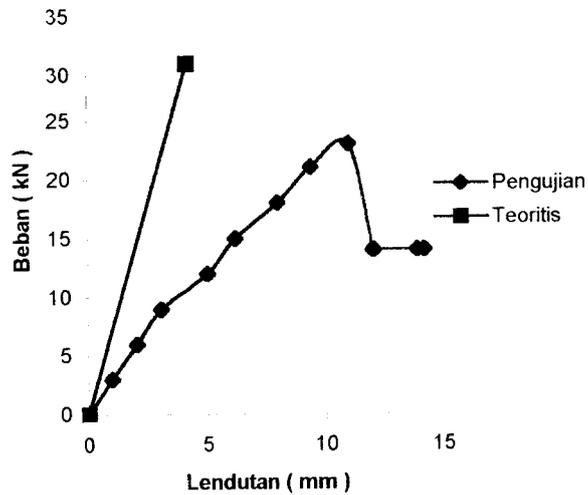
akan dibandingkan dengan lendutan hasil pengujian. Berikut ini adalah grafik hasil perbandingan hubungan beban lendutan teoritis dan hubungan beban lendutan pengujian untuk masing-masing benda uji.



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban Lendutan Pengujian Benda Uji 1 ($h = 400$)



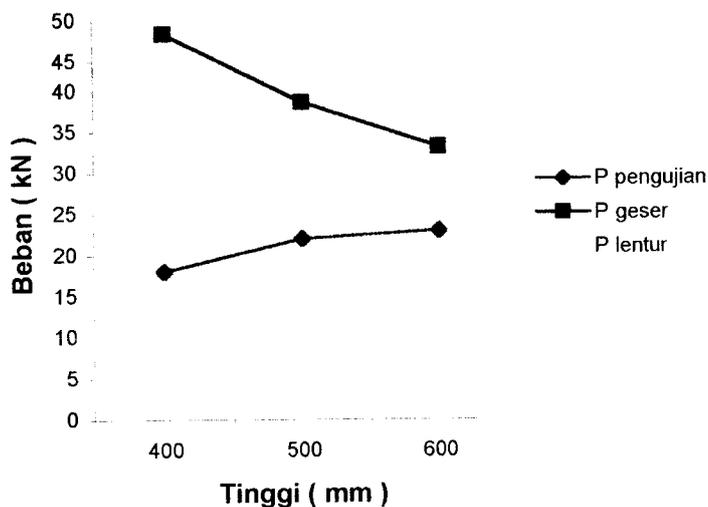
Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban Lendutan Pengujian Benda Uji 2 ($h = 500$)



Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lendutan Teoritis dengan Hubungan Beban Lendutan Pengujian Benda Uji 3 ($h = 600$).

5.2.3 Hubungan Beban-Tinggi Badan Teoritis dan Pengujian

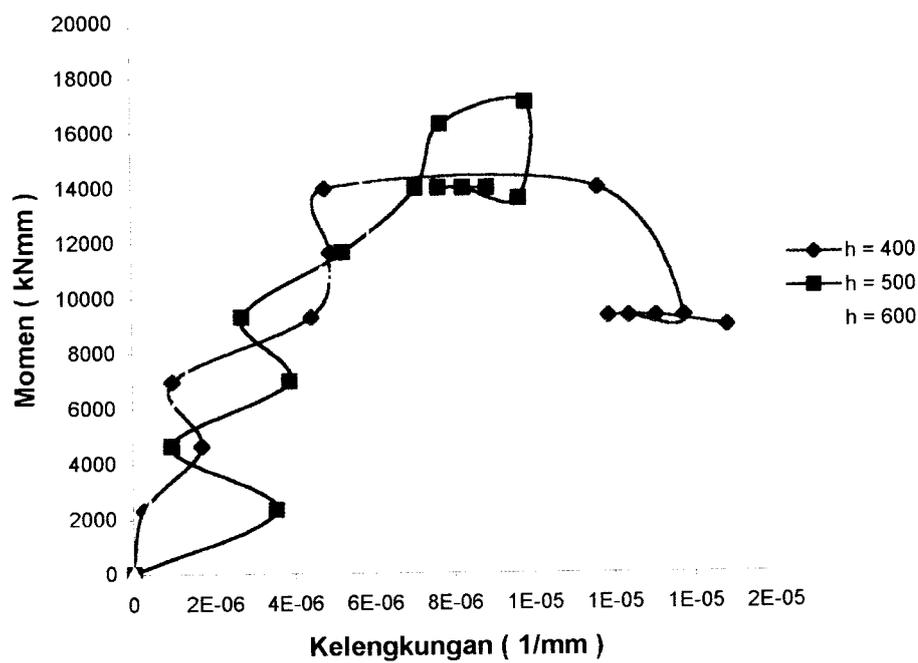
Beban rencana atau teoritis dapat dihitung sebelum dilakukan pengujian kuat lentur benda uji sedangkan beban pengujian didapat setelah dilakukan pengujian kuat lentur. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 5.5**



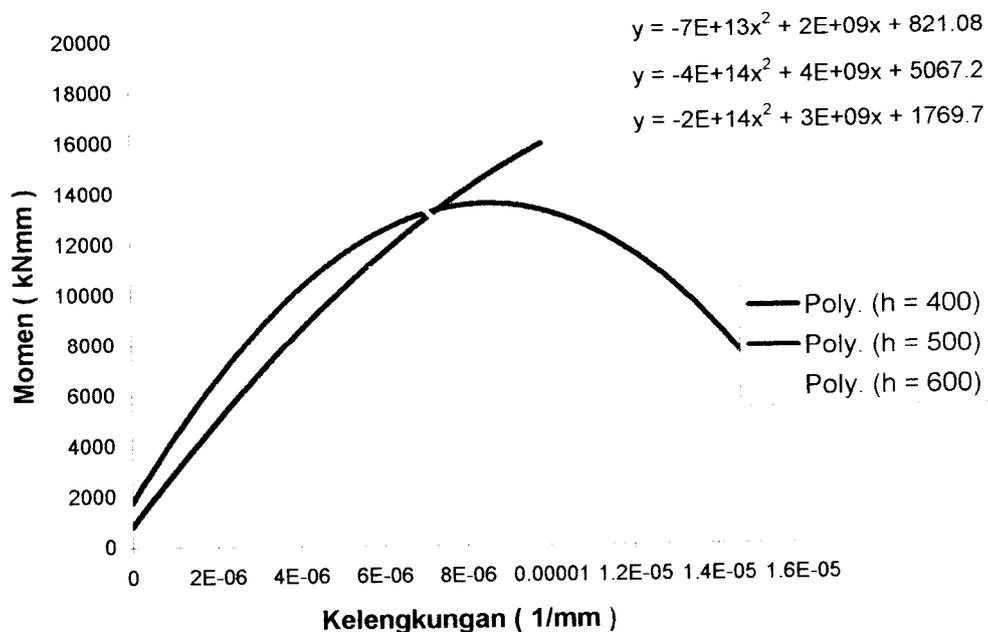
Gambar 5.5 Grafik Hubungan Beban-Tinggi Teoritis dan Pengujian

5.2.4 Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Pengujian

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



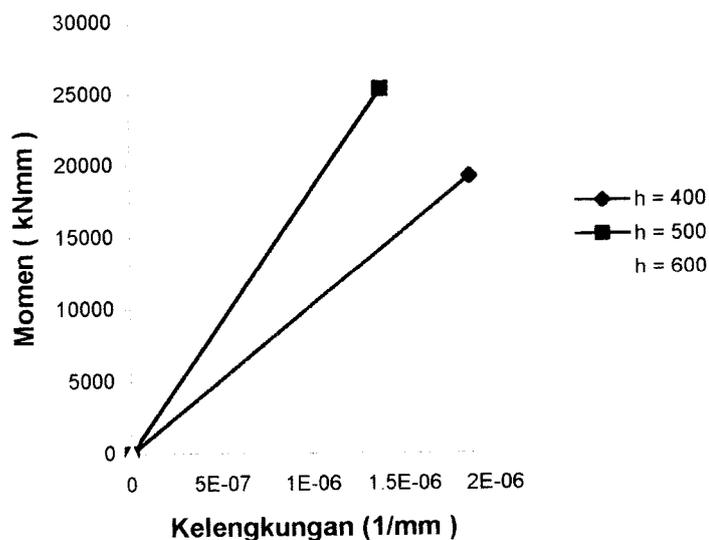
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur dari Ketiga Benda Uji



Gambar 5.7 Grafik Regresi Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Ketiga Benda Uji

5.2.5 Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis pada Kondisi elastis.

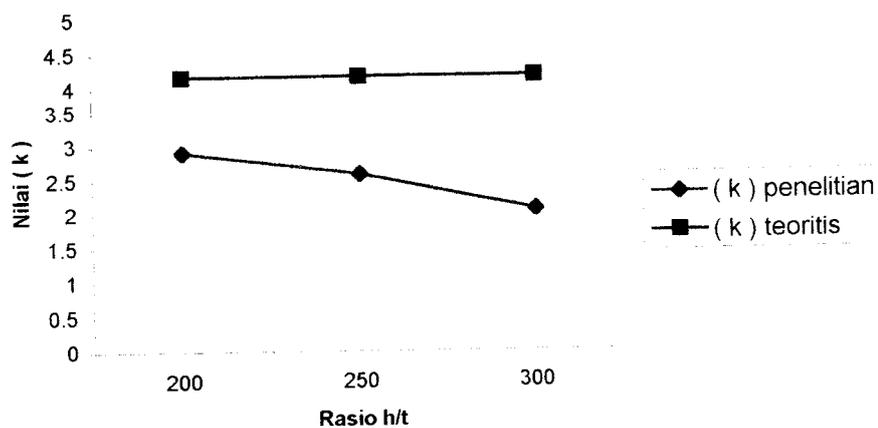
Momen kelengkungan dapat dihitung dengan mengamati kondisi tegangan pada balok. Hal tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5.8**



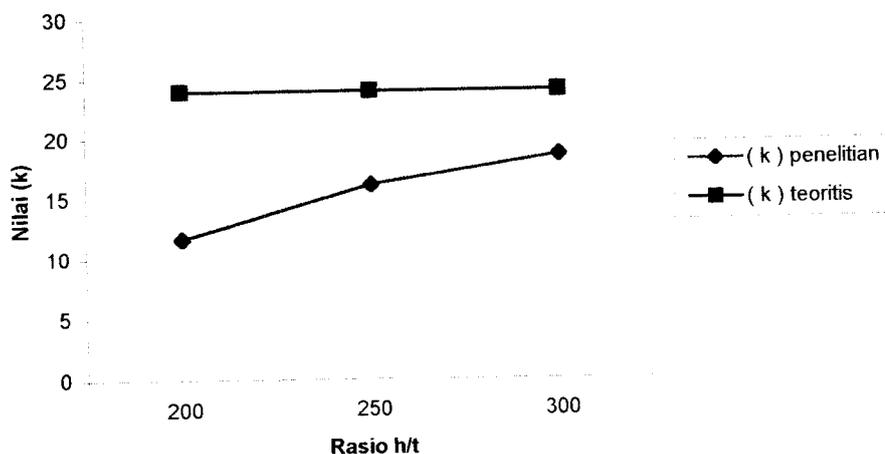
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Momen Kelengkungan Teoritis pada kondisi Elastis

5.2.6 Perbandingan Nilai Koefisien Tekuk (k) Teoritis dengan Pengujian

Dari hasil penelitian diperoleh nilai beban maksimum sehingga dapat dicari nilai koefisien tekuk (k) hasil penelitian baik pada sayap dan badan. Secara teoritis nilai koefisien tekuk (k) apabila diasumsikan sebagai tumpuan sederhana adalah 4 pada sayap sedangkan badan adalah 23,9. Untuk dapat mengetahui dapat dilihat pada **Gambar 5.9** dan **Gambar 5.10**



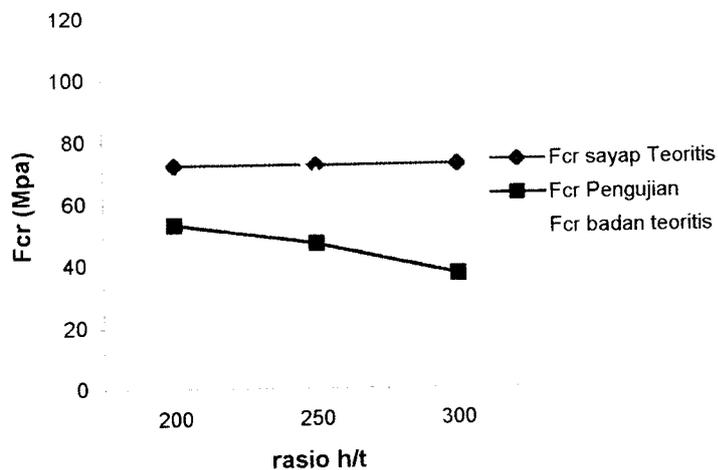
Gambar 5.9 Grafik perbandingan nilai koefisien tekuk (k) hasil penelitian dengan teoritis pada sayap



Gambar 5.10 Grafik Perbandingan nilai koefisien tekuk (k) hasil penelitian dengan teoritis pada badan

5.2.7 Perbandingan Nilai Tegangan Kritis (F_{cr}) Teoritis dengan Pengujian

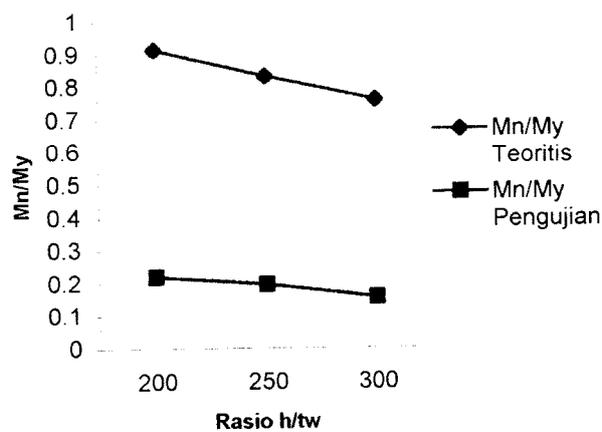
Setelah mendapatkan nilai koefisien tekuk (k) sayap dan badan baik teoritis dan pengujian maka nilai tegangan kritis (F_{cr}) teoritis dan pengujian dapat dicari, sesuai dengan **Gambar 5.11**



Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Tegangan Kritis (F_{cr}) teoritis dan pengujian

5.2.8 Hubungan Rasio M_n/M_y Teoritis dan Pengujian dengan h/tw

Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan rasio M_n/M_y dengan h/tw yang ditunjukkan **Gambar 5.12**



Gambar 5.12 Grafik hubungan rasio M_n/M_y teoritis dan pengujian dengan h/tw

5.2.9 Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan Lentur pengujian

Dari data hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan lentur pada **Gambar 5.1** dapat dijelaskan seperti pada **Tabel 5.2** dan didapatkan daktilitas simpangan pada **Tabel 5.3**.

Tabel 5.2 Analisa hubungan Beban-Lendutan Lentur Pengujian

Benda Uji (mm)	Beban (P_y) kN	Lendutan (Δ_y) mm
Benda Uji 1 (h = 400)	18	19,14
Benda Uji 2 (h = 500)	22	16,45
Benda Uji 3 (h = 600)	23	10,99

Tabel 5.3 Analisa Daktilitas Simpangan dari Hubungan Beban-Lendutan Lentur Pengujian

Benda Uji (mm)	Beban (P) kN	Lend (Δ_y) mm	Lend. maks. (Δ_u) mm	Daktalitas (Δ_u/Δ_y)	Daktilitas (Δ_u/Δ_y) %
Benda Uji 1 (h = 400)	18	19,14	30,89	1,6139	100%
Benda Uji 2 (h = 500)	22	16,45	20,09	1,2213	75,67%
Benda Uji 3 (h = 600)	23	10,99	14,2	1,1921	73,86%

5.2.10 Analisa Data Perbandingan Beban-Lendutan Secara Teoritis dengan

Beban-Lendutan Pengujian

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

Tabel 5.4 Analisa Perbandingan Beban Lentutan Secara Teoritis dengan Beban Lentutan pengujian ($P_{\text{teoritis}} \neq P_{\text{pengujian}}$)

No	Benda Uji (mm)	P Uji (kN)	P_{teoritis} Lentur (kN)	$EI_{\text{pengujian}}$	EI_{teoritis}	Δ Uji (mm)	Δ Lentur (mm)
1	h = 400	18	24,781	1,203E+09	1,073E+10	19,14	16,184
2	h = 500	22	32,845	1,736E+09	1,842E+10	16,45	7,485
3	h = 600	23	29,830	3,667E+09	2,889E+10	15,2	4,16

5.2.11 Analisa Data Hubungan Beban-Tinggi Badan Teoritis dan Pengujian.

Dari **Gambar 5.5** dapat dianalisa seperti dalam **Tabel 5.5** yang hitungan secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran 3 dan 4**.

Tabel 5.5 Analisa Hubungan Beban-Tinggi Badan Teoritis dan Pengujian.

Benda uji	P pengujian (kN)	P teoritis Geser (kN)	P teoritis Lentur (kN)
h = 400	18	47,011	24,781
h = 500	22	38,632	32,845
h = 600	23	33,203	29,830

5.2.12 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Pengujian

Hasil pengamatan seperti pada **Gambar 5.6** dapat dicari kekakuan lentur gelagar pelat penampang kotak seperti pada **Tabel 5.6**

Tabel 5.6 Analisa kekakuan lentur dari hubungan momen-kelengkungan lentur

Benda uji (mm)	Momen (M) kNmm	Kelengkungan (ϕ) 1/mm	$EI = M/\phi$ kNmm ²	$EI = M/\phi$ kNmm ² %
Benda uji 1 (h = 400)	13950	1,16E-05	1,20E+09	32,95%
Benda Uji 2 (h = 500)	17050	9,82E-06	1,73E+09	47,46%
Benda Uji 3 (h = 600)	17825	4,86E-06	3,67E+09	100%

Dari **Gambar 5.6** juga dapat dicari daktilitas lentur kelengkungan seperti dalam

Tabel 5.7

Tabel 5.7 Analisa daktilitas kelengkungan dari hubungan momen-kelengkungan lentur

Benda Uji (mm)	M KNmm	ϕ_y 1/mm	ϕ_u 1/mm	Daktilitas ϕ_u/ϕ_y	Daktilitas ϕ_u/ϕ_y %
Benda uji 1 (h = 400)	13950	1,16E-05	1,48E-06	1,2759	79,42%
Benda Uji 2 (h = 500)	17050	9,82E-06	8,86E-06	0,9022	55,91%
Benda Uji 3 (h = 600)	17825	4,86E-06	7,83E-06	1,6111	100%

5.2.13 Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis pada Kondisi

Elastis

Pada **Gambar 5.8** dapat dijelaskan seperti pada **Tabel 5.8**

Tabel 5.8 Analisa Hubungan Momen Kelengkungan Teoritis pada kondisi elastis

Benda uji	F_{cr} (Mpa)	I_y (Mpa)	E	$M_{elastis}$ (kNmm)	$\varepsilon_{elastis}$	$\phi_{elastis}$ (1/mm)
Benda Uji 1 (h = 400)	72,305	240	2.00E+05	1,92E+04	3,615E-04	1,81E-06
Benda Uji 2 (h = 500)	69,123	240	2.00E+05	2,52E+04	3,456E-04	1,38E-06
Benda Uji 3 (h = 600)	48,005	240	2.00E+05	2,29E+04	2,400E-04	8,01E-07

5.2.14 Analisa Data Perbandingan Nilai Koefisien Tekuk (k) Teoritis dengan Pengujian

Dari hasil pengujian dapat diketahui nilai koefisien tekuk (k) masing-masing variabel dan dibandingkan dengan nilai (k) teoritis. Hitungannya dapat dilihat pada **Lampiran 4**.

Tabel 5.9 Analisa Perbandingan Nilai Koefisien Tekuk (k) teoritis dan pengujian

Benda Uji	(k) _{pengujian sayap}	(k) _{pengujian badan}	(k) _{teoritis sayap}	(k) _{teoritis badan}
Benda Uji 1 (h/t = 200)	2,905	11,6219	4	23,9
Benda Uji 2 (h/t = 250)	2,582	16,137	4	23,9
Benda Uji 3 (h/t = 300)	2,061	18,55	4	23,9

Pada **Tabel 5.9** dapat dilihat bahwa nilai koefisien tekuk (k) hasil pengujian baik sayap ataupun badan lebih kecil dibandingkan nilai koefisien tekuk (k) teoritis.

5.2.15 Analisa Data Perbandingan Nilai Tegangan Kritis (F_{cr}) Teoritis dengan Pengujian

Dari **Gambar 5.11** dapat dianalisa seperti pada **Tabel 5.10** yang hitungannya dapat dilihat pada **Lampiran 3 dan 4**

Tabel 5.10 Analisa Perbandingan Tegangan Kritis (F_{cr}) Teoritis dan Pengujian

Benda Uji	F_{cr} sayap Teoritis (Mpa)	F_{cr} badan Teoritis (Mpa)	F_{cr} Pengujian (Mpa)
$h/t = 200$	72,305	108,005	52,52
$h/t = 250$	72,305	69,123	46,67
$h/t = 300$	72,305	48,005	37,26

5.2.16 Analisa Data Rasio M_n/M_y Teoritis dan Pengujian dengan h/t_w

Dari hasil pengamatan pada **Gambar 5.12** ditunjukkan pada **Tabel 5.11**, sedangkan perhitungan dapat dilihat pada **Lampiran 7**.

Tabel 5.11 Analisa Rasio M_n/M_y Teoritis dan Pengujian dengan h/t_w

h/t_w	H (mm)	A _f (mm ²)	A _w (mm ²)	M_n/M_y Teoritis	M_n/M_y Pengujian
200	400	800	1600	0,9141	0,2188
250	500	800	2000	0,8334	0,1945
300	600	800	2400	0,7600	0,1553

5.3 Pembahasan**5.3.1 Kuat Tarik Baja Berdasarkan Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja**

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

5.3.2 Hubungan Beban-Lendutan berdasarkan Teoritis dan Pengujian.

Dengan mengamati **Tabel 5.2** dapat dilihat lendutan pengujian yang terjadi pada saat beban maksimum dari berbagai benda uji sebagai berikut ; benda uji 1 ($h = 400$) adalah 19,14 mm, benda uji 2 ($h = 500$) adalah 7,485 mm dan benda uji 3 ($h = 600$) adalah 4,16 mm. Untuk lendutan teoritis terjadi pada saat beban maksimum akibat lentur dari berbagai benda uji sebagai berikut ; benda uji 1 ($h = 400$) adalah 16,184 mm, benda uji 2 ($h = 500$) adalah 7,485 mm dan benda uji 3 ($h = 600$) adalah 4,16 mm. Dapat dilihat dari ketiga benda uji baik teoritis dan pengujian semakin tinggi badan gelagar pelat maka lendutan yang terjadi semakin kecil. Hal itu disebabkan semakin tinggi benda uji nilai kekakuan lentur (EI)nya semakin meningkat karena dipengaruhi oleh inersia penampang yang semakin besar. Bila dibandingkan nilai lendutan pengujian dengan teoritis, dapat dilihat lendutan pengujian lebih besar dibandingkan lendutan teoritis karena nilai kekakuan lentur yang direncanakan lebih besar dibandingkan nilai kekakuan lentur yang terjadi pada pengujian. Lendutan maksimum yang terjadi pada berbagai benda uji dapat digunakan sebagai lendutan izin dalam merencanakan gelagar pelat penampang kotak apabila menggunakan dimensi yang sama.

5.3.3 Hubungan Beban–Tinggi Badan berdasarkan Teoritis dan Pengujian

Pada **Tabel 5.5** dapat diamati beban maksimum yang terjadi pada saat pengujian dari berbagai benda uji adalah sebagai berikut; benda uji 1 ($h = 400$) adalah 18 kN, benda uji 2 ($h = 500$) adalah 22 kN dan benda uji 3 ($h = 600$) = 23 kN. Beban rencana sebelum pengujian sebagai berikut ; untuk beban yang diakibatkan lentur benda uji 1 ($h = 400$) adalah 24,781 kN, benda uji 2 ($h = 500$)

adalah 32,845 kN dan benda uji 3 ($h = 600$) adalah 29,830 kN sedangkan beban yang ditinjau berdasarkan gaya geser sebagai berikut: ; benda uji 1 ($h = 400$) adalah 47,011 kN, benda uji 2 ($h = 500$) adalah 38,632 dan benda uji 3 ($h = 600$) adalah 33,203 kN. Dari ketiga benda uji bila dibandingkan beban maksimum yang seharusnya terjadi baik ditinjau akibat geser atau lentur lebih besar dibandingkan beban yang terjadi setelah pengujian kuat lentur. Hal itu disebabkan tegangan kritis (F_{cr}) teoritis dari ketiga benda uji lebih besar dibandingkan tegangan kritis (F_{cr}) pengujian.

5.3.4 Hubungan Momen-kelengkungan berdasarkan Teoritis dan Pengujian.

Untuk kelengkungan yang didapat dari pengujian kuat lentur dari berbagai benda uji sebagai berikut ; benda uji 1 ($h = 400$) adalah $1,161 \cdot 10^{-5}$ mm, benda uji 2 ($h = 500$) adalah $9,82 \cdot 10^{-6}$ mm dan benda uji 3 ($h = 600$) adalah $4,86 \cdot 10^{-6}$, kelengkungan terjadi pada berbagai benda uji saat momen maksimum sebagai berikut benda uji 1 ($h = 400$) adalah 13950 kNmm, benda uji 2 ($h = 500$) adalah 17050 kNmm dan benda uji 3 ($h = 600$) adalah 17825 kNmm. Untuk kelengkungan teoritis pada kondisi elastis dari berbagai benda uji sebagai berikut ; benda uji 1 ($h = 400$) adalah $1,8076 \cdot 10^{-6}$ mm, benda uji 2 ($h = 500$) adalah $1,3825 \cdot 10^{-6}$ mm dan benda uji 3 ($h = 600$) adalah $8,001 \cdot 10^{-7}$ mm, momen maksimum teoritis sebagai berikut ; benda uji 1 ($h = 400$) adalah 19205,353 kNmm, benda uji 2 ($h = 500$) adalah 25253,96 kNmm dan benda uji 3 ($h = 600$) adalah 22966,270 kNmm. Dapat diamati kelengkungan yang terjadi lebih besar dibandingkan kelengkungan teoritis, hal itu disebabkan nilai kekakuan lentur (EI) yang terjadi

setelah pengujian kuat lentur lebih kecil dibandingkan nilai kekakuan lentur (EI) teoritis.

5.3.5 Perbandingan Nilai Koefisien Tekuk (k) Teoritis dengan Pengujian

Dengan mengamati **Gambar 5.9** dan **Gambar 5.10** dapat dilihat nilai koefisien tekuk (k) pada sayap semakin kecil rasio h/t maka nilai koefisien tekuknya semakin besar sedangkan pada badan semakin kecil rasio h/t maka nilai koefisien tekuk (k) semakin kecil.

Dari **Tabel 5.9** dapat dilihat besarnya nilai koefisien tekuk yang dimiliki oleh ketiga benda uji. Gelagar pelat penampang kotak dengan rasio $h/t = 200$ mempunyai nilai koefisien tekuk (k) pada sayap = 2,905 sedangkan gelagar pelat dengan rasio $h/t = 250$ memiliki nilai (k) sebesar 2,582 dan pada gelagar dengan rasio $h/t = 300$ memiliki nilai (k) sebesar 2,061. Pada badan gelagar pelat dengan rasio $h/t = 200$ memiliki nilai koefisien tekuk (k) = 11,6219 sedangkan pada gelagar pelat dengan rasio $h/t = 250$ memiliki nilai (k) = 16,137 dan gelagar pelat dengan rasio $h/t = 300$ memiliki nilai (k) = 18,55. Nilai koefisien tekuk (k) hasil pengujian baik badan ataupun sayap lebih kecil dibandingkan nilai koefisien tekuk (k) secara teoritis.

5.3.6 Perbandingan Nilai Tegangan Kritis (F_{cr}) Teoritis dengan Pengujian

Untuk tegangan kritis (F_{cr}) yang terjadi setelah pengujian kuat lentur dari berbagai benda uji sebagai berikut ; benda uji 1 ($h/t = 200$) adalah 52,52 Mpa, benda uji 2 ($h/t = 250$) adalah 46,67 Mpa dan benda uji 3 ($h/t = 300$) adalah 37,26 Mpa. Sedangkan tegangan kritis (F_{cr}) teoritis dari berbagai benda uji terjadi

pada sayap dan badan sehingga diambil yang terkecil sebagai berikut ; benda uji 1 ($h/t = 200$) adalah 72,305 Mpa, benda uji 2 ($h/t = 250$) adalah 69,123 Mpa dan benda uji 3 ($h/t = 300$) adalah 48,005 Mpa. Dapat diamati semakin kecil rasio tinggi terhadap tebal benda uji maka nilai tegangan kritis (F_{cr})nya semakin mengecil. Untuk perbandingan tegangan kritis (F_{cr}) teoritis dan pengujian dapat dilihat tegangan kritis (F_{cr}) pengujian lebih kecil dibandingkan tegangan kritis (F_{cr}) teoritis. Hal itu disebabkan nilai koefisien tekuk (k) teoritis yang diasumsikan baik badan atau sayap dari berbagai benda uji lebih besar dibandingkan nilai koefisien tekuk (k) yang terjadi setelah pengujian kuat lentur.

5.3.7 Hubungan Rasio M_n/M_y Teoritis dan Pengujian dengan h/t_w .

Dari **Gambar 5.12** dapat diamati bahwa nilai M_n/M_y dari berbagai rasio h/t_w pada gelagar penampang kotak tanpa pengaku mengalami penurunan yang tidak linear. Nilai M_n/M_y yang terjadi setelah pengujian kuat lentur dari berbagai rasio h/t_w benda uji lebih kecil dibandingkan nilai M_n/M_y teoritis. Hal itu disebabkan nilai tegangan kritis (F_{cr}) pengujian lebih kecil dibandingkan tegangan kritis (F_{cr}) teoritis. Bila dibandingkan dengan **Gambar 3.6** (untuk profil I tanpa pengaku) didapat nilai rasio M_n/M_y terhadap h/t_w sama dengan gelagar pelat penampang yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 5. 12 Perbandingan nilai rasio M_n/M_y terhadap h/t_w gelagar pelat penampang I dengan penampang kotak

Benda Uji	h/t_w	Penampang Kotak M_n/M_y Pengujian	Penampang Kotak M_n/M_y Teoritis	Penampang I M_n/M_y
1	200	0,2188	0,9141	<1
2	250	0,1945	0,8334	<1
3	300	0,1553	0,7600	<1

5.3.8 Kekakuan Lentur dan Daktilitas dari berbagai Benda Uji

Dengan mengamati **Gambar 5.6** grafik hubungan momen-kelengkungan dapat dilihat ketiganya memiliki perilaku yang hampir sama. Dari **Tabel 5.6** dapat dilihat kekakuan lentur (EI) pada gelagar pelat dengan $h = 400$ adalah $1202586207 \text{ kN/mm}^2$ sedangkan untuk gelagar pelat dengan $h = 500$ memiliki EI adalah $1736252546 \text{ kN/mm}^2$ dan pada gelagar dengan $h = 600$ memiliki EI adalah $3667695473 \text{ kN/mm}^2$. Dapat diamati dari berbagai benda uji yang memiliki tinggi badan (h) lebih tinggi memiliki kekakuan lentur (EI) lebih besar disbanding benda uji yang memiliki tinggi badan (h) lebih kecil. Untuk daktilitas simpangan gelagar pelat dengan $h = 400$ mempunyai daktilitas sebesar 1,6319 sedangkan untuk gelagar pelat dengan $h = 500$ mempunyai daktilitas sebesar 1,2213 dan pada gelagar pelat dengan $h = 600$ sebesar 1,1921. Semakin kecil tinggi badan (h) dari benda uji maka semakin besar nilai daktilitas simpangannya yang ditinjau hubungan beban lendutan. Dengan mengamati **Gambar 5.6** dapat dianalisa daktilitas kelengkungan seperti pada **Tabel 5.7**. Terlihat bahwa daktilitas pada gelagar pelat dengan $h = 400$ sebesar 1,2759 untuk gelagar pelat dengan $h = 500$ sebesar 0,9022 dan pada gelagar pelat dengan $h = 600$ sebesar 1,6111. Daktilitas pada gelagar pelat dengan $h = 600$ lebih besar 0,7082 dibandingkan gelagar pelat dengan $h = 500$ dan lebih besar 0,3307 dibandingkan gelagar pelat dengan $h = 400$.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

- 1) Dari hubungan beban-lendutan pada gelagar pelat penampang kotak tanpa pengaku transversal dapat disimpulkan semakin tinggi badan (h) gelagar pelat maka semakin kuat menahan lendutan yang terjadi apabila dibebani tegak lurus balok.
- 2) Dari hubungan beban-tinggi pada gelagar pelat penampang kotak tanpa pengaku transversal dapat disimpulkan semakin tinggi badan (h) maka semakin kuat dalam menahan beban.
- 3) Untuk hubungan momen-kelengkungan pada gelagar pelat penampang kotak tanpa pengaku transversal dapat disimpulkan semakin tinggi badan (h) gelagar pelat maka kelengkungan yang terjadi semakin kecil.
- 4) Untuk nilai koefisien tekuk (k) pada gelagar pelat penampang kotak tanpa pengaku transversal dapat disimpulkan semakin tinggi badan (h) gelagar pelat maka nilai koefisien tekuk (k) pada badan semakin meningkat. Hal tersebut berbanding terbalik dengan nilai koefisien tekuk

- (k) pada sayap semakin tinggi badan (h) gelagar pelat maka nilai koefisien tekuk (k) semakin menurun
- 5) Untuk nilai tegangan kritis (F_{cr}) pada gelagar penampang kotak tanpa pengaku transversal dapat disimpulkan semakin tinggi badan (h) gelagar pelat maka tegangan kritis (F_{cr}) semakin menurun.
 - 6) Untuk rasio M_n / M_y terhadap h / t pada gelagar pelat penampang kotak tanpa pengaku transversal dapat disimpulkan semakin tinggi rasio M_n / M_y terhadap h / t maka kekuatan lentur gelagar pelat semakin menurun sehingga tekuk lentur pada badan terjadi
 - 7) Untuk kekakuan lentur (EI) pada gelagar penampang kotak tanpa pengaku transversal dapat disimpulkan semakin tinggi badan (h) gelagar pelat maka kekakuan lenturnya semakin meningkat sedangkan untuk daktilitas gelagar pelat penampang kotak tanpa pengaku transversal semakin tinggi badan (h) gelagar pelat maka daktilitasnya semakin menurun.

6.2 Saran

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

- 1) Pada pengujian lentur perlu dilakukan perubahan variasi variabel sampel .
- 2) Sebaiknya bila gelagar pelat diperpanjang sehingga akan tampak lebih jelas lendutan yang terjadi.
- 3) Pemberian beban dapat dirubah tidak pada sepertiga bentang

- 5) Perlu diperhatikan pada pengerjaan sampel sehingga saat pengujian mendapatkan data yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

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

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

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

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.

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

James M. Gere dan Stephen P. Timoshenko, 1997, **MEKANIKA BAHAN**, Erlangga, Jakarta.

LAMPIRAN I

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1	Andre Bharata	97 511 266	Tek. Sipil
2	Adi Marwanto	97 511 085	Tek. Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR :

Kuat lentur gelagar plat bentuk kotak tanpa pengaku

PERIODE I : SEPTEMBER - PEBRUARI

TAHUN : 2002 / 2003

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

DOSEN PEMBIMBING I
DOSEN PEMBIMBING II

Ir. H. M. Samsuddin, MT
Ir. Fatkhurrahman N., MT



Yogyakarta, 12. Sept. 2002

Dekan,

Ir. H. Munadhir, MS

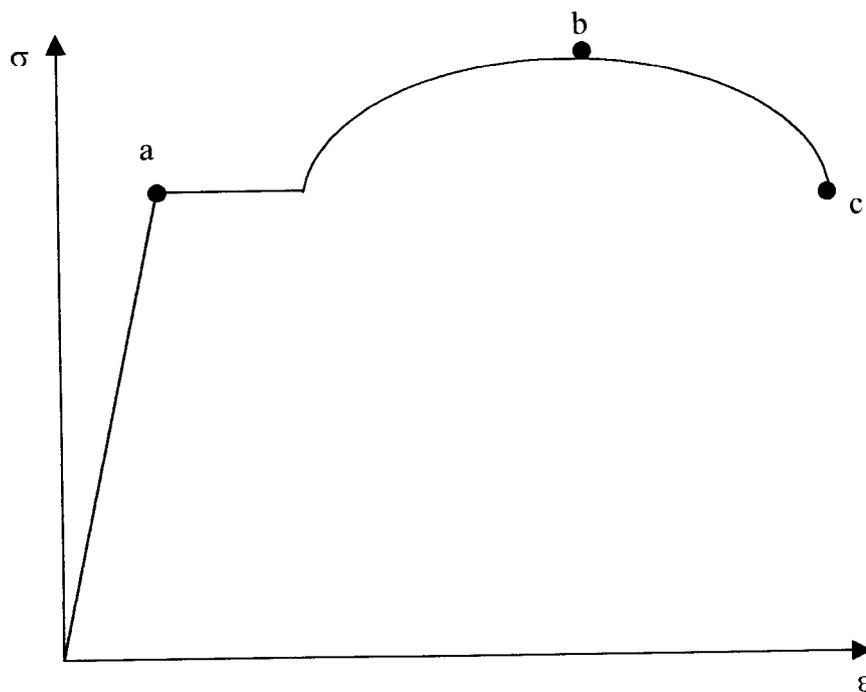
Catatan:

- Seminar :
- Sidang :
- Pendadaran :

LAMPIRAN 2

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

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

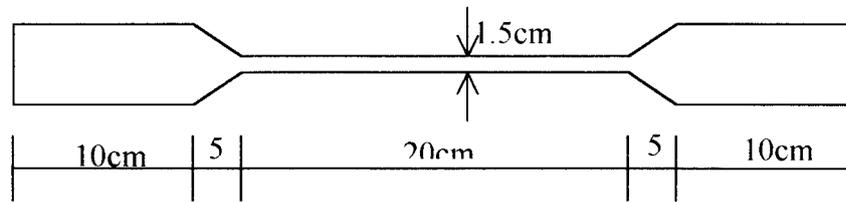


Keterangan :

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

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

a. Pelat Baja



$$t = 0.2 \text{ cm}$$

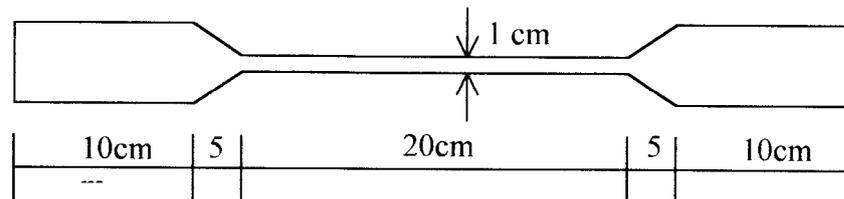
$$A = 1.5 \text{ cm} \times 0.2 \text{ cm} = 0.3 \text{ cm}^2$$

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

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

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

b. Profil L30x30x3



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

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

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

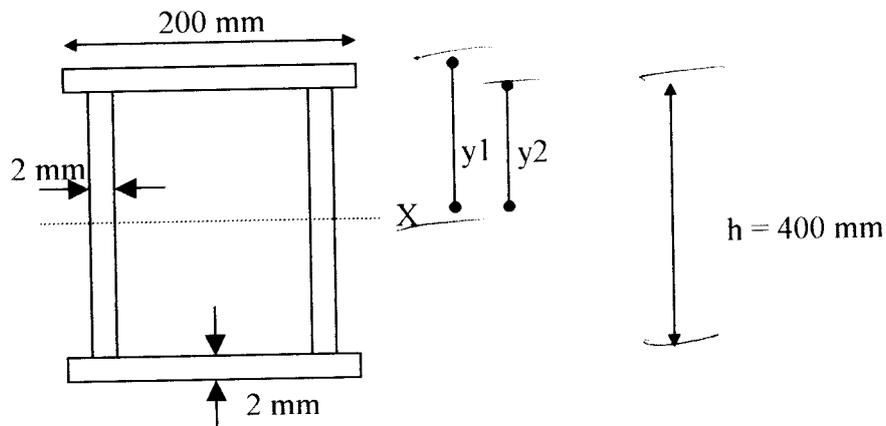
$$F_y = \frac{320 + 383.3 + 408.3}{3} = 370.1 \text{ Mpa}, \text{ dipakai } F_y = 370 \text{ Mpa}$$

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

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN BENDA UJI

Perhitungan Beban Teoritis berdasarkan Tegangan Lentur



Benda Uji 1 (h = 400)

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

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

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

$$= 21333333,33 \text{ mm}^4$$

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

$$I_{x \text{ profil}} = 32321066,67 + 21333333,33$$

$$I_{x \text{ profil}} = 53654400 \text{ mm}^4$$

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

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

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

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

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

$$\text{Nilai } k \text{ teoritis pada sayap} = 4$$

$$F_{cr \text{ sayap}} = \frac{4 \pi^2 200000}{12 (1 - 0.3^2) (180/2)^2}$$

$$F_{cr \text{ sayap}} = 72,305 \text{ Mpa}$$

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

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

$$F_{cr \text{ badan}} = \frac{23,9 \pi^2 200000}{12 (1 - 0.3^2) (400/2)^2}$$

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

$$F_{cr \text{ sayap}} = 72,305 \text{ Mpa}, F_{cr \text{ badan}} = 108,005 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa}$$

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

$$P_{maks \text{ sayap}} = \frac{6 \cdot 72,305 \cdot 53654400}{4650 \cdot 202}$$

$$P_{maks \text{ sayap}} = 24781,101 \text{ N}$$

$$P_{maks \text{ sayap}} = 24,781 \text{ kN}$$

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

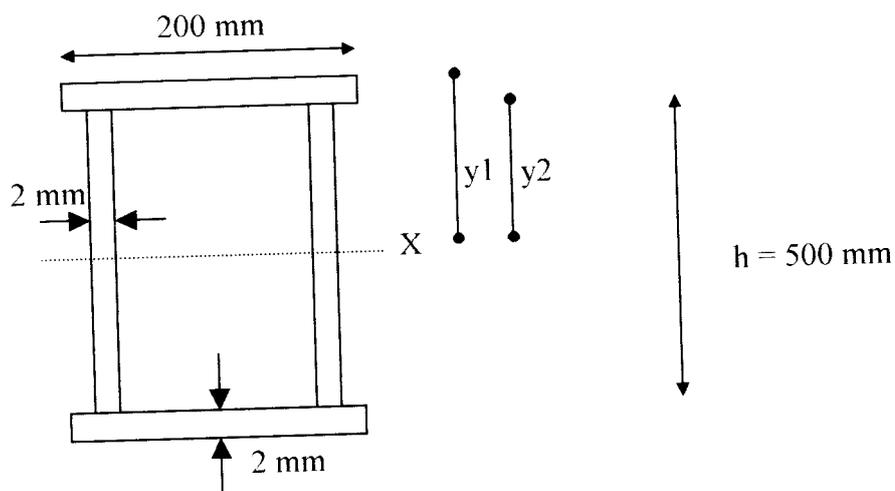
$$P_{maks\ badan} = \frac{6\,108,005\ 53654400}{4650.200}$$

$$P_{maks\ badan} = 37386,7321\ \text{N}$$

$$P_{maks\ badan} = 37,3867\ \text{kN}$$

$$P_{maks\ sayap} = 24,781\ \text{kN} < P_{maks\ badan} = 37,3867\ \text{kN}$$

P maksimum terpakai benda uji 1 = 24,781 kN



Benda uji 2 (h = 500)

$$I_{x\ sayap} = 2 \left(\frac{1}{12} 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 251^2 \right)$$

$$= 50401066,67\ \text{mm}^4$$

$$I_{x\ badan} = 2 \left(\frac{1}{12} 2 \cdot 500^3 + 500 \cdot 2 \cdot 0^2 \right)$$

$$= 41666666,67\ \text{mm}^4$$

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

$$I_{x\ profil} = 50401066,67 + 41666666,67$$

$$I_{x\ profil} = 92067733,34\ \text{mm}^4$$

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

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANDA TANGAN
	<p>Perbaikan Pasca sidang Dinyatakan telah Cukup DPT</p> <p><i>[Signature]</i> 13/02/2002</p> <p>Revisi perbaikan → smp - ut Sipin 18/12/03</p>	<p>proposal diperbaiki maks. 20 hal saja</p> <p>Perbaikan !!</p> <p>Landasan teori harus berdasarkan tujuan mustaka sbg mengkonse- kan hipotesis</p> <p>Urutan buku sbb ke belakang = ?</p> <p>berdasarkan yg selendang f di pahlawan →</p> <p>di samping mahl perbaikan</p>	<p><i>[Signature]</i></p> <p><i>[Signature]</i></p> <p><i>[Signature]</i></p> <p><i>[Signature]</i></p> <p><i>[Signature]</i></p>
<p>nama nominal</p>		<p>perbaikan</p>	<p><i>[Signature]</i></p>
<p>Mn = Men</p> <p>f(6, 7, 7, 8)</p>		<p>berhenti kegiatan ketan</p>	<p><i>[Signature]</i></p>
<p>prodi ke Ns. Keluar</p>		<p>Ditandatangani DPT</p>	<p><i>[Signature]</i></p>

8/07/2003 - Pertanyaan tujuan
menyusun kerangka
→ di raph ul. Sidang
(pelajari apa yg sdr tulis
dan selitarnya)

[Signature]

$$F_{cr} \leq f = \frac{M_y}{I}$$

$$F_{cr} = \frac{1}{6} \frac{P L_y}{I_{x \text{ profil}}}$$

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

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

Nilai k teoritis pada sayap = 4

$$F_{cr \text{ sayap}} = \frac{4 \pi^2 200000}{12 (1 - 0.3^2) (180/2)^2}$$

$$F_{cr \text{ sayap}} = 72,305 \text{ Mpa}$$

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

Nilai k pada badan teoritis = 23,9

$$F_{cr \text{ badan}} = \frac{23,9 \pi^2 200000}{12 (1 - 0.3^2) (500/2)^2}$$

$$F_{cr \text{ badan}} = 69,123 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr \text{ badan}} = 69,123 \text{ Mpa}, F_{cr \text{ sayap}} = 72,305 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr \text{ terpakai}} = 69,123 \text{ Mpa}$$

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

$$P_{maks \text{ sayap}} = \frac{6 \cdot 72,305 \cdot 92067733,34}{4650.252}$$

$$P_{maks \text{ sayap}} = 34085,804 \text{ N}$$

$$P_{maks \text{ sayap}} = 34,086 \text{ kN}$$

$$P_{maks\ badan} = \frac{6 F_{cr\ badan} I_x\ total}{L \cdot y^2}$$

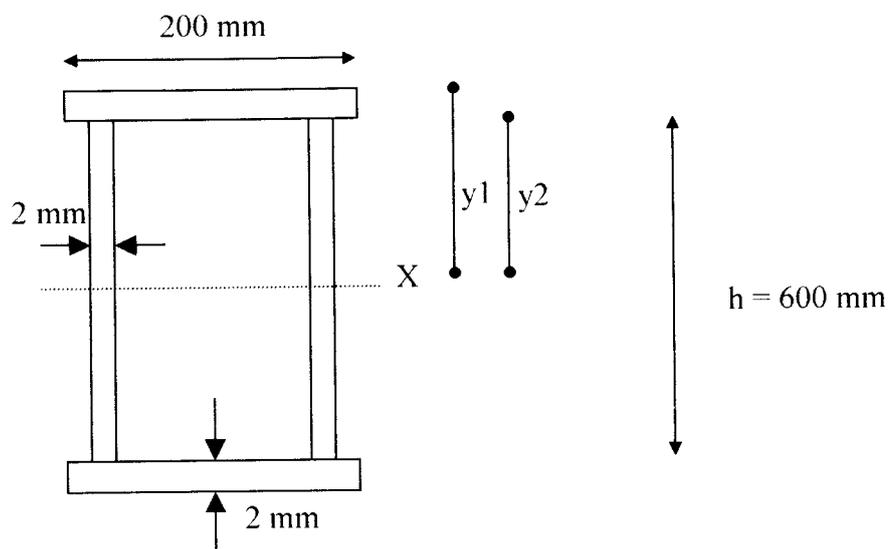
$$P_{maks\ badan} = \frac{6 \cdot 69,123 \cdot 92067733,34}{4650 \cdot 250}$$

$$P_{maks\ badan} = 32846,44094 \text{ N}$$

$$P_{maks\ badan} = 32,845 \text{ kN}$$

$$P_{maks\ badan} = 32,845 \text{ kN} < P_{maks\ sayap} = 34,086 \text{ kN}$$

P maksimum terpakai benda uji 2 = 32,845 kN



Benda Uji 3 (h = 600)

$$I_{x\ sayap} = 2 \left(\frac{1}{12} 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 301^2 \right)$$

$$= 72481066,67 \text{ mm}^4$$

$$I_{x\ badan} = 2 \left(\frac{1}{12} 2 \cdot 600^3 + 600 \cdot 2 \cdot 0^2 \right)$$

$$= 72000000 \text{ mm}^4$$

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

$$I_{x\ profil} = 72481066,67 + 72000000$$

$$I_{x \text{ profil}} = 144481066,67 \text{ mm}^4$$

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

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

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

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

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

Nilai k teoritis pada sayap = 4

$$F_{cr \text{ sayap}} = \frac{4 \pi^2 200000}{12 (1 - 0.3^2) (180/2)^2}$$

$$F_{cr \text{ sayap}} = 72,305 \text{ Mpa}$$

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

Nilai k teoritis pada badan = 23,9

$$F_{cr \text{ badan}} = \frac{23,9 \pi^2 200000}{12 (1 - 0.3^2) (600/2)^2}$$

$$F_{cr \text{ badan}} = 48,002 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr \text{ badan}} = 48,002 \text{ Mpa} , F_{cr \text{ sayap}} = 72,305 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa}$$

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

$$P_{maks \text{ sayap}} = \frac{6 \cdot 72,305 \cdot 14481066,7}{4650 \cdot 302}$$

$$F_v = \frac{240}{2,89} 0,1769 = 14,691 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 1600 \cdot 14,691 = 23505,6 \text{ N} = 23,5056 \text{ kN}$$

$$V = (1/2)P \Rightarrow P = 47,011 \text{ kN}$$

Benda uji 2 (h = 500)

$$V = A_w \cdot F_v$$

$$A_w = 2h \cdot t_w = 2 \cdot 500 \cdot 2 = 2000 \text{ mm}^2$$

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

$$\text{Gelagar pelat geser elastis} \Rightarrow C_v = \frac{303000k}{I_y(h/t)^2}$$

$$\text{untuk } a/h = 1550 \text{ mm} / 500 \text{ mm} = 3,1 \Rightarrow a/h \geq 1 \Rightarrow k = \frac{4,0}{(a/h)^2} + 5,34$$

$$k = \frac{4,0}{(3,1)^2} + 5,34 = 5,756$$

$$C_v = \frac{303000 \cdot 5,756}{240 \cdot (250^2)} = 0,1163$$

$$F_v = \frac{240}{2,89} 0,1163 = 9,658 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 2000 \cdot 9,658 = 19316 \text{ N} = 19,316 \text{ kN}$$

$$V = (1/2)P \Rightarrow P = 38,632 \text{ kN}$$

Benda uji 3(h = 600)

$$V = A_w \cdot F_v$$

$$A_w = 2h \cdot t_w = 2 \cdot 600 \cdot 2 = 2400 \text{ mm}^2$$

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

$$\text{Gelagar pelat geser elastis} \Rightarrow C_v = \frac{303000k}{F_y(h/t)^2}$$

$$\text{untuk } a/h = 1550 \text{ mm} / 600 \text{ mm} = 2,583 \Rightarrow a/h \geq 1 \Rightarrow k = \frac{4,0}{(a/h)^2} + 5,34$$

$$k = \frac{4,0}{(2,583)^2} + 5,34 = 5,9395$$

$$C_v = \frac{303000 \cdot 5,9395}{240 \cdot (300^2)} = 0,0833$$

$$F_v = \frac{240}{2,89} 0,0833 = 6,9176 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 2400 \cdot 6,9176 = 16602,24 \text{ N} = 16,602 \text{ kN}$$

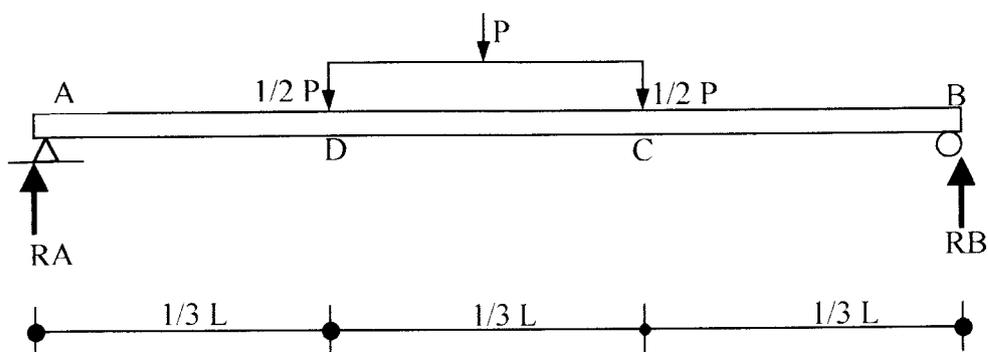
$$V = (1/2)P \Rightarrow P = 33,203 \text{ kN}$$

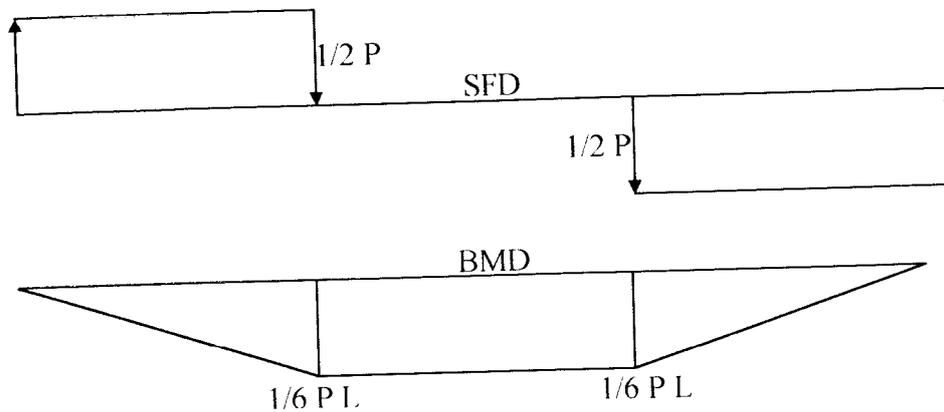
Pmaks hasil pengujian.

Benda Uji 1 (h = 400) = 18 kN

Benda Uji 2 (h = 500) = 22 kN

Benda Uji 3 (h = 600) = 23 kN





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

$$MC = MD = \frac{1}{2}P \cdot \frac{1}{3}L$$

$$RA = \frac{\frac{2}{6}PL + \frac{1}{6}PL}{L}$$

$$MC = MD = \frac{1}{6}PL$$

$$= 1/2 P$$

Perencanaan Pengaku Landasan.

$$\frac{R}{t_w(N + 2K)} \leq 0,75 \cdot F_y$$

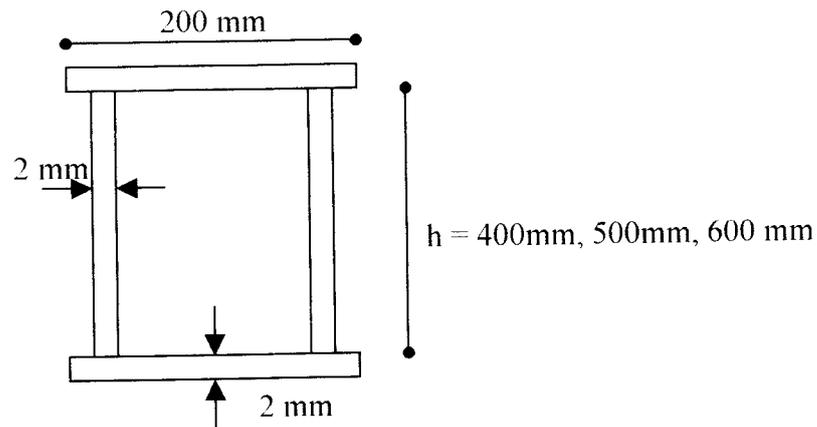
$$\frac{2478,1}{2(200 + 2 \cdot 2)} = 25,6825 \text{ kg/mm}^2 > 0,75 \cdot 24 = 18 \text{ kg/mm}^2$$

⇒ perlu pengaku landasan

Pengaku tumpu : digunakan pelat (30×30×3)mm

LAMPIRAN 4

Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk (k)



Benda Uji 1 ($h/t = 200$)

$$M = F_{cr} S_x$$

$$S_x = I_x / y$$

$$M = 1 / 6 P L$$

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

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

$$Y = 0.5 d = 0.5 \cdot 404 = 202 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_x &= 2 \left(\frac{1}{12} 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 201^2 \right) + 2 \left(\frac{1}{12} 2 \cdot 400^3 + 400 \cdot 2 \cdot 0^2 \right) \\ &= 32321066,67 + 21333333,33 \\ &= 53654400 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$P_{maks} = 1800 \text{ kg} \quad L = 4650 \text{ mm}$$

$$M = 1/6 \cdot 1800 \cdot 4650 = 1395000 \text{ kgmm}$$

$$S_x = \frac{53654400}{202} = 265615,8416 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{1395000}{265615,8416} = 5,252 \text{ kg/mm}^2 = 52,52 \text{ N/mm}^2 = 52,52 \text{ Mpa}$$

Nilai koefisien tekuk (k) pada sayap

$$F_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b_t)^2}$$

$$k = \frac{F_{cr} 12 (1 - \mu^2) (b_t)^2}{\pi^2 E}$$

$$= \frac{52,52 \cdot 12 (1 - 0,3^2) (180_2)^2}{\pi^2 200000}$$

$$= 2,905$$

Nilai koefisien tekuk (k) pada badan

$$F_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h_t)^2}$$

$$k = \frac{F_{cr} 12 (1 - \mu^2) (h_t)^2}{\pi^2 E}$$

$$= \frac{52,52 \cdot 12 (1 - 0,3^2) (400_2)^2}{\pi^2 200000}$$

$$= 11,6219$$

Benda Uji 2 (h/t = 250)

$$M = F_{cr} S_x$$

$$S_x = I_x / y$$

$$M = 1 / 6 P L$$

$$F_{cr} = \frac{1}{6} \frac{P L}{I_{xy}}$$

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

$$Y = 0,5 d = 0,5 \cdot 504 = 252 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_x &= 2 \left(\frac{1}{12} 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 252^2 \right) + 2 \left(\frac{1}{12} 2 \cdot 500^3 + 500 \cdot 2 \cdot 0^2 \right) \\ &= 50401066,67 + 41666666,67 \\ &= 92067733,34 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$P_{maks} = 2200 \text{ kg} \quad L = 4650 \text{ mm}$$

$$M = 1/6 \cdot 2200 \cdot 4650 = 17505000 \text{ kgmm}$$

$$S_x = \frac{92067733,34}{252} = 365348,1482 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{17505000}{365348,1482} = 4,667 \text{ kg/mm}^2 = 46,67 \text{ N/mm}^2 = 46,67 \text{ Mpa}$$

Nilai koefisien tekuk (k) pada sayap

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

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

$$= \frac{46,67 \cdot 12 (1 - 0,3^2) \left(\frac{180}{2} \right)^2}{\pi^2 \cdot 200000}$$

$$= 2,582$$

Nilai koefisien tekuk (k) pada badan

$$F_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h_t)^2}$$

$$k = \frac{F_{cr} 12(1-\mu^2)(h_t)^2}{\pi^2 E}$$

$$= \frac{46,67 12(1-0,3^2)(500_2)^2}{\pi^2 200000}$$

$$= 16,137$$

Benda Uji 3 (h/t = 300)

$$M = F_{cr} S_x$$

$$S_x = I_x / y$$

$$M = 1 / 6 P L$$

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

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

$$Y = 0.5 d = 0.5 604 = 302 \text{ mm}$$

$$I_x = 2 \left(\frac{1}{12} 200 2^3 + 200 2 301^2 \right) + 2 \left(\frac{1}{12} 2 600^3 + 600 2 0^2 \right)$$

$$= 72481066,67 + 72000000$$

$$= 1444481066,7 \text{ mm}^4$$

$$P_{maks} = 2300 \text{ kg} \quad L = 4650 \text{ mm}$$

$$M = 1/6 2300 4650 = 1782500 \text{ kgmm}$$

$$S_x = \frac{1444481066,7}{302} = 478414,128 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{1782500}{478414,128} = 3,726 \text{ kg/mm}^2 = 37,26 \text{ N/mm}^2 = 37,26 \text{ Mpa}$$

Nilai koefisien tekuk (k) pada sayap

$$F_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(b_t)^2}$$

$$k = \frac{F_{cr} 12 (1 - \mu^2)(b_t)^2}{\pi^2 E}$$

$$= \frac{37,26 \cdot 12 (1 - 0,3^2)(180_2)^2}{\pi^2 200000}$$

$$= 2,061$$

Nilai koefisien tekuk (k) pada badan

$$F_{cr} = \frac{k \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h_t)^2}$$

$$k = \frac{F_{cr} 12 (1 - \mu^2)(h_t)^2}{\pi^2 E}$$

$$= \frac{37,26 \cdot 12 (1 - 0,3^2)(600_2)^2}{\pi^2 200000}$$

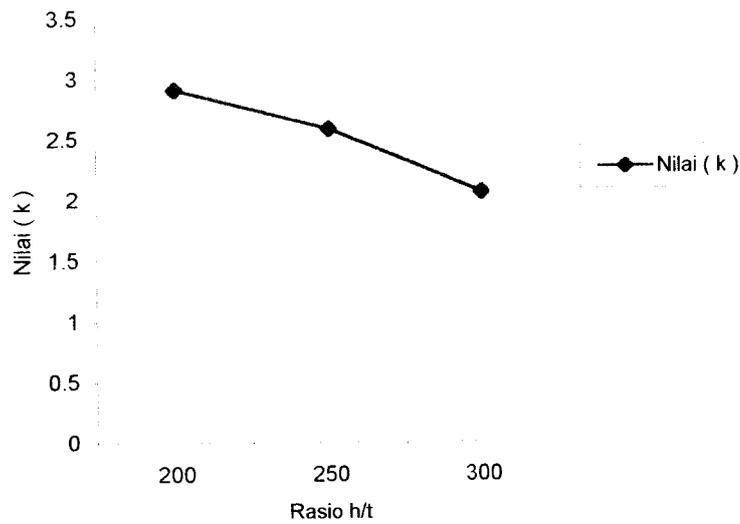
$$= 18,551$$

Hasil Pengujian Hubungan Nilai Koefisien Tekuk (k) dengan Rasio Tinggi terhadap Tebal (h/t) pada Sayap.

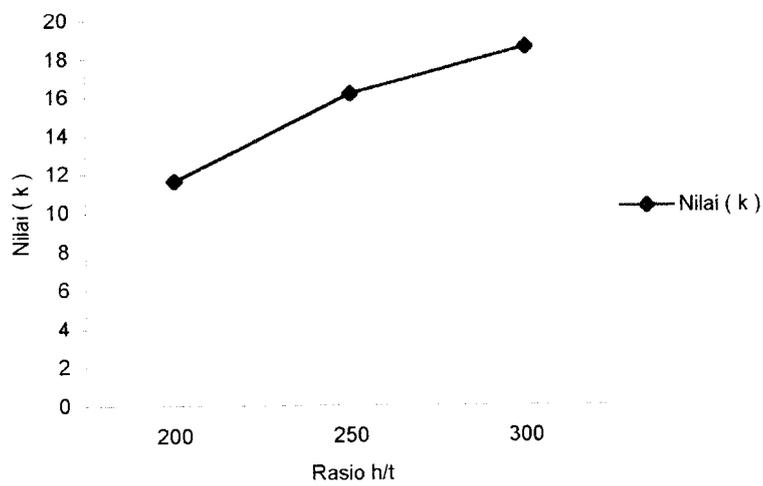
NO	Nilai Koefisien Tekuk (k)	Rasio h/t
1	0	0
2	2.905	200
3	2.582	250
4	2.061	300

Hasil Pengujian Hubungan Nilai Koefisien Tekuk (k) dengan Rasio Tinggi terhadap Tebal (h/t) pada Badan

NO	Nilai Koefisien Tekuk (k)	Rasio h/t
1	0	0
2	11.621	200
3	16.137	250
4	18.551	300



Grafik Hasil Penelitian Hubungan Nilai Koefisien Tekuk (k) dengan Rasio Lebar terhadap Tebal (h/t) pada sayap



Grafik Hasil Penelitian Hubungan Nilai Koefisien Tekuk (k) dengan Rasio Tinggi terhadap Tebal (h/t) pada badan.

LAMPIRAN 5

Hasil Pembebanan Benda Uji

Hasil Pengujian Beban Lendutan Lentur Benda Uji 1

NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	3.02	3.05	2.93
3	6	5.25	5.9	5.54
4	9	8.86	8.85	8.26
5	12	10.2	11.8	10.74
6	15	13.22	14.98	13.8
7	18	17.85	19.14	17.56
8	18	18.05	22.85	20.68
9	12	19.99	24.9	21.56
10	12	20.9	25.9	23.47
11	12	21.9	27.25	25.47
12	12	22.85	29	27.31
13	11.5	23.8	30.89	29.08

Hasil Pengujian Beban Lendutan Lentur Benda Uji 2

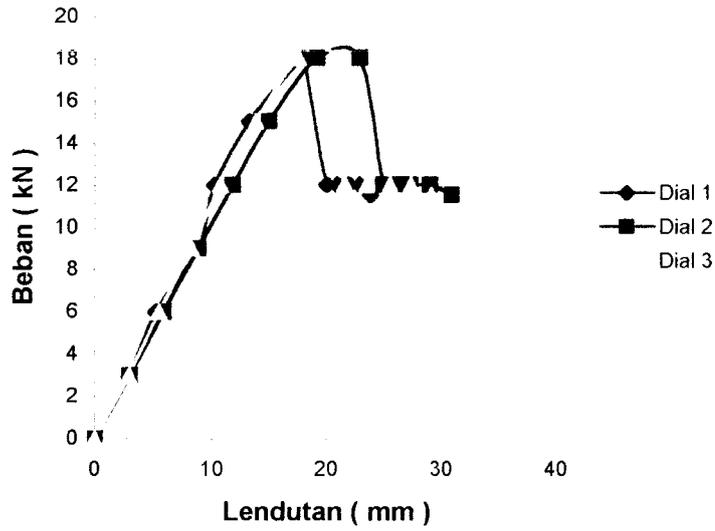
NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	2.3	3.3	2.18
3	6	4.87	4.72	4
4	9	5.45	6.48	5.18
5	12	7.94	8.25	6.95
6	15	8.81	10.44	8.93
7	18	10.61	12.55	10.25
8	21	12.25	14.54	12.21
9	22	13.6	16.45	13.4
10	17.5	14.1	17.1	14.3
11	18	15.8	18.1	15.44
12	18	16.55	19.05	16.96
13	18	16.85	20.09	18.01

Hasil Pengujian Beban Lendutan Lentur Benda Uji 3

NO	BEBAN (kN)	DEFLEKSI (mm)		
		dial 1	dial 2	dial 3
1	0	0	0	0
2	3	0.9	1	0.85
3	6	1.95	2.05	2.01
4	9	2.65	3.07	2.7
5	12	4.6	4.99	4.86
6	15	6.15	6.15	6.01
7	18	7.45	7.96	7.59
8	21	9.3	9.38	8.65
9	23	10.31	10.99	8.75
10	14	11.25	11.99	9.18
11	14	11.85	12.05	9.43
12	14	12.55	13.9	9.83
13	14	13.04	15.2	10.66

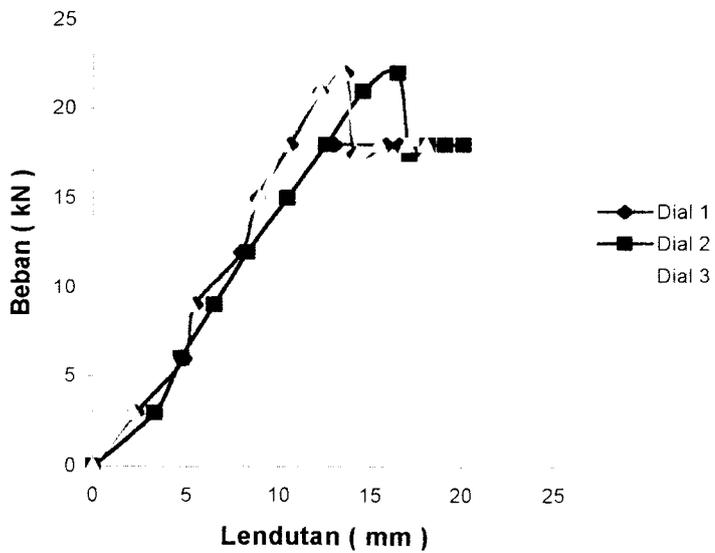
Benda uji 1

Grafik Hubungan Beban Lendutan Pengujian pada Benda Uji 1 (h = 400)



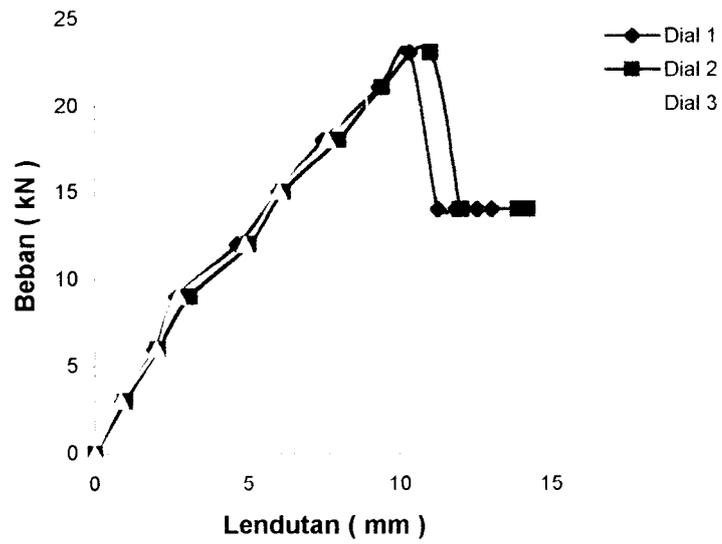
Benda Uji 2

Grafik Hubungan Beban Lendutan Pengujian pada Benda Uji 2 (h = 500)



Benda Uji 3

Grafik Hubungan Beban Lendutan Pengujian
pada Benda Uji 3 (h = 600)



LAMPIRAN 6

LAMPIRAN 6

Hubungan Momen- Kelengkungan Berdasarkan Pengujian.

Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Hasil Pengujian Benda Uji 1 (h = 400)

NO	BEBAN kN	defleksi (mm)			Momen (kNmm) $M = (1/6)PL$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
	0	0	0	0	0	0
1	3	3.02	3.05	2.93	2325	2.50E-07
2	6	5.25	5.9	5.54	4650	1.68E-06
3	9	8.86	8.85	8.26	6975	9.66E-07
4	12	10.2	11.8	10.74	9300	4.43E-06
5	15	13.22	14.98	13.8	11625	4.90E-06
6	18	17.85	19.14	17.56	13950	4.78E-06
7	18	18.05	22.85	20.68	13950	1.16E-05
8	12	19.99	24.9	21.56	9300	1.37E-05
9	12	20.9	25.9	23.47	9300	1.24E-05
10	12	21.9	27.25	25.47	9300	1.19E-05
11	12	22.85	29	27.31	9300	1.31E-05
12	12	23.8	30.89	29.08	9300	1.48E-05
13	11.5				8913	

Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Hasil Pengujian Benda Uji 2 (h = 500)

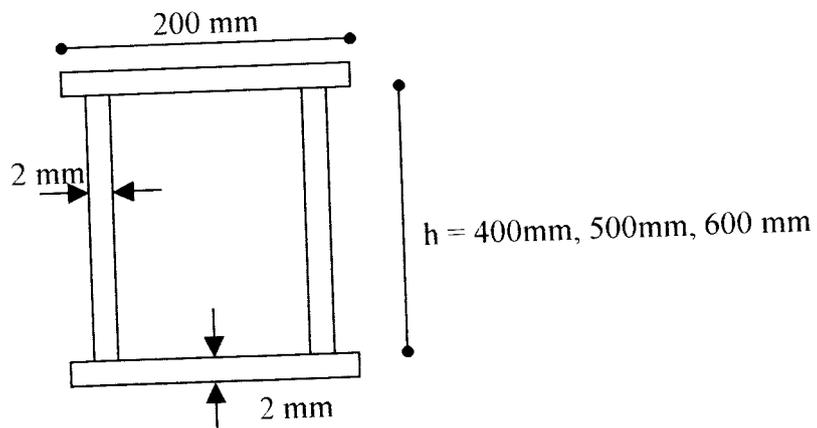
NO	BEBAN kN	defleksi (mm)			Momen (kNmm) $M = (1/6)PL$	Kelengkungan (1/mm)
		dial 1	dial 2	dial 3		
	0	0	0	0	0	0
1	3	2.3	3.3	2.18	2325	3.53E-06
2	6	4.87	4.72	4	4650	9.49E-07
3	9	5.45	6.48	5.18	6975	3.88E-06
4	12	7.94	8.25	6.95	9300	2.68E-06
5	15	8.81	10.44	8.93	11625	5.23E-06
6	18	10.61	12.55	10.25	13950	7.06E-06
7	18	12.25	14.54	12.21	16275	7.69E-06
8	21	13.6	16.45	13.4	17050	9.82E-06
9	22	14.1	17.1	14.3	13563	9.66E-06
10	17.5	14.1	17.1	14.3	13950	8.26E-06
11	18	15.8	18.1	15.44	13950	7.64E-06
12	18	16.55	19.05	16.96	13950	8.86E-06
13	18	16.85	20.09	18.01	13950	

Hubungan Momen-Kelengkungan Lentur Hasil Pengujian Benda Uji 3 (h = 600)

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	0.9	1	0	2325	4.16E-07
3	6	1.95	2.05	0.85	4650	2.33E-07
4	9	2.65	3.07	2.01	6975	1.32E-06
5	12	4.6	4.99	2.7	9300	8.66E-07
6	15	6	6.15	4.86	11625	4.83E-07
7	18	7.45	7.96	6.01	13950	1.47E-06
8	21	9.3	9.38	7.59	16275	1.35E-06
9	23	10.31	10.99	8.65	17825	4.86E-06
10	14	11.25	11.99	8.75	10850	5.91E-06
11	14	11.85	12.05	9.18	10850	4.70E-06
12	14	12.55	13.9	9.43	10850	9.02E-06
13	14	13.04	14.2	9.83	10850	7.83E-06

Perhitungan Momen (m) dengan Kelengkungan (ϕ) secara Teoritis pada Kondisi

Elastis.



Benda uji 1 (h = 400)

Kondisi elastis.

LAMPIRAN 6

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

$$F_{cr} = 72,305 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa} \quad S_{x \text{ profil}} = 265615,842 \text{ mm}^3$$

$$M = 72,305 \cdot 265615,842 = 19205353,46 \text{ Nmm}$$

$$= 19205,353 \text{ kNmm}$$

nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{72,305}{200000} = 3,6152 \cdot 10^{-4}$$

nilai kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{3,6152 \cdot 10^{-4}}{400/2} = 1,8076 \cdot 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

Benda uji 2 (h = 500)

Kondisi elastis.

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

$$F_{cr} = 69,123 \text{ Mpa} < F_y = 240 \text{ Mpa} \quad S_{x \text{ profil}} = 365348,148 \text{ mm}^3$$

$$M = 69,123 \cdot 365348,148 = 25253960,03 \text{ Nmm}$$

$$= 25253,960 \text{ kNmm}$$

nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{69,123}{200000} = 3,4562 \cdot 10^{-4}$$

nilai kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{3,4562 \cdot 10^{-4}}{500/2} = 1,3825 \cdot 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

Benda uji 3 (h = 600)

Kondisi elastis.

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

$$f_{cr} = 48,005 \text{ Mpa} < f_y = 240 \text{ Mpa} \quad S_{x \text{ profil}} = 478414,128 \text{ mm}^3$$

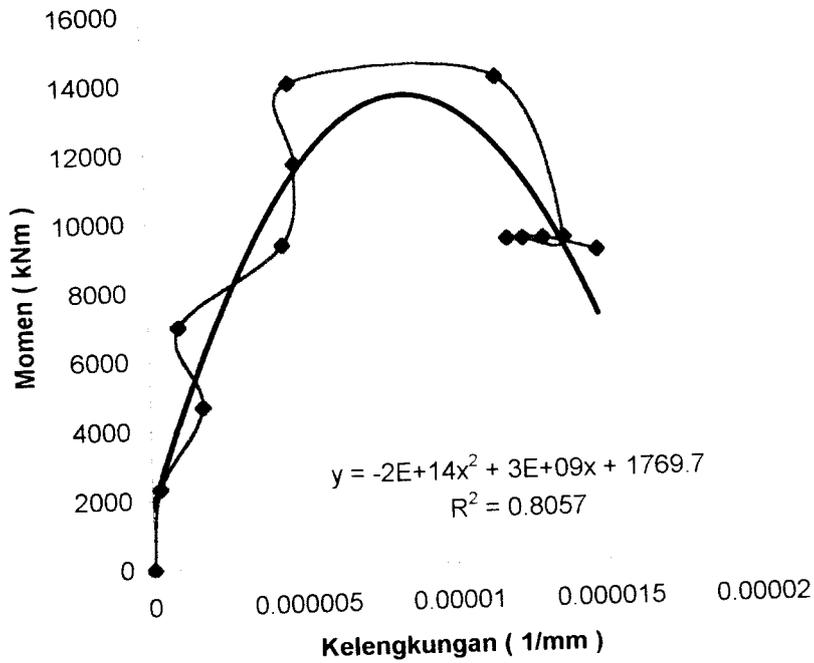
$$\begin{aligned} M &= 48,005 \cdot 478414,128 = 22966270,21 \text{ Nmm} \\ &= 22966,270 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

nilai regangan

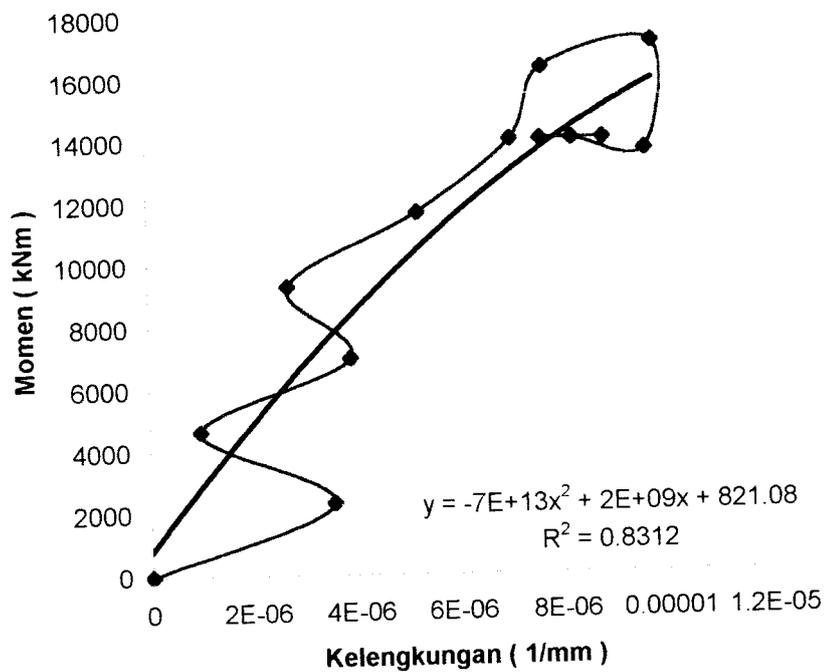
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{48,005}{200000} = 2,400 \cdot 10^{-4}$$

nilai kelengkungan

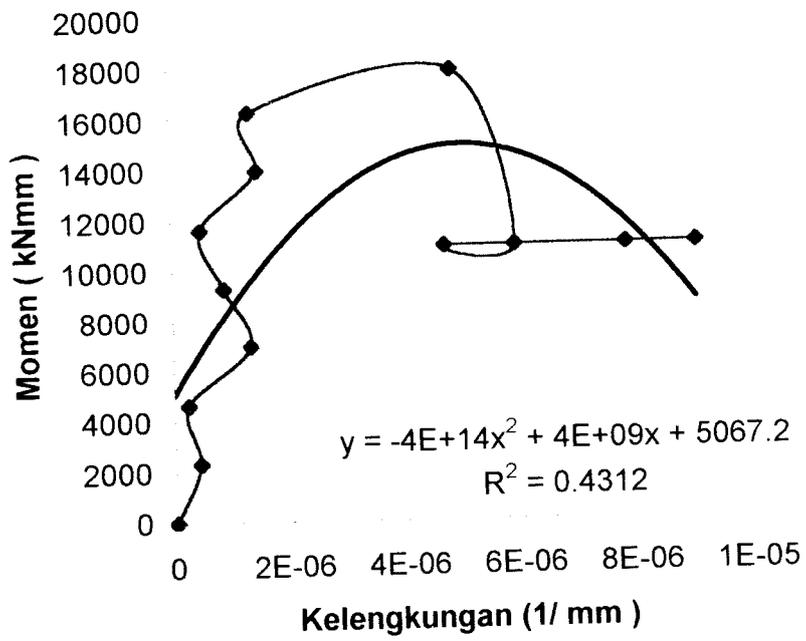
$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{2,400 \cdot 10^{-4}}{600/2} = 8,001 \cdot 10^{-7} \text{ 1/mm}$$



Grafik Hubungan Momen – Kelengkungan Lentur Benda Uji 1 (h = 400)



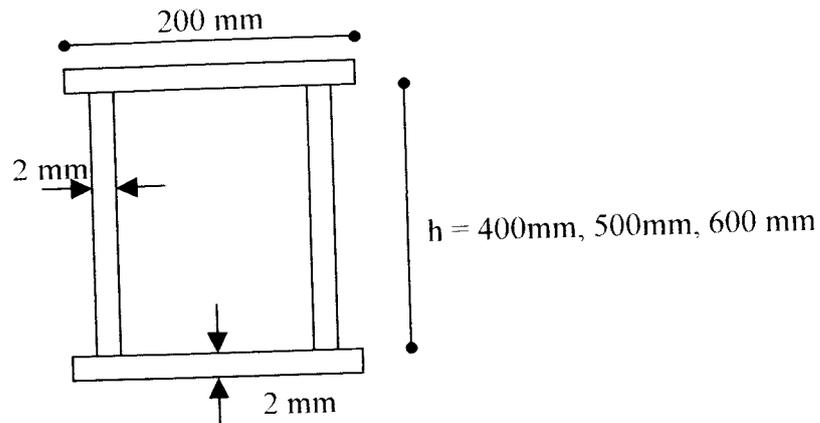
Grafik Hubungan Momen – Kelengkungan Lentur Benda Uji 2 (h/t = 500)



Grafik Hubungan Momen – Kelengkungan Lentur Benda Uji 3 (h = 600)

LAMPIRAN 7

**Perhitungan Rasio Momen Nominal (M_n) terhadap Momen Leleh (M_y)
secara Teoritis**



Benda uji 1 ($h/t = 200$)

$$\frac{M_n}{M_y} = \left[1 - 0,0005 \frac{2 A_w}{2 A_f} \left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \right]$$

$$\frac{M_n}{M_y} = \left[1 - 0,0005 \frac{2(2400)}{2(2200)} \left(\frac{400}{2} - \frac{970}{\sqrt{72,305}} \right) \right]$$

$$\frac{M_n}{M_y} = 0,9141$$

Benda uji 2 ($h/t = 250$)

$$\frac{M_n}{M_y} = \left[1 - 0,0005 \frac{2 A_w}{2 A_f} \left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \right]$$

$$\frac{M_n}{M_y} = \left[1 - 0,0005 \frac{2(2500)}{2(2200)} \left(\frac{500}{2} - \frac{970}{\sqrt{69,123}} \right) \right]$$

$$\frac{M_n}{M_y} = 0,8334$$

Benda uji 3 (h/t = 300)

$$\frac{Mn}{My} = \left[1 - 0,0005 \frac{2 Aw}{2 Af} \left(\frac{h}{tw} - \frac{970}{\sqrt{F'cr}} \right) \right]$$

$$\frac{Mn}{My} = \left[1 - 0,0005 \frac{2(2600)}{2(2200)} \left(\frac{600}{2} - \frac{970}{\sqrt{48,005}} \right) \right]$$

$$\frac{Mn}{My} = 0,7600$$

Perhitungan Rasio Momen Nominal (Mn) terhadap Momen Leleh (My)

Pengujian**Benda Uji 1 (h/t = 200)**

$$\frac{Mn}{My} = \frac{F'cr_{pengujian} \cdot Sx_{profil}}{Fy \cdot Sx_{profil}}$$

$$\frac{Mn}{My} = \frac{52,52 \frac{N}{mm^2} \cdot 53654400 \text{ mm}^3}{240 \frac{N}{mm^2} \cdot 53654400 \text{ mm}^3}$$

$$\frac{Mn}{My} = 0,2188$$

Benda Uji 2 (h/t = 250)

$$\frac{Mn}{My} = \frac{F'cr_{pengujian} \cdot Sx_{profil}}{Fy \cdot Sx_{profil}}$$

$$\frac{Mn}{My} = \frac{46,67 \frac{N}{mm^2} \cdot 92067733,34 \text{ mm}^3}{240 \frac{N}{mm^2} \cdot 92067733,34 \text{ mm}^3}$$

$$\frac{Mn}{My} = 0,1945$$

Benda Uji 3 (h/t = 300)

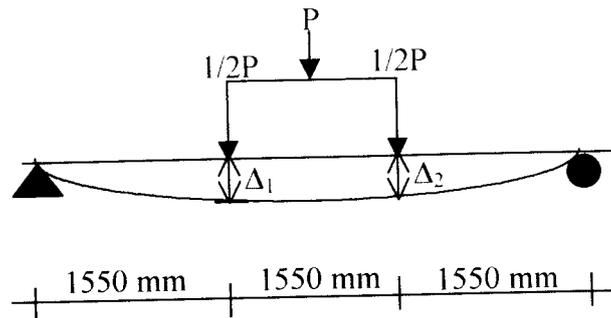
$$\frac{Mn}{My} = \frac{Fcr_{\text{pengujian}} \cdot Sx_{\text{profil}}}{Fy \cdot Sx_{\text{profil}}}$$

$$\frac{Mn}{My} = \frac{37,26 \frac{N}{mm^2} \cdot 144481066,7 \text{ mm}^3}{240 \frac{N}{mm^2} \cdot 144481066,7 \text{ mm}^3}$$

$$\frac{Mn}{My} = 0,1553$$

LAMPIRAN 8

Perhitungan Lendutan Secara Teoritis



Benda Uji 1 (h = 400)

$$\text{Lendutan teori } \Delta = \frac{23P L^3}{648 EI}$$

$$P = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} 24,781 = 12,3905 \text{ kN} = 12390,5 \text{ N}$$

$$EI = 200000 \cdot 53654400$$

$$EI = 1,073 \cdot 10^{13}$$

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

$$a = 1550 \text{ mm}$$

$$\Delta_1 = \Delta_2 = \frac{23 \cdot 12390,5 \cdot 1550^3}{648 \cdot 1,073 \cdot 10^{13}}$$

$$\Delta \text{ teoritis} = 16,184 \text{ mm}$$

Benda uji 2 (h = 500)

$$\text{Lendutan teori } \Delta = \frac{23P L^3}{648 EI}$$

$$P = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} 32,845 = 16,4225 \text{ kN} = 16422,5 \text{ N}$$

$$EI = 200000 \cdot 92067733,34$$

$$EI = 1,8414 \cdot 10^{13}$$

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

$$a = 1550 \text{ mm}$$

$$\Delta_1 = \Delta_2 = \frac{23 \cdot 16422,5 \cdot 1550^3}{648 \cdot 1,8414 \cdot 10^{13}}$$

$$\Delta \text{ teoritis} = 7,485 \text{ mm}$$

Benda Uji 3 (h = 600)

$$\text{Lendutan teori } \Delta = \frac{23P L^3}{648 EI}$$

$$P = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} 29,830 = 14,915 \text{ kN} = 14915 \text{ N}$$

$$EI = 200000 \cdot 144481066,67$$

$$EI = 2,8896 \cdot 10^{13}$$

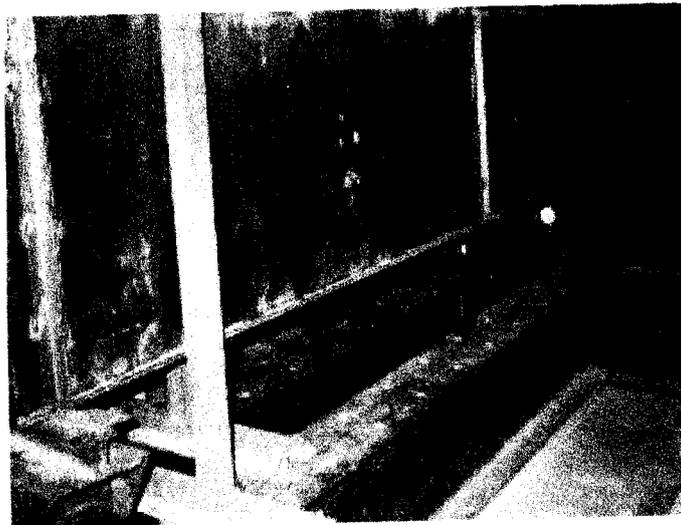
$$L = 4650 \text{ mm}$$

$$a = 1550 \text{ mm}$$

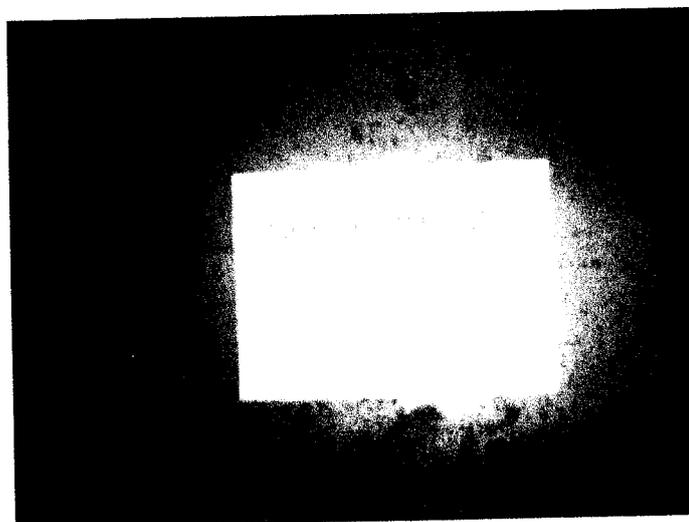
$$\Delta_1 = \Delta_2 = \frac{23 \cdot 14915 \cdot 1550}{648 \cdot 2,8896 \cdot 10^{13}}$$

$$\Delta \text{ teoritis} = 4,16 \text{ mm}$$

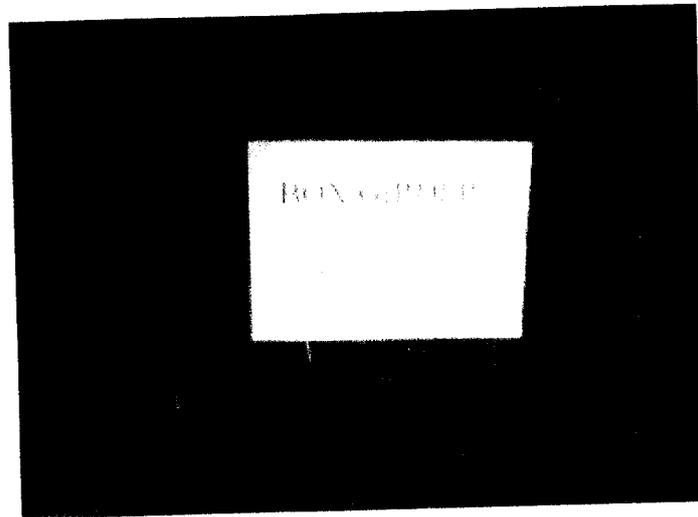
LAMPIRAN 9



Benda Uji sebelum dilakukan Pengujian.



Benda uji 2 sebelum dilakukan pengujian.



Benda uji sebelum dilakukan pengujian



Pengujian Lentur Benda Uji



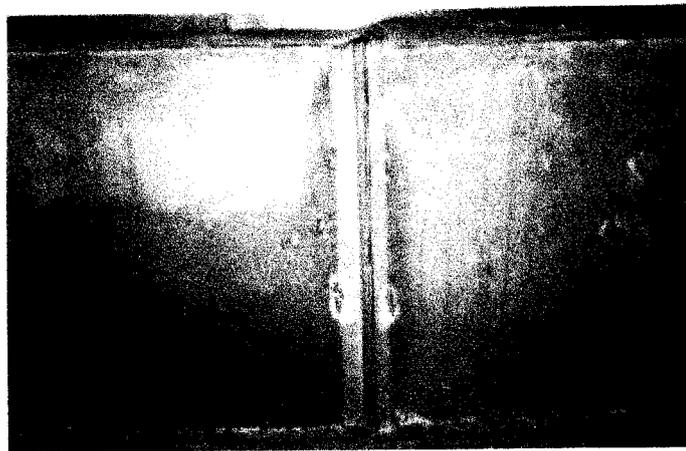
Pengujian Lentur Benda Uji



Kerusakan yang terjadi pada benda uji



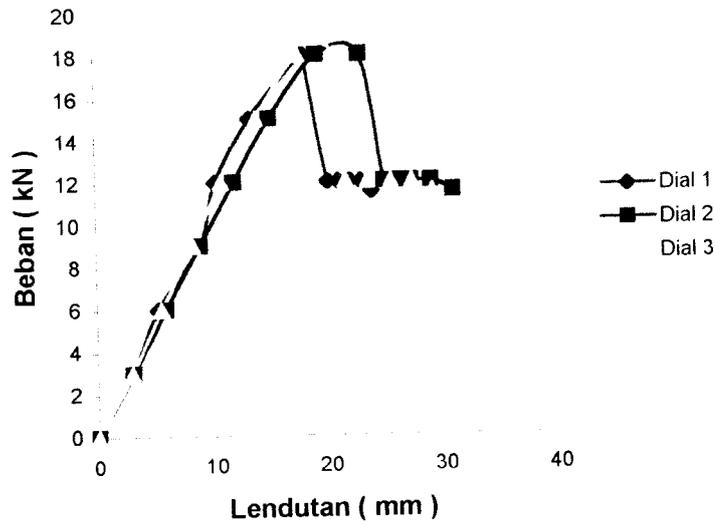
Kerusakan yang terjadi pada benda uji



Kerusakan yang terjadi pada benda uji.

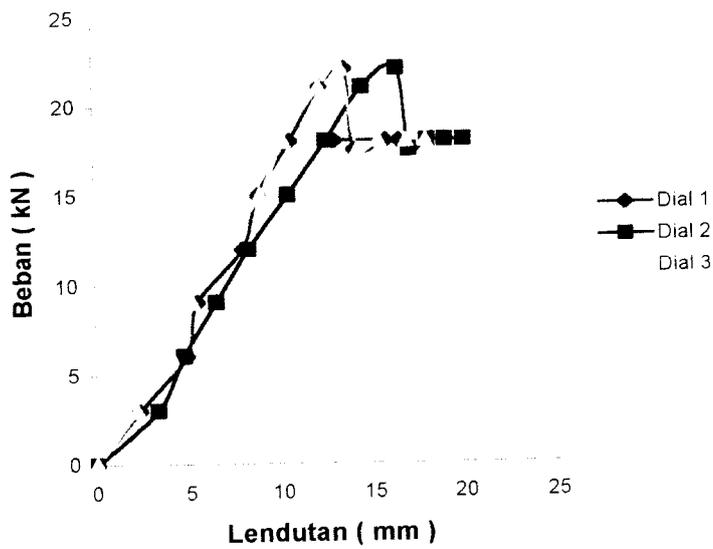
Benda uji 1

Grafik Hubungan Beban Lendutan Pengujian pada Benda Uji 1 (h = 400)



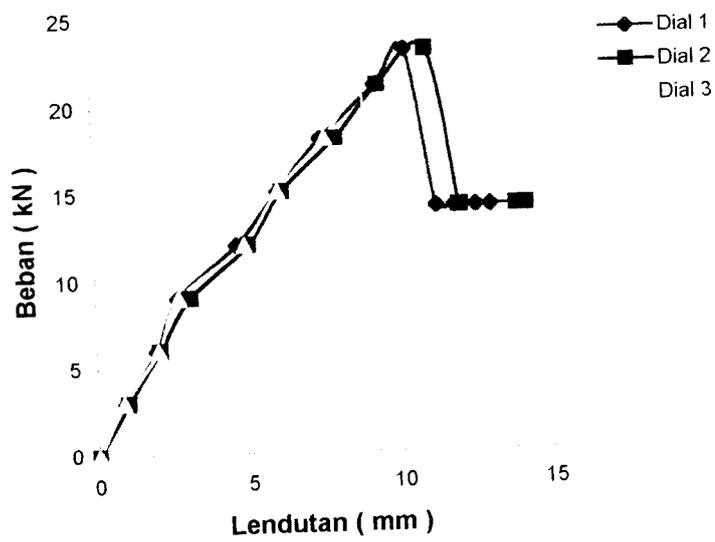
Benda Uji 2

Grafik Hubungan Beban Lendutan Pengujian pada Benda Uji 2 (h = 500)



Benda Uji 3

Grafik Hubungan Beban Lendutan Pengujian pada Benda Uji 3 (h = 600)



LAMPIRAN 6