

PERPUSTAKAAN FTSP UII
HADIAH/BELI

TGL. TERIMA : 29 - 5 - 2003
NO. JUDUL : 060417
NO. INV. : 512 0000417 001
NO. INDUK :

TUGAS AKHIR

5120000417001

**KUAT LENTUR GELAGAR PELAT
PENAMPANG KOTAK DENGAN VARIASI RASIO
TINGGI TERHADAP TEBAL PELAT BADAN**



Disusun oleh :

Lilik Ariyanto 98 511 268

Sigit Marwoto 98 511 036

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

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

KUAT LENTUR GELAGAR PELAT PENAMPANG KOTAK DENGAN VARIASI RASIO TINGGI TERHADAP TEBAL PELAT BADAN

Disusun Oleh :

Nama : Lilik Ariyanto
No. Mhs : 98 511 268

Nama : Sigit Marwoto
No. Mhs : 98 511 036

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Fatkhurrohman N, MT
Dosen Pembimbing I


Tanggal : 25/3/03

Ir. H. Suharyatmo, MT
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 24/3/03

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. Nenek Kakek yang tercinta.
3. Kekasihku tersayang,
4. Adik-adikku tersayang.
5. Teman-teman dekatku terkasih.
6. Para pembaca sekalian.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, hidayah dan inayah-Nya yang membuat segalanya menjadi mungkin sehingga pada saat ini penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir sebagai salah satu persyaratan kelulusan sarjana 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. Fatkhurrohman N, MT selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Ir. Suharyatmo, 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, Maret 2003

Penulis

DAFTAR ISI

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

BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	5
BAB III	LANDASAN TEORI	8
	3.1 Gelagar Pelat	8
	3.2 Stabilitas Pelat	11
	3.3 Tekuk pada Sayap	13
	3.4 Lentur pada Bidang Badan	16
	3.5 Tekuk Akibat Geser	21
	3.5.1 Tekuk elastis akibat geser murni	21
	3.5.2 Tekuk inelastis akibat geser murni	23
	3.6 Kekuatan Geser	23
	3.7 Hubungan Beban Lendutan	24
	3.8 Hubungan Momen dengan Kelengkungan	26
	3.9 Nilai Koefisien Kekakuan	33
	3.10 Pengaku Dukung/Landasan	34
	3.11 Daktilitas	36
	3.12 Pengelompokan Baja Berdasarkan Tegangan Leleh ...	37
BAB IV	METODE PENELITIAN	38
	4.1 Bahan Penelitian	38
	4.2 Model Benda Uji	38
	4.2.1 Benda uji pendahuluan.....	38
	4.2.2 Benda uji gelagar pelat penampang kotak.....	39
	4.3 Peralatan Pengujian	40
	1. Mesin uji kuat tarik.....	40

2	<i>Loading Frame</i>	40
3.	<i>Dial Gauge</i>	41
4	<i>Hdraulic Jack</i>	42
4.4	Pembuatan Benda Uji	42
4.5	Langkah-Langkah Pengujian	43
4.5.1	Uji tarik baja	43
4.5.2	Uji desak pelat	43
4.6	Prosedur Penelitian.....	44
BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	45
5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	45
5.2	Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat	
	Penampang Kotak	45
5.2.1	Hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis.....	46
5.2.2	Hubungan beban (P) dengan tinggi gelagar (h) dalam kondisi tebal pelat gelagar (t) tetap pengujian dan teoritis	49
5.2.3	Hubungan nilai koefisien tekuk pelat (k) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw)	50
5.2.4	Hubungan nilai tegangan tekuk elastis (F_{cr}) dengan tinggi gelagar (h) pengujian dan teoritis	52

5.2.5 Hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) pengujian dan teoritis.....	52
5.2.6 Hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur pengujian dan teoritis.....	54
5.3 Analisa Data Hubungan Beban (P) dengan Lendutan (Δ) Lentur (vertikal) Pengujian dan Teoritis.....	56
5.4 Analisa Data Hubungan Beban (P) dengan Tinggi Gelagar (h) dalam Kondisi Tebal (t) Pelat Gelagar Tetap Pengujian dan Teoritis.....	57
5.5 Analisa Hasil Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk Pelat (k).....	58
5.6 Analisa Hubungan Nilai Tegangan Tekuk Elastis (F_{cr}) dengan Tinggi Gelagar (h) Pengujian dan Teoritis.....	58
5.7 Analisa Rasio Momen Nominal terhadap Momen Leleh (M_n/M_y) dengan Rasio Tinggi terhadap Tebal Pelat Badan (h/t_w) ... Pengujian dan Teoritis.....	59
5.8 Analisa Data Hubungan Momen (M) dengan Kelengkungan (ϕ) Lentur vertikal Pengujian dan Teoritis.....	59
5.9 Analisa Kerusakan Pada Benda Uji	60

5.10 Pembahasan.....	61
5.10.1 Kuat tarik baja berdasarkan hasil pengujian kuat tarik baja.....	61
5.10.2 Kuat lentur vertikal gelagar pelat penampang kotak berdasarkan hubungan beban (P) dengan lendutan lentur (Δ) vertikal pengujian dan teoritis.....	61
5.10.3 Hubungan beban dengan tinggi gelagar dalam kondisi tebal pelat gelagar tetap pengujian dan teoritis.....	62
5.10.4 Kuat lentur gelagar pelat penampang kotak ditinjau dari hubungan nilai koefisien tekuk pelat (k) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw).....	62
5.10.5 Hubungan nilai tegangan tekuk elastis (F_{cr}) dengan tinggi gelagar pelat (h) pengujian dan teoritis.....	63
5.10.6 Hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw) pengujian dan teoritis.....	64
5.10.7 Kekakuan lentur pelat berdasarkan hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) pengujian dan teoritis.....	64

	LAMPIRAN	
	DAFTAR PUSTAKA	69
	6.2 Saran	68
	6.1 Kesimpulan	66
66	BAB VI KESIMPULAN	

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3.1** Potongan melintang gelagar pelat penampang kotak
- Gambar 3.2** Komponen gelagar pelat penampang kotak
- Gambar 3.3** Model pembebanan dan distribusi tegangan
- Gambar 3.4** Gaya-gaya benda bebas yang terlibat dalam rotasi terhadap sumbu y
- Gambar 3.5** Koefisien tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana
- Gambar 3.6** Koefisien tekuk elastis pada pelat segi empat
- Gambar 3.7** Defleksi tekuk pelat pada sayap (jepit-jepit)
- Gambar 3.8** Koefisien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni
- Gambar 3.9** Kekakuan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada pelat badan : baja A 36
- Gambar 3.10** Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak
- Gambar 3.11** Perbandingan antara tekuk pelat dengan tekuk kolom
- Gambar 3.12** Teori geser klasik
- Gambar 3.13** Lendutan balok
- Gambar 3.14** Diagram momen
- Gambar 3.15** Diagram geser
- Gambar 3.16** Hubungan beban dan lendutan pada balok
- Gambar 3.17** Deformasi sekmen balok dalam lenturan

Gambar 3.18 Momen kelengkungan

Gambar 3.19 Grafik hubungan momen-kelengkungan

Gambar 3.20 Penampang lintang efektif pengaku tumpu

Gambar 4.1 Model benda pendahuluan untuk mendapatkan tegangan leleh (f_y) dari pelat baja

Gambar 4.2 Perletakan gelagar dan dukunganya serta detail dukungana

Gambar 4.3 Universal testing material shimatzu UMH 30

Gambar 4.4 *Loading Frame*

Gambar 4.5 *Dial Gauge*

Gambar 4.6 *Hidraulik Jack*

Gambar 4.7 Bagan alir penelitian

Gambar 5.1 Grafik hubungan beban lendutan lentur (vertikal) keempat benda uji

Gambar 5.2 Hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) teoritis dengan pengujian benda uji 1

Gambar 5.3 Hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) teoritis dengan pengujian benda uji 2

Gambar 5.4 Hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) teoritis dengan pengujian benda uji 3

Gambar 5.5 Hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) teoritis dengan pengujian benda uji 4

Gambar 5.6 Grafik hubungan beban (P) dengan tinggi gelagar (h) pengujian dan teoritis

Gambar 5.7 Grafik hubungan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) dengan koefisien tekuk pelat badan (k)

Gambar 5.8 Grafik hubungan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) dengan koefisien tekuk pelat sayap (k)

Gambar 5.9 Grafik hubungan tegangan lentur (f_{cr}) dengan tinggi gelagar (h) pengujian dan teoritis

Gambar 5.10 Grafik hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) pengujian

Gambar 5.11 Grafik hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) teoritis

Gambar 5.12 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur vertikal pengujian dan teoritis benda uji 1

Gambar 5.13 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur vertikal pengujian dan teoritis benda uji 2

Gambar 5.14 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur vertikal pengujian dan teoritis benda uji 3

Gambar 5.15 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur vertikal pengujian dan teoritis benda uji 4

DAFTAR TABEL

- Tabel 5.1** Hasil pengujian kuat tarik baja
- Tabel 5.2** Analisa perbandingan beban (P) terhadap lendutan (Δ) secara teoritis dengan pengujian
- Tabel 5.3** Data hubungan nilai beban (P) terhadap tinggi gelagar (h) pengujian dan teoritis
- Tabel 5.4** Analisa hubungan nilai koefisien kekakuan pelat (k) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw)
- Tabel 5.5** Analisa hubungan tegangan lentur (F_{cr}) dengan tinggi gelagar (h) pengujian dan teoritis
- Tabel 5.6** Analisa rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw) pengujian
- Tabel 5.7** Analisa rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw) teoritis
- Tabel 5.8** Analisa kekakuan lentur (EI) dari hubungan momen (M) dengan kelengkungan lentur (ϕ) vertikal pengujian dan teoritis
- Tabel 5.9** Analisa daktilitas berdasarkan hubungan momen (M) terhadap kelengkungan (ϕ)

DAFTAR NOTASI

a	= Jarak antar pengaku = Jarak beban terpusat dari dukungan
A_e	= Luas efektif = Luas kolom
A_f	= Luas bruto sebuah flens
A_w	= Luasan badan
b_f	= Lebar flens
C_c	= Rasio kerampingan KL/r yang memisahkan antara kolom panjang dan pendek ASD
C_v	= Rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan geser leleh
d	= Nilai geser maksimum
E	= Modulus elastisitas
EI	= Faktor kekakuan lentur
F_a	= Tegangan kolom ijin
F_{cr}	= Tegangan kritis
F_y	= Tegangan leleh
F_{yw}	= Tegangan leleh untuk badan
h	= Kedalaman, tinggi pelat badan

I_e	= Inersia efektif
I_x	= Momen inersia sumbu x
k	= Koefisien tekukan pelat
L	= Panjang bentang
M_{cr}	= Kekuatan momen tekuk puntir lateral elastik
M_p	= Kekuatan momen elastis
M_u	= Momen beban layanan terfaktor
M_y	= Momen menurut sumbu y bila lentur biaksial diperhitungkan = Momen leleh
p	= Beban aksial layanan
r	= Jari-jari girasi
S	= Modulus penampang elastis
t	= Ketebalan
t_f	= Tebal flens (sayap)
t_w	= Tebal badan
v	= Tegangan geser
v_n	= Kekuatan geser nominal
z	= Modulus plastis
ε	= Regangan
Δ	= Defleksi atau lendutan
Δ_y	= Lendutan pada saat beban maksimum
λ	= Rasio kerampingan untuk pelat
λ_c	= Parameter kerampingan

- λ_p = Rasio kerampingan maksimum untuk elemen kompak
- μ = Rasio poisson
- ϕ = Koefisin resistensi = 0,85
- τ = Tegangan geser
- τ_{cr} = Tegangan tekuk geser
- τ_y = Tegangan leleh geser
- θ = Sudut rotasi
- K = kappa
- ϕ = Kelengkungan
- ρ = Rasio luas penampang lintang badan A_w terhadap luas penampang A_f
salah satu flens
- σ = Tegangan pada flens
- π = Konstanta = 3,15

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** = Kartu Peserta Tugas Akhir
- Lampiran 2** = Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja
- Lampiran 3** = Hubungan Beban-Lendutan Pengujian
- Lampiran 4** = Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk Pelat (k)
- Lampiran 5** = Perhitungan Nilai Tegangan Lentur Kritis (F_{cr}) Pengujian dan Teoritis
- Lampiran 6** = Perhitungan Beban (P) Teoritis Lentur dan Geser
- Lampiran 7** – Perhitungan Momen (M) dengan Kelengkungan (ϕ) Pengujian
- Lampiran 8** = Perhitungan Momen (M) dengan Kelengkungan (ϕ) Teoritis
- Lampiran 9** = Foto Pelaksanaan Pengujian Benda Uji

ABSTRAKSI

Gelagar pelat adalah komponen struktur tersusun yang dibuat untuk memenuhi profil yang tidak bisa dipenuhi oleh profil giling. Gelagar pelat biasanya mempunyai rasio tinggi terhadap tebal pelat cukup besar, sehingga kondisi batas kekuatan dibatasi oleh masalah instabilitas. Elemen gelagar pelat penampang kotak terdiri dari elemen-elemen yang diperkuat sehingga cukup kaku untuk mencegah terjadinya kegagalan dini.

Penelitian eksperimental terhadap gelagar pelat penampang kotak ini menggunakan empat benda uji dengan panjang bentang (L) konstan, tebal pelat (t) konstan, dan tinggi gelagar (h) bervariasi yaitu, 200 mm, 324 mm, 550 mm, 640 mm. Tujuan penelitian ini untuk mencari hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ), hubungan beban dengan tinggi gelagar, hubungan nilai koefisien tekuk pelat (k) dengan rasio kerampingan tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w), nilai tegangan tekuk elastis pelat (F_{cr}), hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio kerampingan tinggi terhadap tebal pelat badan, hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ).

Hasil dari penelitian eksperimental ini diperoleh bahwa benda uji dengan tinggi gelagar besar mempunyai kuat lentur vertikal lebih besar dari pada tinggi gelagar kecil dalam kondisi tebal pelat badan tetap. Semakin besar nilai tinggi gelagar maka, kemampuan menahan beban vertikal lebih besar. Nilai koefisien tekuk pelat badan semakin besar dan nilai koefisien tekuk pelat sayap semakin kecil. Kuat lentur gelagar pelat penampang kotak dipengaruhi oleh nilai tinggi gelagar atau tebal pelat badan yang salah satunya bernilai variabel. Pada hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat diperoleh grafik yang hampir sama dengan profil I, dan diperoleh hasil bahwa keempat benda uji rawan terhadap tekuk lentur. Dari perhitungan momen kelengkungan didapatkan nilai kekakuan lentur pelat (EI) yang nilainya semakin besar untuk rasio tinggi terhadap tebal pelat yang semakin besar. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa pemakaian nilai tinggi gelagar pelat (h) besar pada kondisi tebal pelat badan (t_w) konstan lebih kuat menahan lentur sehingga dengan bentang panjang akan lebih ekonomis. Dengan demikian nilai dari tinggi gelagar pelat mempengaruhi kekuatan dari gelagar pelat tersebut.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja struktural merupakan salah satu material struktur yang banyak digunakan sebagai komponen struktur bangunan sipil, karena gaya persatuan luas yang dapat dipikul oleh baja struktural relatif besar. Baja struktural yang tersedia mempunyai keterbatasan ukuran dan kekuatan, sehingga kebutuhan balok dengan momen inersia besar tidak dapat terpenuhi oleh baja struktural yang ada. Salah satu alternatif adalah dengan membentuk modifikasi baja struktural. Gelagar pelat yang tersusun dari pelat tipis merupakan salah satu bentuk modifikasi.

Gelagar pelat merupakan komponen struktur lentur tersusun dari beberapa elemen-elemen pelat. Karena gelagar pelat disusun dari elemen pelat maka perilaku gelagar pelat dipengaruhi oleh pelat. Untuk itu diperlukan inovasi untuk mendapatkan susunan struktur yang baik sehingga dapat terhindar dari pola kegagalan dini yaitu, tekuk lokal pada sayap, tekuk lokal pada badan balok dan tekuk puntir lateral. Gelagar pelat penampang kotak merupakan struktur dengan perilaku yang lebih stabil dibandingkan dengan penampang I. Ini dikarenakan elemen-elemen pelat ditumpu sederhana secara menerus pada kedua sisi sayapnya, sehingga akan memperbesar nilai koefisien tekuk pelat (k) baik pada tekuk tekan, lentur dan geser

yang mengakibatkan nilai kuat lentur (F_{cr}) besar. Nilai k dipengaruhi oleh jenis tegangan, rasio aspek a/b dan derajat pengekanan di tepi pelat. Gelagar pelat bernilai ekonomis bila rasio tinggi terhadap tebal (h/t) besar, akan tetapi rasio tinggi terhadap tebal besar tegangan kritis elemen pelat rendah. Melihat fenomena tersebut timbul pemikiran untuk meneliti hubungan kuat lentur (F_{cr}), koefisien tekuk pelat (k) pada gelagar pelat penampang kotak dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal (h/t) pelat badan.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi rasio tinggi terhadap tebal (h/t) pelat badan terhadap nilai koefisien tekuk pelat (k) dan kuat lentur (F_{cr}) gelagar pelat penampang kotak.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengetahui perilaku gelagar pelat dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w), yaitu :

1. Memperoleh hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) pengujian dan teoritis gelagar pelat penampang kotak
2. Memperoleh hubungan beban (P) dengan tinggi gelagar (h) pengujian dan teoritis.
3. Memperoleh hubungan nilai koefisien tekuk pelat (k) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w).
4. Memperoleh nilai kuat lentur (F_{cr}) pengujian dan teoritis gelagar pelat penampang kotak

5. Memperoleh hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n / M_y) dengan rasio kerampingan tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) pengujian dan teoritis gelagar pelat penampang kotak.
6. Memperoleh hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur dan faktor kekakuan lentur (EI) pengujian dan teoritis.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memperoleh desain gelagar pelat penampang kotak yang mempunyai kekuatan menahan beban vertikal besar dan lendutan yang dihasilkan kecil dari gelagar pelat penampnag kotak.
2. Memperoleh desain gelagar pelat penampang kotak yang mempunyai kekuatan menahan beban vertikal besar dari penelitian gelagar pelat penampang kotak dengan variasi tinggi gelagar.
3. Memperoleh nilai kocsisien tekuk pelat yang besar dari berbagai rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) yang dapat digunakan dalam perencanaan.
4. Memperoleh struktur gelagar pelat penampang kotak yang mempunyai kuat lentur besar dengan variasi rasio tinggi (h) terhadap tebal (t) pelat badan.
5. Memperoleh struktur gelagar pelat penampang kotak yang mempunyai kapasitas kekuatan besar dari pengujian dengan berbagai variasi rasio tinggi terhadap tebal pelat badan.
6. Memperoleh struktur gelagar pelat penampang kotak yang mempunyai nilai kekakuan lentur yang besar dengan berbagai variasi tinggi gelagar sehingga dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan bangunan struktur baja dengan menggunakan gelagar pelat penampang kotak.

7. Sebagai bahan masukan bagi pembaca untuk menambah wawasan serta pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan gelagar pelat penampang kotak.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir pada penelitian kuat lentur gelagar pelat bentuk penampang kotak dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal adalah sebagai berikut ini,

1. Benda uji berupa gelagar pelat penampang kotak dengan tinggi (h) bervariasi, tebal pelat (t) konstan = 2 mm, panjang bentang $L = 4800$ mm.
2. Penampang gelagar pelat dibentuk dengan alat sambung las listrik. Mutu baja yang digunakan adalah baja dengan tegangan leleh, $F_y = 240$ MPa.
3. Pengujian kuat lentur dengan pembebanan statis secara bertahap.
4. Tinggi gelagar pelat penampang kotak (h) : 200 mm; 324 mm ; 550 mm ; 640 mm, dengan rasio antara tebal pelat sayap terhadap pelat badan (T/t) konstan = 1.
5. Jumlah sampel sebanyak 4 buah.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian uji desak gelagar pelat di lakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Sedangkan untuk uji tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Gelagar pelat adalah suatu balok yang dibuat dari elemen-elemen pelat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien daripada yang mungkin diperoleh dengan balok tempa. Menurut **Salmon dan Johnson,(1996)**, kekuatan geser dan lentur pelat pada umumnya berkaitan dengan badan balok. Badan balok yang “**ramping**” dapat menyebabkan sejumlah persoalan sebagai berikut ini,

1. Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan balok itu untuk memikul bagian elastis dari momen lentur.
2. Tekuk flens tekan dari arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah terjadinya tekuk sedemikian rupa.
3. Tekuk karena geser.

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Ini diukur dalam bentuk gaya yang ditimbulkan persatuan luas. Tegangan yang dihasilkan pada keseluruhan benda tergantung dari gaya yang bekerja (**Jensen dan Chenoweth,1989**).

Tegangan kritis elemen pelat bergantung pada nilai koefisien (k), dan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw). Semakin besar nilai koefisien kekakuan

pelat dan semakin kecil rasio tinggi terhadap tebal pelat nilai tegangan kritis elemen pelat semakin besar (Salmon dan Johnson,1996).

Kekakuan adalah sifat yang didasarkan pada sejauh mana bahan mampu menahan perubahan bentuk. Ukuran kekakuan satu bahan adalah modulus elastisitasnya, yang diperoleh dengan membagi tegangan satuan dengan perubahan bentuk satuan-satuan yang disebabkan oleh tegangan tersebut (Jensen dan Chenoweth,1989).

Nilai koefisien kekakuan (k) merupakan sebuah konstanta yang tergantung pada tipe tegangan, kondisi tumpuan tepi, dan rasio panjang terhadap lebar (rasio aspek) dari pelat yang bersangkutan, modulus elastis (E), rasio Poisson (μ), dan rasio lebar terhadap tebal (b/t), Salmon dan Johnson,(1992).

Banyaknya pengaruh gelombang yang terjadi dalam arah x pada saat tekuk dan aspek rasio tinggi terhadap lebar balok mempengaruhi besarnya nilai koefisien tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata tepi longitudinal bertumpuan sederhana (Salmon dan Johnson, 1992).

Nilai koefisien tekuk elastis pada pelat segi empat datar yang menerima lentur dipengaruhi oleh aspek rasio lebar terhadap tinggi serta jenis tumpuan pelat . Pembebanan tepi merata pada pelat segi empat yang dijepit pada kedua sisinya menimbulkan defleksi tekuk pelat pada sayap (Salmon dan Johnson, 1992).

Nilai koefisien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni, dipengaruhi oleh rasio lebar terhadap tinggi pelat dan nilai kekakuan terhadap rotasi tepi (dari Handbook of Structural Stability, Vol. 1 [6.69](p. 92)). Jika pelat biasa dianggap jepit sempurna (pengekangan sempurna terhadap rotasi tepi) sepanjang tepi yang

sejajar arah pembebanan (yakni ditepi yang disambung dengan sayap), maka harga k minimum untuk sembarang rasio a/h menjadi 39,6. Jika dianggap tidak mengekang rotasi tepi, maka harga k minimum menjadi 23,9 (**Timoshenko dan Woinoski, 1959**).

Perbandingan rasio momen nominal terhadap momen leleh (kapasitas lentur) bernilai besar dengan semakin kecilnya nilai rasio tinggi terhadap tebal pelat. Dengan demikian semakin kecil kapasitas lentur menunjukkan gelagar rawan terhadap tekuk lentur. Gelagar dengan pengaku, grafik menunjukkan penurunan secara linier dan gelagar tanpa pengaku, grafik menunjukkan penurunan drastis untuk kapasitas lenturnya (**Salmon dan Johnson, (1996)**).

Nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak dipengaruhi oleh nilai aspek rasio lebar terhadap tinggi dan rasio tebal sayap terhadap tebal badan. Nilai rasio lebar terhadap tinggi besar dan rasio tebal sayap terhadap tebal badan kecil menunjukkan nilai koefisien tekuk lokal yang besar (**dari NS. Trahair dan MA. Bradford (1988)**).

Kekuatan geser berasal dari aksi medan tarik dalam badan gelagar yang menimbulkan suatu pita gaya-gaya tarik yang terjadi setelah badan mengalami tekuk akibat tekan diagonal (**Salmon dan Johnson, (1996)**). Hubungan antara momen dengan kelengkungan menunjukkan bahwa semakin besar momen yang terjadi maka kelengkungan yang terjadi semakin besar (**James M. Gere dan Stephen P. Timoshenko (1972)**). Pengaku tidak perlu digunakan bila kekuatan fleksural bagian itu dapat dicapai tanpa tekuk diagonal yang diakibatkan oleh geser (**Apendiks G3 LRFD, 1999**).

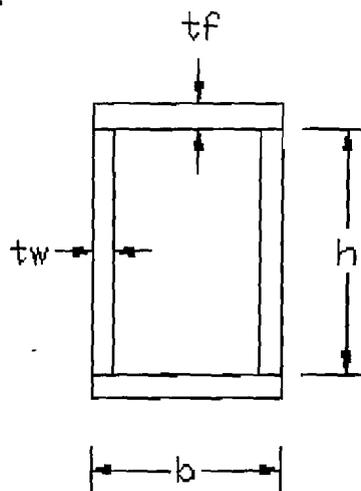
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Gelagar Pelat

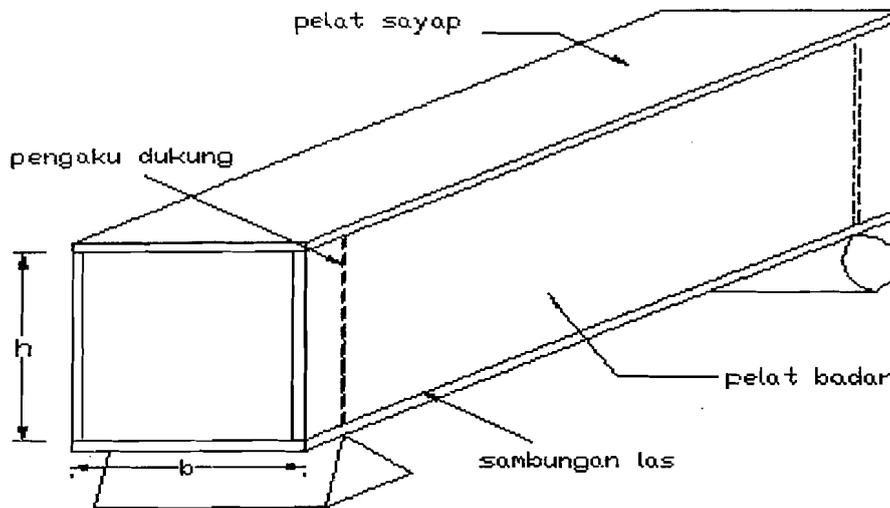
Kekuatan lentur dan geser pelat pada umumnya berkaitan dengan badan balok. Badan balok yang “ramping” dapat menyebabkan sejumlah persoalan tekuk yaitu : tekuk akibat lentur, tekuk vertikal pada sayap dan tekuk geser (**Salmon dan Johnson, 1996**).

Gelagar pelat penampang kotak mempunyai komponen seperti Gambar 3.1



Gambar 3.1 Potongan melintang gelagar pelat penampang kotak.

Keterangan Gambar 3.1 sebagai berikut ini, t_f = tebal sayap, t_w = tebal badan, b = lebar sayap dan h = tinggi badan.

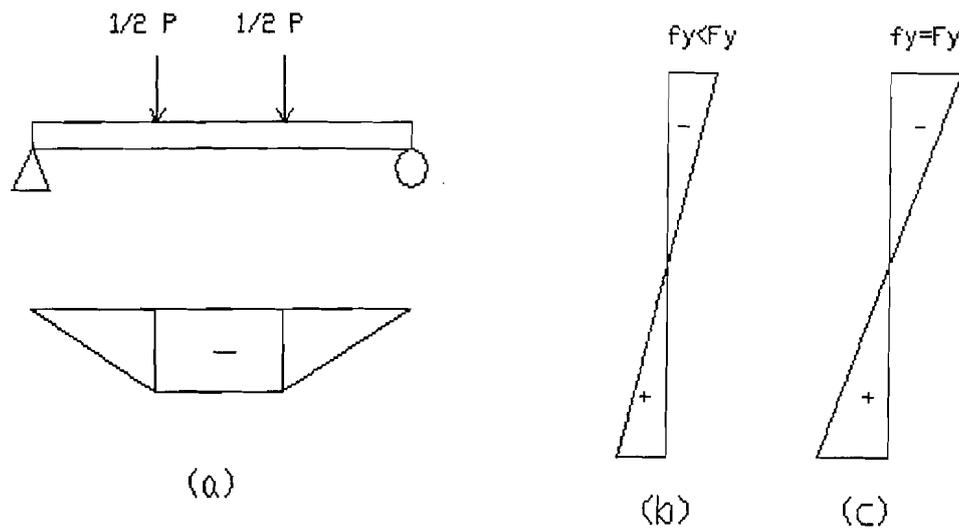


Gambar 3.2 Komponen gelagar penampang kotak

Penjelasan dari Gambar 3.2 sebagai berikut ini,

1. Badan gelagar berupa pelat baja yang diletakkan memanjang verikal, umumnya pelat badan relatif tipis yang diperkaku dengan pelat sayap dan pengaku transfersal (Salmon dan Johnson,1996).
2. Sayap gelagar terdiri dari dua bagian, yaitu sayap atas dan sayap bawah yang diletakkan pada posisi memanjang horisontal, yang dilas pada bagian atas dan bagian bawah badan (Salmon dan Johnson,1996)
3. Pengaku umumnya dipergunakan bila pelat badan sangat tipis, rasio h/t_w besar dan tegangan geser badan relatif tinggi. Pengaku secara efektif akan menambah kapasitas geser terhadap tekukan geser badan. Pengaku hampir selalu digunakan

oleh spesifikasi dibawah beban yang terkonsentrasi pada reaksi gelagar pelat
(Bowles, 1985).

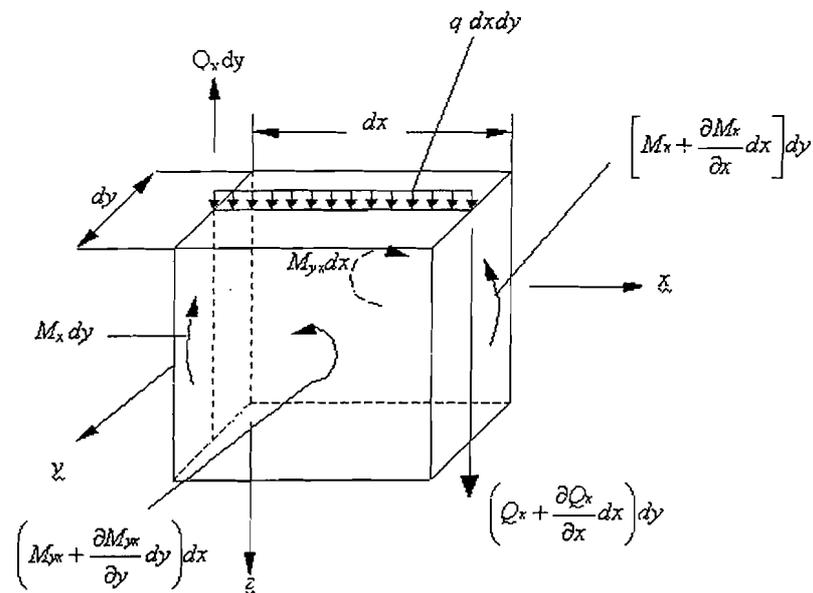


Gambar 3.3 Model pembebanan dan distribusi tegangan

Gambar 3.3 (a) menunjukkan model pembebanan yang dilakukan pada saat pengujian sampel berupa beban terpusat dengan jarak $1/3 L$ dan $2/3 L$. Gambar 3.3 (b) menunjukkan kondisi elastis yaitu suatu kondisi struktur masih dapat menahan pembebanan sampai kondisi batas tegangan yang diijinkan. Gambar 3.3 (c) menunjukkan struktur dalam keadaan leleh yaitu suatu kondisi awal struktur tidak menunjukkan kenaikan tegangan setelah kondisi elastis.

3.2 Stabilitas Pelat

Persamaan Diferensial untuk Lenturan Pelat Homogen menurut **Timoshenko** (1953),



Gambar 3.4 Gaya-gaya benda bebas yang terlibat dalam rotasi terhadap sumbu y (dari Salmon dan Johnson, 1992).

Mengacu kepada Gambar 3.4 diperoleh persamaan diferensial keseimbangan untuk lenturan pelat homogen, yaitu:

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

$$\text{dengan } D = Et^3 / [12(1-\mu^2)] \quad (3.2)$$

Solusi selanjutnya Persamaan (3.1) menghasilkan persamaan tegangan tekuk elastis untuk elemen pelat, yaitu:

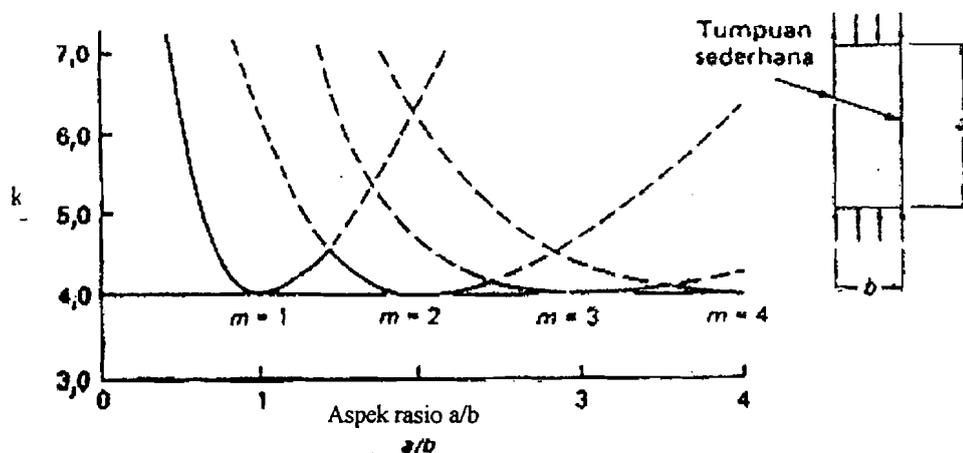
$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.3)$$

Tampak bahwa tegangan tekuk elastis diatas dipengaruhi oleh nilai k dan b/t . apabila nilai k besar maka akan diperoleh F_{cr} yang besar sedangkan bila b/t besar akan diperoleh F_{cr} yang kecil. Dengan kata lain nilai dari tegangan tekuk elastis dipengaruhi oleh nilai (k) dan rasio b/t .

Nilai k untuk kasus tekuk elastis sebagai mana yang ditulis oleh **Salmon dan Johnson (1996)** adalah,

$$k = \left[\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (3.4)$$

Koefisien k merupakan fungsi dari jenis tegangan dan kondisi tepi disamping rasio aspek a/b yang muncul secara langsung dalam persamaan tersebut. Bilangan m menunjukkan banyak pengaruh gelombang yang terjadi dalam arah x pada saat tekuk.



Gambar 3.5 Koefisien tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata-tepi longitudinal bertumpuan sederhana (Persamaan (3.4)) (dari Salmon dan Johnson, 1992).

Dari Gambar 3.5 dapat dilihat variasi nilai k terhadap aspek rasio a/b dari pelat yang ditekan secara merata tepi longitudinal bertumpuan sederhana, dengan nilai k minimum = 4 untuk berbagai variasi nilai m ($m = 1-4$) dengan memasukkan nilai $k = 4$ ke Persamaan (3.3) diperoleh,

$$F_{cr} = \frac{4\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (3.5)$$

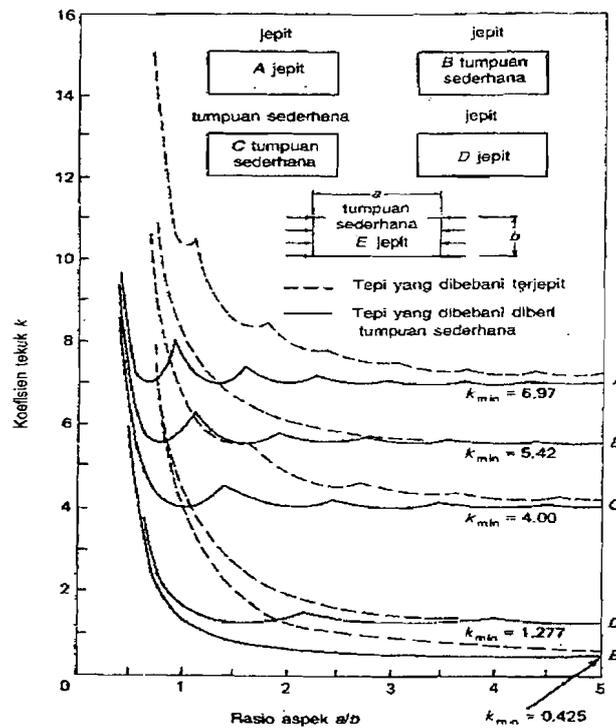
3.3 Tekuk pada Sayap

Balok memiliki stabilitas lateral yang cukup pada sayap tekannya, satu-satunya keadaan batas yang mungkin membatasi kekuatan momen adalah tekuk lokal pada tekan sayap dan atau elemen pelat yang membentuk penampang lintang balok. Tekuk lokal dipengaruhi oleh nilai rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (b/t). Bila nilai rasio b/t rendah, pengerasan regangan dapat tercapai tanpa mengalami tekuk; sedang untuk harga rasio b/t menengah, tegangan sisa dan ketidaksempurnaan menyebabkan tekuk tak elastik atau masa transisi; dan untuk rasio b/t besar maka akan melampaui kekuatan tekuk yakni pelat itu akan menunjukkan terjadinya kekuatan pasca tekuk (Salmon dan Johnson,1996).

Persyaratan untuk mencapai tegangan leleh tanpa tekuk lokal adalah :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)\left(\frac{b}{t}\right)^2} \geq F_y \quad (3.6)$$

dengan k adalah konstanta tekuk merupakan fungsi distribusi tegangan dan kondisi di tepi pelat. Nilai k ini dapat dilihat pada Gambar 3.6.

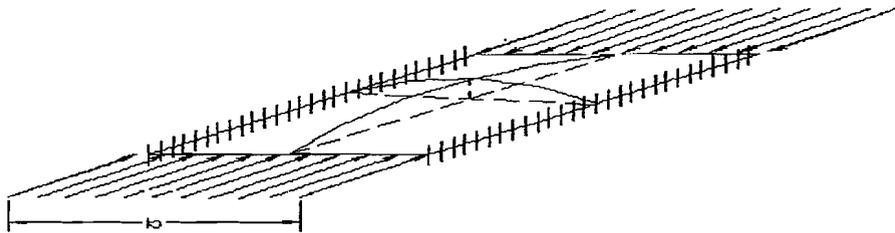


Gambar 3.6 Koefisien tekuk elastis pada pelat segi empat datar (Diadaptasi dari Gerard dan Becker [6.69])(Salmon dan Johnson, 1992)

Gambar 3.6 menunjukkan variasi nilai koefisien tekuk k terhadap rasio aspek a/b pada berbagai jenis tumpuan pelat segi empat datar. Untuk tumpuan jepit-jepit (grafik A) $k_{\min} = 6,97$; untuk jepit sendi (grafik B) $k_{\min} = 5,42$; untuk sendi-sendi (grafik C) $k_{\min} = 4,00$; untuk jepit bebas (grafik D) $k_{\min} = 1,277$; untuk sendi bebas (grafik E) $k_{\min} = 0,425$. dari data diatas dapat disimpulkan bahwa nilai k untuk tiap macam tumpuan masih bisa bertambah besar

Gambar 3.7 merupakan elemen pelat yang diperkuat, yang bertumpu sepanjang dua tepi yang sejajar pembebanan. dari rumus tegangan tekuk elastis pada Persamaan (3.3) dimana menunjukkan batasan dasar untuk mencegah tekuk, dengan $\mu = 0.3$ untuk baja dan $E = 200,000$ Mpa dan F_y dalam Mpa (AISC-1.9,Lampiran C) didapatkan,

$$\frac{b}{t} = 425 \sqrt{\frac{k}{F_y(\text{MPa})}} \quad (3.7)$$



Gambar 3.7. Defleksi tekuk pelat pada sayap (jepit-jepit).
(dari Salmon dan Johnson, 1992)

Untuk pelat dengan kondisi tumpuan tepi jepit-jepit, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7 harga $\lambda_c = 0,58$ (Gambar 3.11) dengan nilai $k = 4$ (Gambar 3.6). Batasan tekuk setempat untuk menghasilkan kekuatan plastis menurut (AISC-1.9, Lampiran C) adalah,

$$\frac{b}{t} \leq \frac{500}{\sqrt{F_y} (\text{Mpa})} \quad (3.8)$$

Batas maksimum pada kerampingan badan balok h/t akan didasarkan pada kekakuan yang dibutuhkan dalam bidang badan balok untuk mencegah terjadinya flens tekan mengalami tekuk secara vertikal.

$$f_c = \frac{\sigma_f A_f d \theta}{t_w dx} = \frac{2 \sigma_f A_f e r}{t_w h} \quad (3.9)$$

Dengan mengacu pada persamaan tegangan tekuk elastis untuk suatu pelat, bila tegangan yang dikenakan, Persamaan (3.9) disamakan dengan tegangan tekuk elastis akan diperoleh hasil,

$$\frac{h}{tw} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{24(1-\mu^2)} \left(\frac{A_w}{A_f} \right) \left(\frac{1}{\sigma_f \varepsilon_f} \right)} \quad (3.10)$$

h/tw dipengaruhi oleh luas badan (A_w), luas sayap (A_f), tegangan sayap (σ_f), regangan sayap (ε_f). Apabila A_f , σ_f , ε_f kecil, maka akan diperoleh h/tw besar. Sedangkan bila A_w besar maka akan diperoleh h/tw besar (pelat badan ramping).

Persyaratan kekompakan menurut **LRFD Table B5.1 (1999)** persyaratan rasio lebar terhadap tebal (b/t) pelat adalah,

Untuk beban merata,

$$\frac{b}{t} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{kompak}(\lambda_p)) \quad (3.11)$$

$$\frac{b}{t} \leq 1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{tidak kompak}(\lambda_r)) \quad (3.12)$$

Untuk analisis plastis,

$$\frac{b}{t} \leq 0,939 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{kompak}(\lambda_p)) \quad (3.13)$$

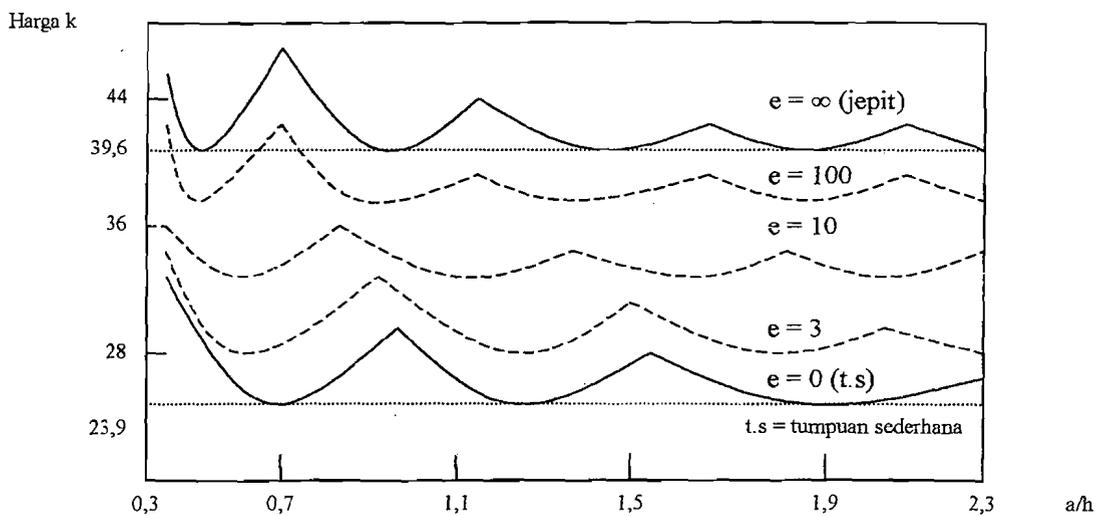
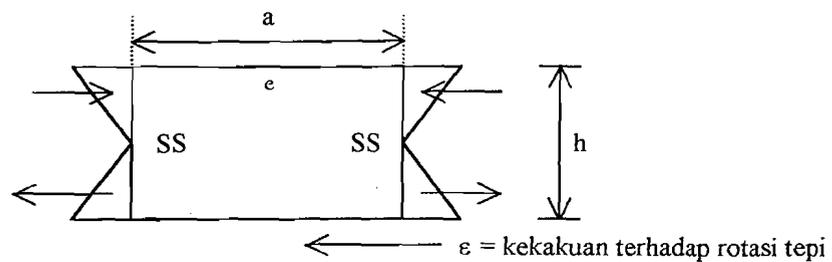
3.4 Lentur pada Bidang Badan

Badan gelagar pelat biasanya memiliki rasio sebesar h/tw , tekuk mungkin terjadi akibat lentur pada bidang badan tipikal untuk situasi stabilitas pelat tegangan tekuk elastis diwakili oleh Persamaan (3.3) dimana untuk kasus ini $b = h$.

Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959), menjabarkan variasi nilai k terhadap rasio a/h yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Tegangan tekuk elastis (dengan $E = 200.000$ MPa) bisa dikatakan terletak antara :

$$F_{cr} = \frac{4320000}{(h/t_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 23,9 \text{ (tumpuan sederhana di sayap)} \quad (3.14)$$

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna di sayap)} \quad (3.15)$$



Gambar 3.8 Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni (dari Handbook of Structural Stability, Vol. 1 [6.69](p. 92))

Gambar 3.8 menunjukkan harga koefisien lentur (k) terhadap rasio jarak antar pengaku terhadap tinggi badan (a/h) dimana bila pelat tersebut dianggap terjepit penuh disepanjang tepi yang paralel dengan arah pembebanan harga k minimum adalah 39,6 untuk sembarang rasio a/h ($\epsilon = \infty$, jepit). bila flens-flens itu diasumsikan tidak memberikan resistansi sama sekali terhadap rotasi pinggir (tumpuan sederhana), harga k minimum adalah 23,9 untuk sembarang rasio a/h ($\epsilon = 0$, s.s)

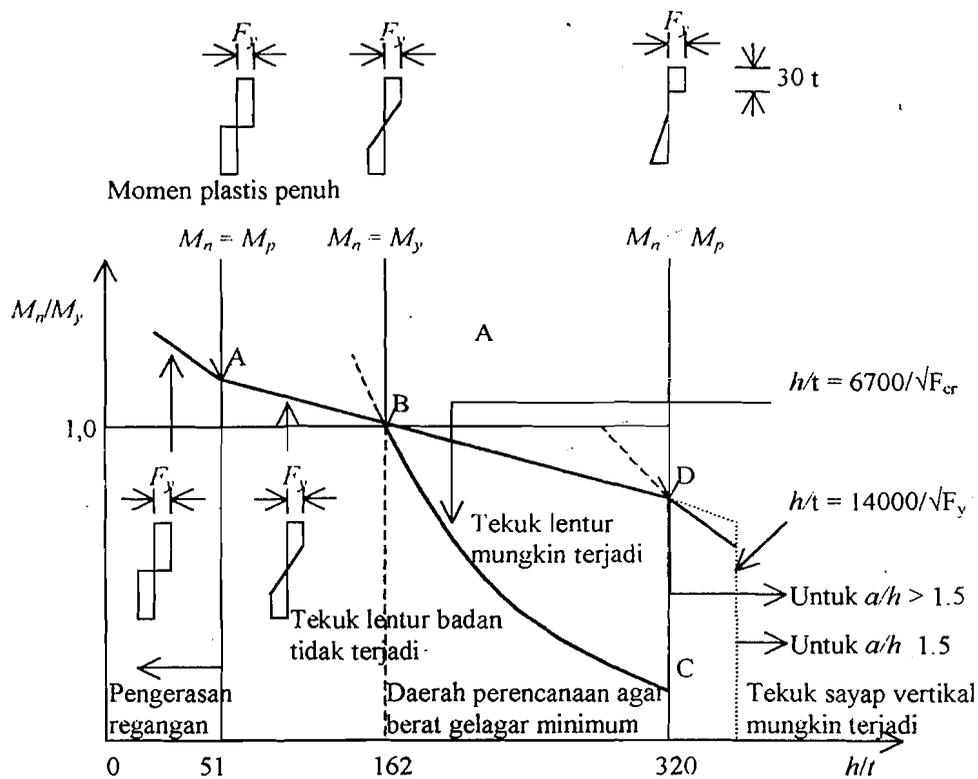
Tekuk elastis karena lentur pada bidang badan. tidak dapat terjadi bila,

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{970}{\sqrt{F_c K_s i}} \tag{3.16}$$

Berdasarkan LRFD Tabel B5.1(1999) menunjukkan batasan rasio h/t_w untuk pelat badan yang menerima gaya lenturan sebagai berikut ini,

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (kompak } (\lambda_p)) \tag{3.17}$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (tidak kompak } (\lambda_r)) \tag{3.18}$$



Gambar 3.9 Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan : baja A36 (Salmon dan Johnson, 1996)

Gambar 3.9 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 antar 51-162 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. Daerah perencanaan agar berat gelagar minimum pada daerah B-D, bila perencanaan pada area A-B akan diperoleh gelagar yang kuat terhadap tekuk lentur badan (biaya mahal)

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

$$M_n = \frac{F_y I_e}{(1-k)h} \quad (3.19)$$

dengan persamaan untuk k adalah,

$$k = \sqrt{\frac{192}{1024} + \frac{38}{16\rho} + \frac{4}{\rho^2}} - \left(\frac{3}{32} + \frac{2}{\rho} \right) \quad (3.20)$$

persamaan untuk nilai I_e ,

$$I_e = Af(k.h)^2 + \frac{2}{3}tw.(k.h)^3 + Af.(1-k)^2 h^2 + \frac{6.tw.h}{32} \left(\frac{61}{64}h - k.h \right)^2 \quad (3.21)$$

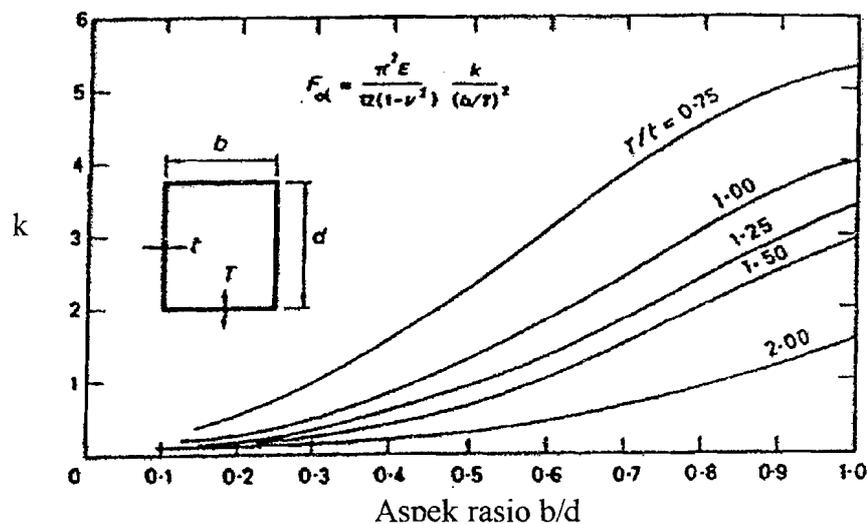
nilai ρ adalah,

$$\rho = \frac{A_w}{A_f} = \frac{tw.h}{tf.bf} \quad (3.22)$$

persamaan untuk momen leleh adalah,

$$My = F_y \cdot Af \cdot h \left(1 + \frac{\rho}{6} \right) \quad (3.23)$$

Pada Gambar 3.10 menunjukkan nilai koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak yang dipengaruhi oleh rasio lebar terhadap tinggi (b/d) dan rasio tebal pelat sayap terhadap badan (T/t).

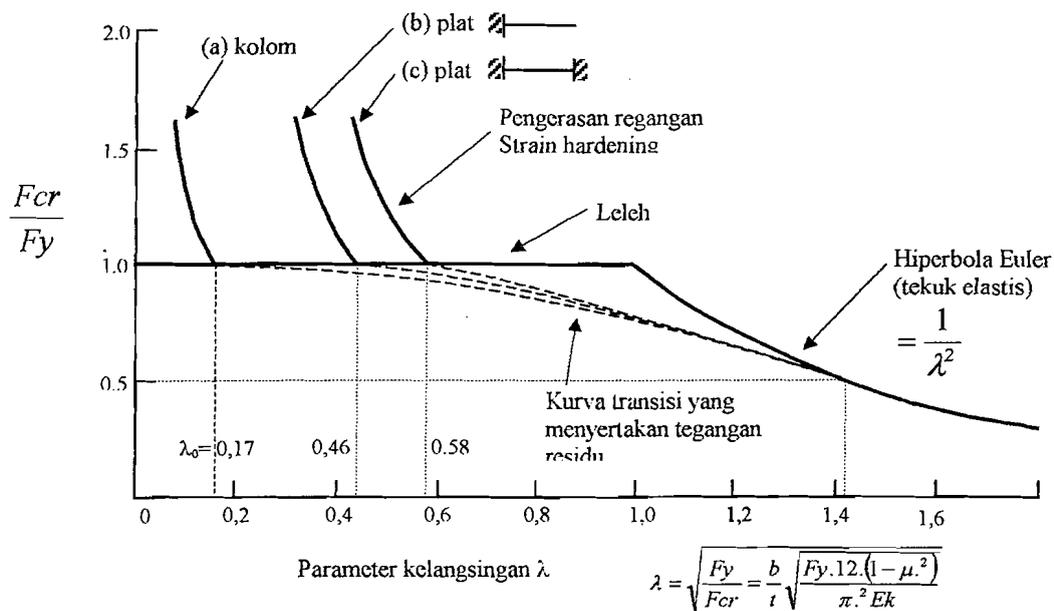


Gambar 3.10 Koefisien tekuk lokal pada pelat tipis bentuk penampang kotak (dari NS. Trahair dan MA. Bradford (1988))

Dari Gambar 3.10 terlihat nilai koefisien tekuk pelat tekuk lokal pada pelat tipis penampang kotak dipengaruhi oleh rasio b/d dan T/t . Terlihat bahwa semakin besar rasio b/d nilai k semakin besar, semakin kecil rasio T/t nilai k semakin besar.

Rumus untuk parameter kelangsingan (λ_c) dengan memasukkan F_{cr}/F_y yang didefinisikan sebagai $1/\lambda_c^2$ ke Persamaan (3.3) didapatkan,

$$\lambda_c = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{F_y (12)(1-\mu^2)}{\pi^2 E k}} \quad (3.24)$$



Gambar 3.11. Perbandingan antara tekuk plat dengan tekuk kolom (dari Salmon dan Johnson, 1996)

Dari Gambar 3.11 diperoleh perbandingan harga F_{cr}/F_y dengan λ , pada pelat dengan satu tumpuan mempunyai $\lambda = 0,46$ dan untuk pelat dengan dua tumpuan harga $\lambda = 0,58$ untuk kondisi $F_{cr}/F_y = 1$. sehingga dari uraian tersebut maka pelat dengan dua tumpuan memiliki kekuatan untuk mencapai kondisi strain hardening ($F_{cr}/F_y > 1$).

3.5 Tekuk Akibat Geser

Tekuk akibat geser dapat diuraikan menjadi tekuk elastis dan tekuk inelastis. Adapun penjabaran dari tekuk elastis dan tekuk inelastis adalah sebagai berikut ini.

3.5.1 Tekuk elastis akibat geser murni

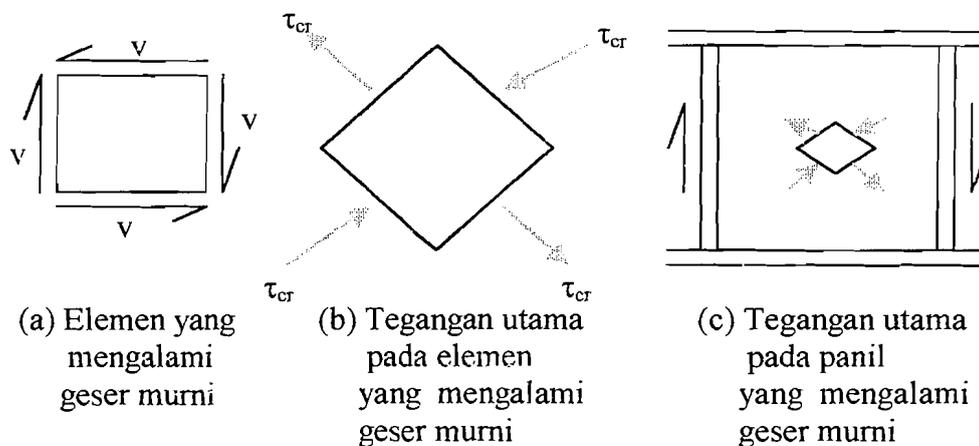
Untuk kasus geser murni lihat Gambar 3.12, Persamaan (3.3) bisa dituliskan sebagai (dengan mengganti F dengan τ untuk tegangan geser)

$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{\text{sisipendek}}{t} \right)^2} \quad (3.25)$$

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

$$k = 5,34 + 4,0 \left(\frac{\text{sisipendek}}{\text{sisipanjang}} \right)^2 \quad (3.26)$$

penurunan persamaan ini dijabarkan oleh, **Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959)**.



Gambar 3.12 Teori geser klasik (dari Salmon dan Johnson, 1996)

Dalam **AISC-1.10.5**, Persamaan (3.5) ditulis dalam bentuk tanpa dimensi, dengan mendefinisikan koefisien C_v sebagai rasio tegangan geser kritis terhadap tegangan leleh geser,

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 Ek}{\tau_y (12)(1 - \mu^2) (h/t_w)^2} \quad (3.27)$$

tampak bahwa C_v merupakan stabilitas elastis.

Substitusi nilai $E = 200000 \text{ MPa}$, $\mu = 0,3$, $\tau_y = 0,6 F_{yw}$ ke Persamaan (3.27) menjadi

$$C_v = \frac{303000k}{(h/t_w)^2 F_{yw} (\text{Mpa})} \quad (3.28)$$

3.5.2 Tekuk inelastis akibat geser murni

Sebagaimana dalam situasi stabilitas, tegangan sisa dan ketaksempurnaan (*imperfection*) mengakibatkan tekuk tak elastik pada saat tegangan tekuk elastis mendekati tegangan leleh. Berdasarkan hasil percobaan dari **Lyse dan Godfrey (1935)**, yang telah diturunkan oleh **Basler (1961)**, pada daerah transisi antara tekuk elastis dan daerah leleh,

$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_{\text{batas proporsional}} \tau_{cr(\text{elastikideal})}} \quad (3.29)$$

Batas proporsional diambil sebagai $0,8\tau_y$, yang lebih besar dari pada untuk tekan dalam flens, karena efek tegangan sisa lebih sedikit. Pembagian Persamaan (3.29) dengan τ_y untuk mendapatkan C_v dan tegangan menggunakan Persamaan (3.28) memberikan,

$$C_v = \frac{491}{h/t_w} \sqrt{\frac{k}{F_{yw}}} \quad (3.30)$$

3.6 Kekuatan Geser

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

$$V_n = \tau_{cr} A_w \quad (3.31)$$

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

$$V_n = C_v \tau_y A_w \quad (3.32)$$

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

$$V_n = (0.6F_y) A_w \quad (3.33)$$

Persamaan untuk tegangan geser ijin F_v adalah

$$F_v = \frac{F_y C_v}{2.89} \leq 0.40 F_y \quad (3.34)$$

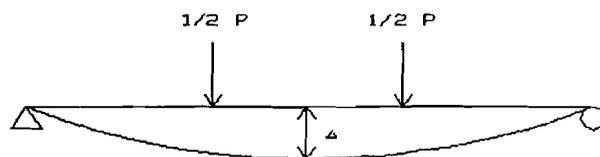
nilai k adalah

$$k = 4.0 + 5.34/(a/h)^2 \quad \text{untuk } a/h \leq 1$$

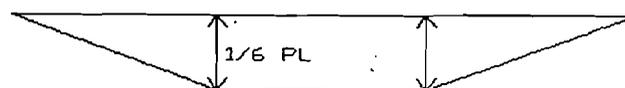
$$k = 4.0 / (a/h)^2 + 5.34 \quad \text{untuk } a/h \geq 1$$

3.7 Hubungan Beban Lendutan

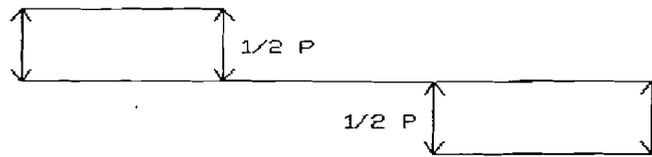
Lynn S. Beedle (1958) menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan makin besar pula momennya, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya semakin besar.



Gambar 3.13 Lendutan balok



Gambar 3.14 Diagram momen



Gambar 3.15 Diagram geser

Hubungan beban-lendutan untuk tipe pembebanan seperti Gambar 3.13 seperti yang ditulis oleh James M. Gere dan Stephen P. Timoshenko (1972), Lampiran D ditunjukkan,

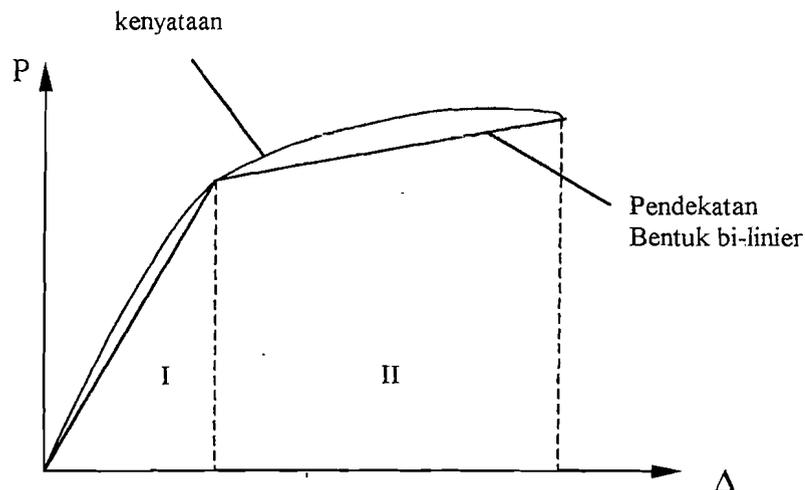
$$\Delta = \frac{Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \quad (3.35)$$

persamaan sudut rotasi ditunjukkan,

$$\theta_A = \theta_B = \frac{Pa(L-a)}{2EI} \quad (3.36)$$

Δ = defleksi balok, P = beban balok, E = modulus elastis bahan, L = panjang bentang balok, I = momen inersia penampang, θ = sudut rotasi.

Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur seperti pada Gambar 3.16.



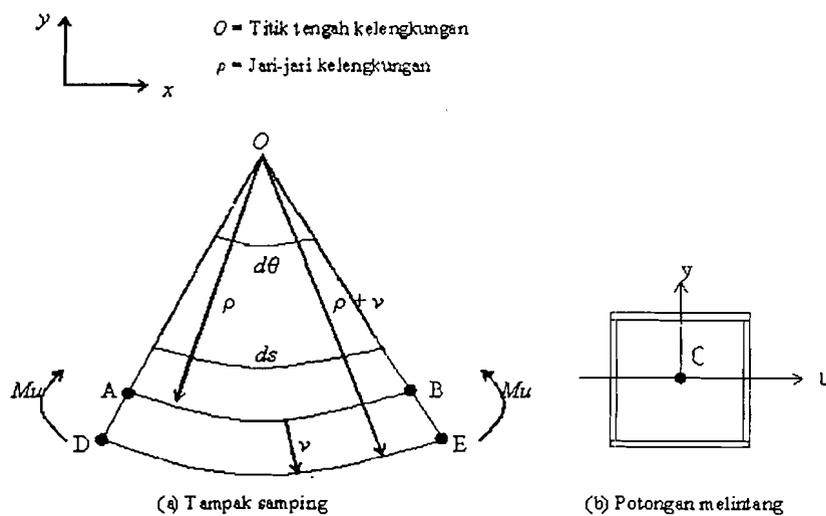
Gambar 3.16 Hubungan Beban dan Lendutan pada Balok

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

3.8 Hubungan Momen dengan Kelengkungan

Perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen-kelengkungan yang menggambarkan perilaku balok pada berbagai kondisi, yaitu saat kondisi elastis, leleh, elastis-plastis dan plastis.



Gambar 3.17 Deformasi segmen balok dalam lenturan

Elemen differensial balok untuk lentur murni ditunjukkan pada Gambar 3.17. Sumbu u dan v pada potongan melintang, adalah sumbu utama yang ditunjukkan pada Gambar 3.17 (b). AB adalah garis netral, pada garis netral ini garis tidak memendek ataupun memanjang. Seperti yang dikemukakan oleh **James M. Gere dan Sthepen P. Timoshenko (1972)**, regangan pada garis netral didapatkan dari persamaan :

$$\varepsilon_x = \frac{\text{panjang akhir} - \text{panjang awal}}{\text{panjang awal}} \quad (3.37)$$

Dengan substitusi didapat :

$$\varepsilon_x = \frac{(\rho + v)d\theta - \rho.d\theta}{\rho.d\theta} = \frac{v}{\rho} \quad (3.38)$$

Hubungan dasar antara kurva elastis dengan regangan linier, didapat :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = \kappa = \frac{-\varepsilon_x}{v} \quad (3.39)$$

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

$$\sigma_x = E.\varepsilon_x \quad (3.40)$$

Sehingga,

$$\varepsilon_x = \frac{Mu_v}{EI_u} \quad (3.41)$$

Substitusi Persamaan (3.39) ke Persamaan (3.40) akan diperoleh,

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = \kappa = \frac{Mu_v}{EI_u} \quad (3.42)$$

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan,

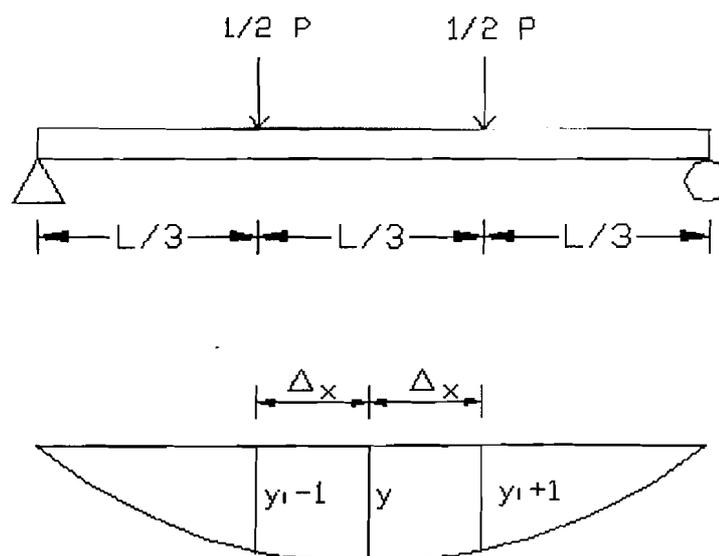
$$\Phi = \frac{1}{\rho} = \kappa = \frac{\pm d^2v/dx^2}{[1 + (dv/dx)^2]^{3/2}} \quad (3.43)$$

karena kemiringan dv/dx dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka kwadratnya diabaikan dan dianggap 1 dari sini diperoleh,

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI_u} \quad (3.44)$$

$$EI_u = \frac{M}{(d^2v/dx^2)} \quad (3.45)$$

Dari hasil pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik-titik pembebanan. Dikarenakan terbatasnya peralatan maka persamaan untuk regangan di atas tidak dapat digunakan selanjutnya untuk menghitung nilai kekakuan lentur (EI) digunakan lendutan dengan melalui pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Difference*. Dengan mengacu Gambar 3.18, didekati Persamaan (3.46).



Gambar 3.18 Momen kelengkungan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.46)$$

turunan kedua Persamaan (3.46) adalah :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.47)$$

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

$$\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0 \quad (3.48)$$

sehingga Persamaan (3.47) menjadi,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.49)$$

selanjutnya dari Persamaan (3.49) didapatkan,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta x)^2} \quad (3.50)$$

kemudian Persamaan (3.50) disederhanakan menjadi,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta x)^2} \quad (3.51)$$

Persamaan (3.51) merupakan persamaan kelengkungan, dimana kelengkungan

$\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)$ pada suatu titik dapat diukur dengan lendutan yang terjadi pada 3 titik yang

berurutan $(y_{i-1} ; y_i ; y_{i+1})$ yang masing-masing berjarak sama (Δx) . Persamaan (3.51)

digunakan dalam penelitian ini karena lebih sederhana dan tidak membutuhkan

peralatan khusus.

Hubungan momen dengan kelengkungan menurut **Ferdinand L. Singer, Andrew Pytal (1995)** ditunjukkan dalam persamaan berikut,

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{EI} \quad (3.52)$$

sehingga persamaan momen (M) menjadi,

$$M = EI \cdot \phi \quad (3.53)$$

atau,

$$M = EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.54)$$

Persamaan untuk kekakuan lentur (EI) ditunjukkan,

$$EI = \frac{M}{\frac{d^2 y}{dx^2}} \quad (3.55)$$

Persamaan (3.55) menunjukkan hubungan antara faktor kekakuan lentur (EI), momen (M) dan kelengkungan $\left(\frac{d^2 y}{dx^2}\right)$. Terlihat bahwa hubungan EI dengan M adalah

berbanding lurus, sedangkan EI dengan $\frac{d^2 y}{dx^2}$ berbanding terbalik. Nilai M dapat

dihitung dengan Persamaan (3.56) dan nilai $\frac{d^2 y}{dx^2}$ dapat dihitung dengan Persamaan

(3.51), dengan demikian nilai EI dapat diketahui.

Mengacu pada Gambar 3.14 didapat momen (M) :

$$M = \frac{1}{6} PL \quad (3.56)$$

Untuk menghitung momen dan kelengkungan teoritis digunakan persamaan berikut ini,

persamaan momen untuk kondisi elastis pada penampang persegi pejal adalah,

$$M = f \left[\frac{bh^2}{6} \right] \quad (3.57)$$

persamaan untuk kondisi leleh pada penampang persegi pejal adalah,

$$M = f_y \left[\frac{bh^2}{6} \right] \quad (3.58)$$

persamaan regangan adalah

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (3.59)$$

persamaan untuk kelengkungan adalah,

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} \quad (3.60)$$

Dari Persamaan (3.60) bahwa kelengkungan dipengaruhi oleh nilai regangan dan tinggi gelagar. Semakin besar nilai regangan dan semakin kecil tinggi gelagar maka nilai kelengkungan semakin besar.

Salmon dan Johnson, (1996), mengemukakan dengan menganggap stabilitas lateral sayap tekan mamadai, perencanaan balok didasarkan pada pencapaian kekuatan lentur penampang maksimum. Distribusi tegangan pada profil sayap lebar tipikal yang mengalami momen lentur yang semakin besar diperlihatkan pada Gambar 3.14. Kekakuan ini didasarkan pada bahan yang tetap elastis sampai titik leleh tercapai, setelah itu tambahan regangan tidak menimbulkan kenaikan tegangan. Pada saat tegangan leleh (F_y) tercapai diserat terluar (S_x) kapasitas momennya disebut momen leleh (M_y) dan dapat dihitung sebagai :

$$M_y = F_y \cdot S_x \quad (3.61)$$

Bila penampang berada dalam kondisi plastis, regangan pada setiap serat sama dengan atau lebih besar dari $\varepsilon_y = F_y/E_y$, dengan kata lain serat berada pada daerah plastis. Besarnya momen plastis yaitu dimana seluruh serat berada pada daerah plastis. Kapasitas momen disebut momen plastis (M_p) dan besarnya :

$$M_p = f_b \int y.dA \quad (3.62)$$

Dengan $z = \int y.dA$ maka :

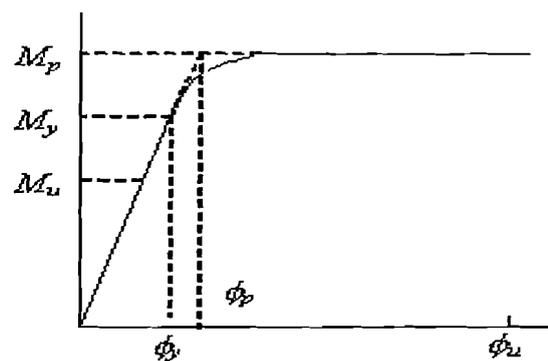
$$M_p = f_b \cdot z \quad (3.63)$$

Dimana z = modulus plastis.

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

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{z}{S} \quad (3.64)$$

Hubungan Momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) ditunjukkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Grafik momen kelengkungan

Gambar 3.19 memperlihatkan ketika momen lentur diperbesar hingga melampaui harga beban kerja sudut regangan ϕ akan elastis seluruhnya (sampai 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 diskontinuitas anguler ϕ_u ditengah bentang.

3.9 Nilai Koefisien Tekuk Pelat

Nilai koefisien tekuk pelat (k) merupakan sebuah konstanta yang tergantung pada tipe tegangan, kondisi tumpuan tepi, dan rasio panjang terhadap lebar (rasio aspek) dari pelat yang bersangkutan, modulus elastis (E), rasio Poisson (μ), dan rasio lebar terhadap tebal (b/t), **Salmon dan Johnson,(1992)**. Nilai k pada pelat tipis penampang kotak dengan berbagai aspek h/d dan T/t lebih besar dibandingkan dengan penampang I yang telah dibuktikan oleh **NS. Trahair dan MA. Bradford (1988)**. Nilai k dapat diperoleh dari persamaan tegangan tekuk elastis F_{cr} (Persamaan 3.3) dengan memasukkan nilai rasio (h/t) dan F_{cr} . Nilai F_{cr} diperoleh dari persamaan,

$$F_{cr} = \frac{M}{S} \quad (3.65)$$

dengan persamaan M_{cr} adalah,

$$M = \frac{1}{6} PL \quad (3.66)$$

persamaan untuk S adalah,

$$S = \frac{I}{y} = \frac{\sum \left(\frac{1}{12} b \cdot h^3 + A_i \cdot y_i^2 \right)}{y} \quad (3.67)$$

M = momen kritis, S = momen kelembaman, y = titik berat penampang, b = lebar penampang, h = tinggi penampang, A = luas penampang.

3.10 Pengaku Dukung/Landasan

Pengaku dukungan diperlukan secara berpasangan dan diletakkan 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 $0.75 h$. Rasio kelangsingan dihitung sebagai,

$$\frac{KL}{r} = 0.75 \frac{h}{r} \quad (3.68)$$

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,

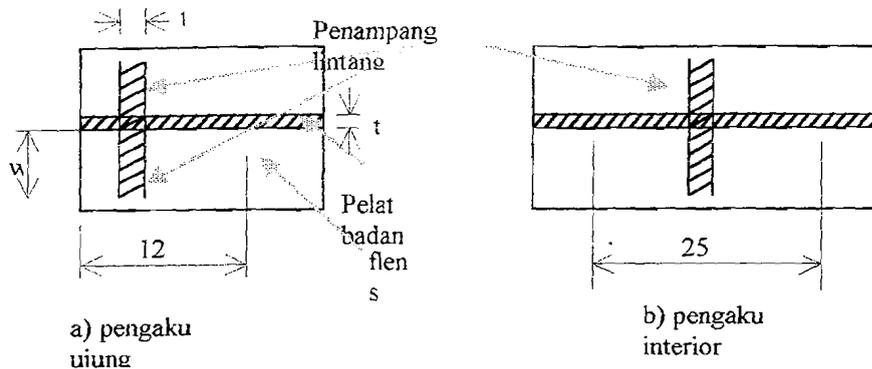
$$\phi_c P_n \geq P_u \quad (3.69)$$

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,

$$A_{e\text{perlu}} = \frac{P_u}{\phi_c F_{cr}} \quad (3.70)$$



Gambar 3.20 Penampang Lintang Efektif Pengaku Tumpu (Salmon dan Johnson, 1992)

Persyaratan tumpu yang harus dipenuhi oleh **LRFD** adalah,

$$\phi_c R_n \geq P_u \quad (3.71)$$

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

Persyaratan tegangan ijin adalah,

$$f_a \leq F_a \quad (3.72)$$

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

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{SF} \quad (3.73)$$

$$SF = \frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3} \quad (3.74)$$

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

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(KL_r)^2} \quad (3.75)$$

dimana

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (3.76)$$

3.11 Daktilitas

Daktilitas suatu bahan dapat didefinisikan sebagai banyaknya regangan permanen (*permanent strain*). Daktilitas mengijinkan 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 tegangan-tegangan dekat lubang atau perubahan yang mendadak pada bentuk batang, seperti misalnya dalam perencanaan sambungan.

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,

$$Daktilitas = \frac{\varepsilon_{tot}}{\varepsilon_y} \quad (3.77)$$

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 :

$$\mu_{simpangan} = \frac{\Delta_{tot}}{\Delta_y} \quad (3.78)$$

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 :

$$\mu_{kelengkungan} = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi_y} \quad (3.79)$$

dengan :

$\mu_{kelengkungan}$ = daktilitas kelengkungan

Φ_{tot} = kelengkungan total

Φ_y = kelengkungan pada momen maksimum

3.12 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 Bahan Penelitian

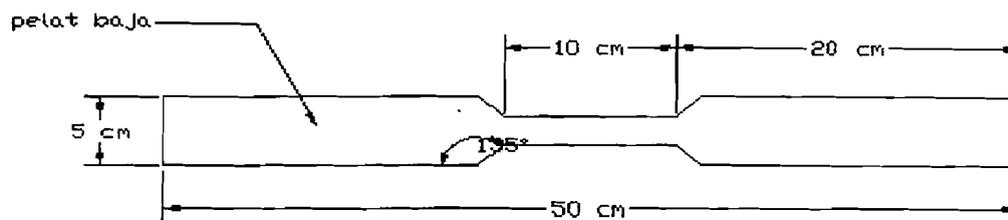
Pada penelitian kuat lentur gelagar pelat penampang kotak digunakan bahan pelat baja dengan ketebalan 2 mm.

4.2 Model Benda Uji

Pada penelitian ini sebelum melakukan pengujian dibuat benda uji pendahuluan yang digunakan untuk mencari tegangan leleh pelat (F_y). Selanjutnya melaksanakan penelitian di Laboratorium.

4.2.1 Benda uji pendahuluan

Benda uji yang digunakan sebanyak tiga buah. Adapun model dari benda uji adalah sebagai berikut :



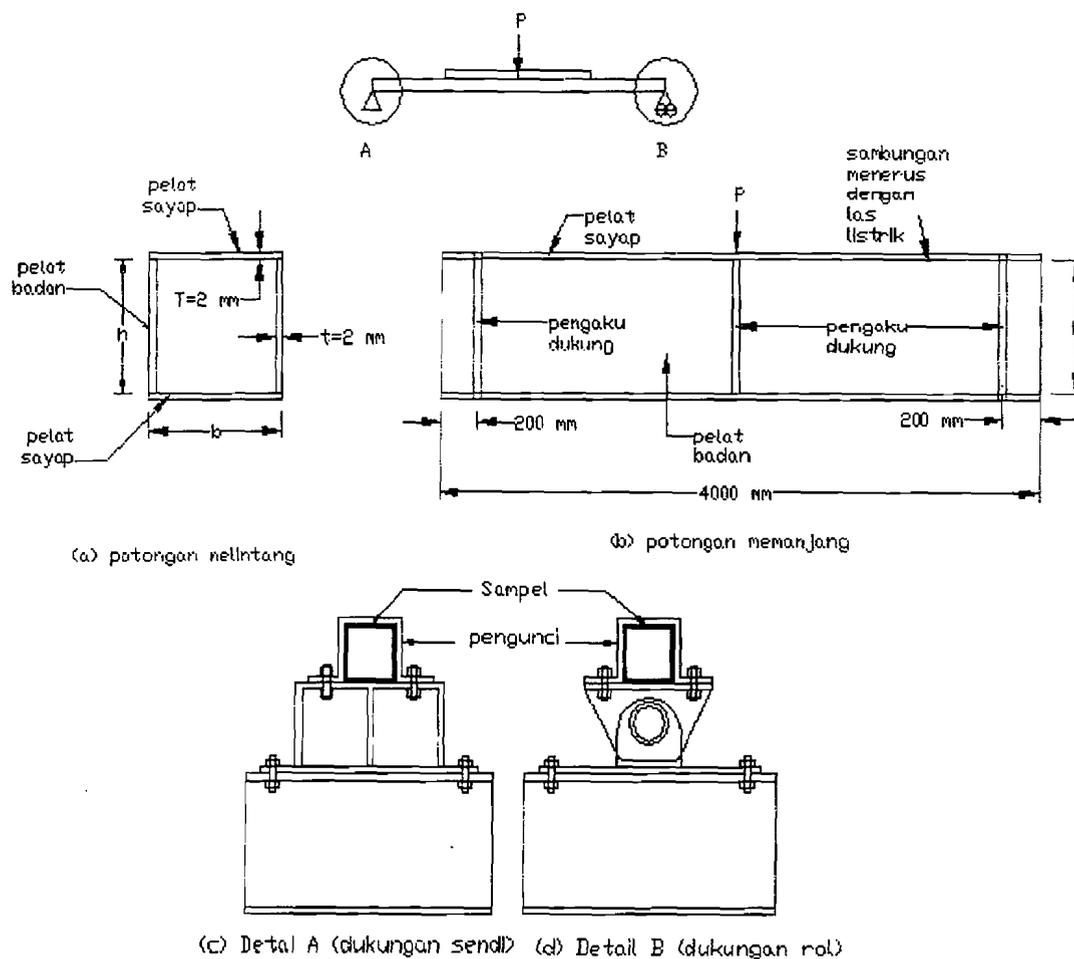
Gambar 4.1 Model benda uji pendahuluan untuk mendapatkan tegangan leleh (F_y) dari pelat baja

4.2.2 Benda uji gelagar pelat penampang kotak

Model benda uji didasarkan pada variasi tinggi gelagar pelat penampang kotak. Adapun dimensi dari 4 buah sampel benda uji gelagar pelat penampang kotak,

1. $L = 4800 \text{ mm}$; $T/t = 1$; $h = 200 \text{ mm}$; $b = 200 \text{ mm}$; $h = 200 \text{ mm}$
2. $L = 4800 \text{ mm}$; $T/t = 1$; $h = 324 \text{ mm}$; $b = 200 \text{ mm}$; $h = 324 \text{ mm}$
3. $L = 4800 \text{ mm}$; $T/t = 1$; $h = 550 \text{ mm}$; $b = 200 \text{ mm}$; $h = 550 \text{ mm}$
4. $L = 4800 \text{ mm}$; $T/t = 1$; $h = 640 \text{ mm}$; $b = 200 \text{ mm}$; $h = 640 \text{ mm}$

Adapun model benda uji sebagai berikut :

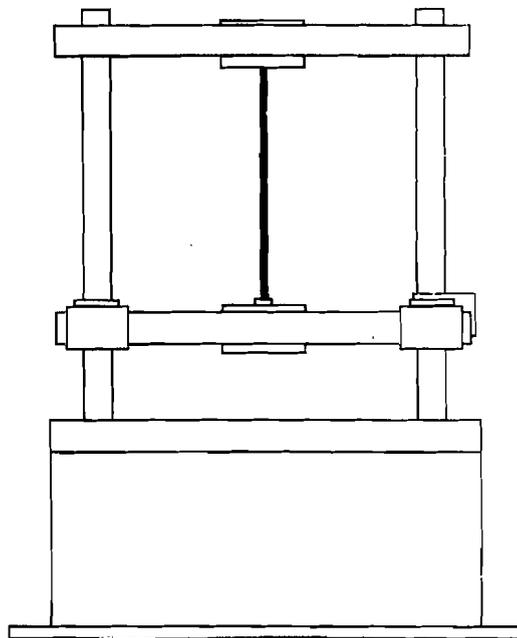


Gambar 4.2 Perletakan gelagar dan dukungannya serta detail dukungan.

4.3 Peralatan Pengujian

1. 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 4.3.

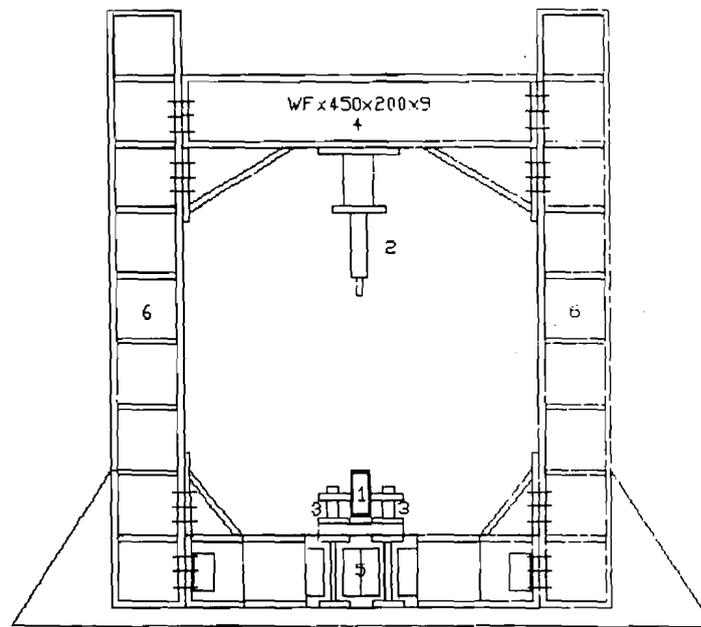


Gambar 4.3. Universal Testing Material Shimadzu UMH30

2. *Loading Frame*

Adalah alat yang terbuat dari baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara dari besi setebal 14 mm. Agar alat tetap stabil, pelat dasar di baut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14

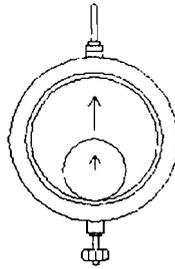
mm. Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut. Sketsa fisik *Loading Frame* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Loading Frame*

3. *Dial Gauge*

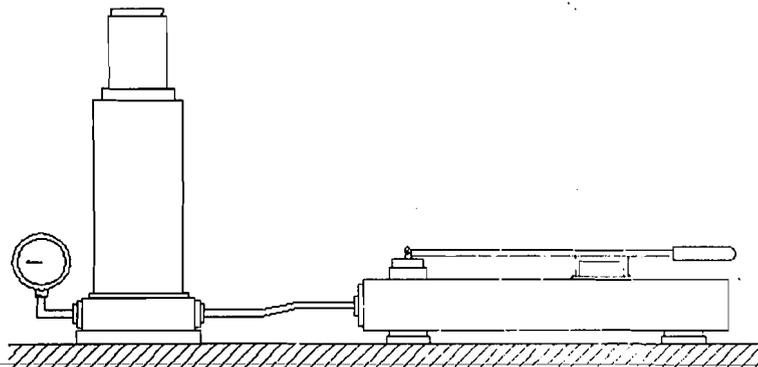
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *Dial Gauge* dengan kapasitas lendutan maksimal 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dengan tingkat ketelitian 0,01 mm. Dalam penelitian ini digunakan *Dial Gauge* sebanyak 3 buah (lihat Gambar 4.5).



Gambar 4.5 Dial Gauge

4. Hydraulic Jack.

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur gelagar pelat skala penuh. Dengan kapasitas maksimum 30 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0.5 ton. (lihat Gambar 4.6)



Gambar 4.6 Hydraulic Jack

4.4 Pembuatan Benda Uji

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

1. Bahan pelat baja yang telah disiapkan diukur sesuai dengan rencana.

2. Potongan pelat baja yang telah jadi sesuai ukuran kemudian dilas listrik secara menerus dengan diberi pengaku dukung dari profil siku 30x30x3 mm yang telah dipasang secara berpasangan sesuai jarak yang telah ditentukan.

4.5 Langkah-Langkah Pengujian

Untuk mempermudah pelaksanaan pengujian disusun rancangan langkah-langkah pengujian. Adapun langkah-langkah pengujian tarik baja dan desak pelat seperti dijelaskan dibawah ini.

4.5.1 Uji tarik baja

1. Pemasangan benda uji pada alat uji tarik (Universal Testing Material (UTM) merk Shimadzu type UTM-30 dengan kapasitas 30 ton).
2. Disetting sampai sampel siap diuji, kemudian mesin diatur kapasitasnya dan dihidupkan.
3. Dibaca beban pada kondisi leleh, beban maksimum dan pada saat patah.

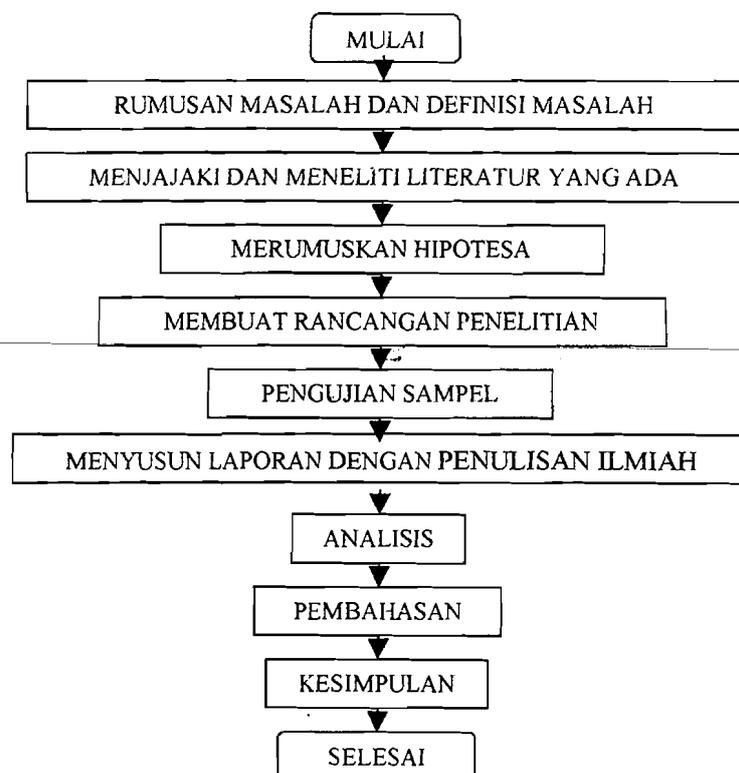
4.5.2 Uji Desak Pelat

1. Penyetingan sampel dan peralatan yang digunakan untuk memperoleh posisi sampel dengan peralatan pengujian yang pas.
2. Pemasangan sampel pada alat uji *Loading Frame* dimana pada tumpuan ujung-ujung gelagar pelat dikunci pada dukungan di *Loading Frame*. Satu ujung pada dukungan sendi dan satu ujung lagi pada dukungan rol sehingga model benda uji mendekati balok sederhana atau "*simple beam*". Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut pada *Loading Frame*.

3. Pemasangan *Dial Gauge* untuk mengukur besar lendutan yang terjadi, digunakan 3 buah *Dial Gauge* dengan jarak $1/3 L$, $1/2 L$ dan $2/3 L$ (panjang bentang $L = 4,8 \text{ m}$).
4. Benda uji diberi tekanan dengan menggunakan alat *Hydraulic Jack* dengan pembacaan dial setiap kelipatan beban 300 kg. Pada benda uji diberi balok memanjang yang disesuaikan dengan bentangan jarak pengaku ($1/3 L$) antara benda uji untuk mendistribusikan dari 1 beban terpusat menjadi 2 beban terpusat.

4.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang diambil digambarkan dalam bagan alir sebagai berikut



Gambar 4.7 Bagan alir penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Dilakukan pengujian kuat tarik baja berupa profil L 30x30x3 yang diambil bagian sayap dan pelat baja dengan tebal 2 mm masing-masing sebanyak 3 sampel, sedangkan perhitungannya pada Lampiran 2. Pengujian kuat tarik baja ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Pengujian tersebut mendapatkan hasil sebagai mana yang dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengujian kuat tarik baja

No	Jenis Pengujian	Fy (MPa)	Fu (MPa)
1.	Kuat Tarik Pelat	240	320
2.	Kuat Tarik Profil L (siku)	370	410

5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang Kotak

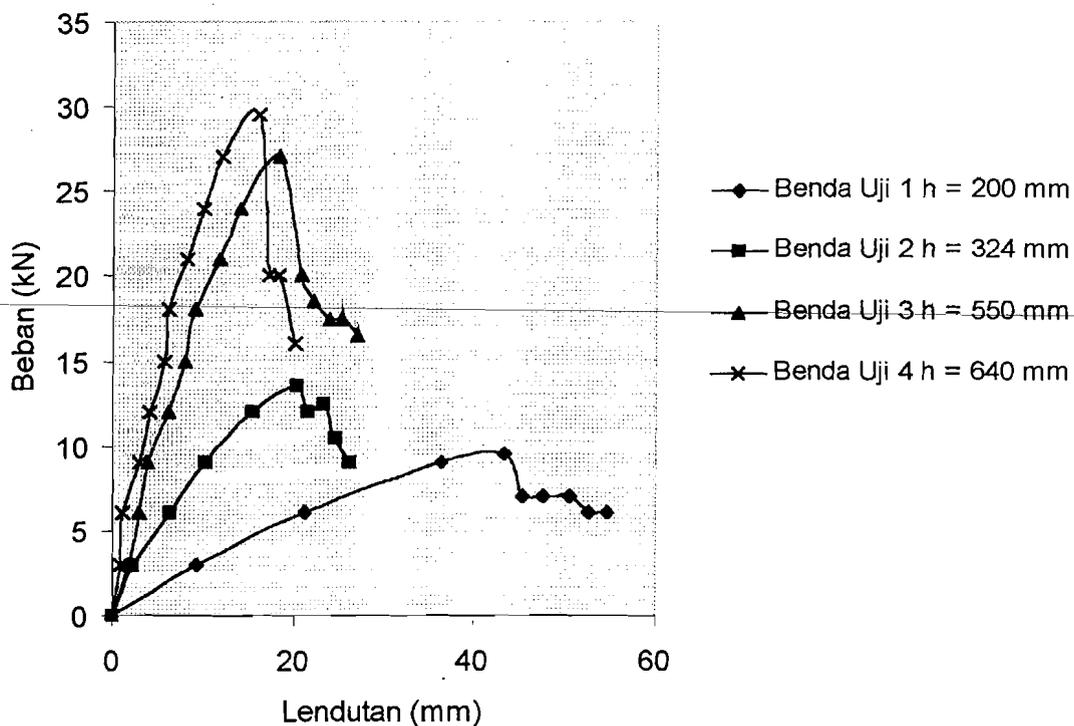
Pengujian kuat lentur gelagar pelat penampang kotak dilaksanakan di Laboratorim Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas



Islam Indonesia. Foto-foto pelaksanaan pada Lampiran 9. Dari hasil pengujian didapat grafik hubungan beban-lendutan.

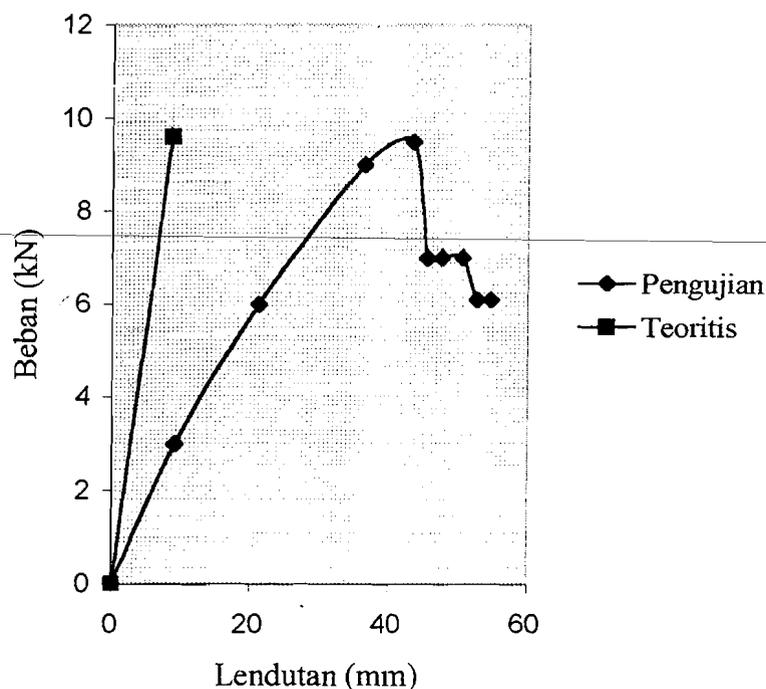
5.2.1 Hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis

Pengujian kuat lentur gelagar pelat penampang kotak ini diberikan dua beban terpusat yang terletak pada $1/3$ dan $2/3$ panjang bentang. Secara bertahap gelagar pelat tersebut diberi kenaikan beban sebesar 300 kg (3,0 kN), kemudian setiap tahap pembebanan lendutan yang terjadi dicatat. Dari data hasil pengujian benda uji tersebut, dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) seperti pada Gambar 5.1.

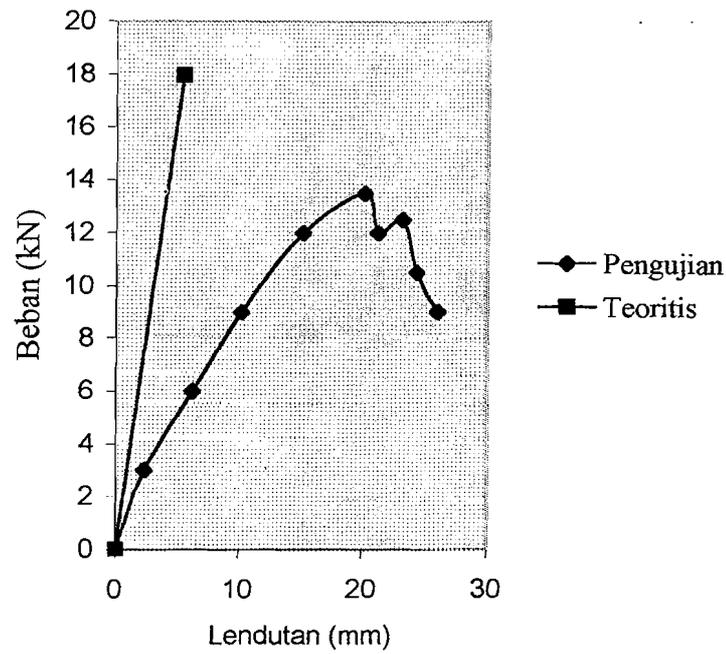


Gambar 5.1 Grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) keempat benda uji

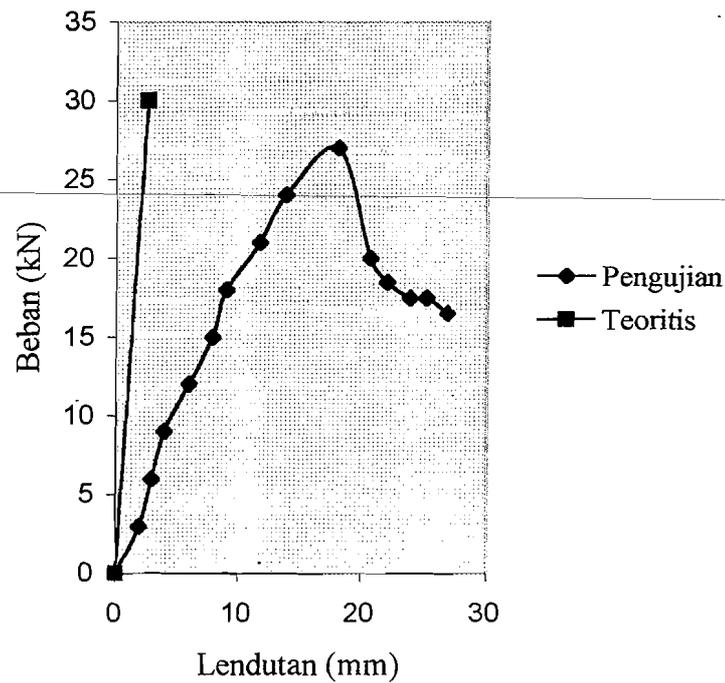
Tampak bahwa pada Gambar 5.1 setelah benda uji mengalami keruntuhan, pembacaan dial yang menghasilkan besarnya lendutan terhenti. Hal ini dikarenakan dial sudah dilepas sebab benda uji semakin tertekuk dan rawan terhadap keruntuhan sehingga lendutan tidak terbaca. Selanjutnya dilakukan perhitungan beban dan lendutan secara teoritis yang didasarkan pada Persamaan (3.65) dan (3.66) untuk beban teoritis lentur. Sedangkan untuk beban teoritis geser digunakan Persamaan (3.31) dan nilai lendutan teoritis didasarkan pada Persamaan (3.35) yang secara lengkap perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran 6. Berdasarkan perbandingan nilai beban teoritis geser dengan lentur maka dipakai beban teoritis lentur sebagai dasar perhitungan karena nilainya lebih kecil. Hasilnya bila dibandingkan dengan hubungan beban lendutan pengujian seperti Gambar 5.2 sampai dengan Gambar 5.5.



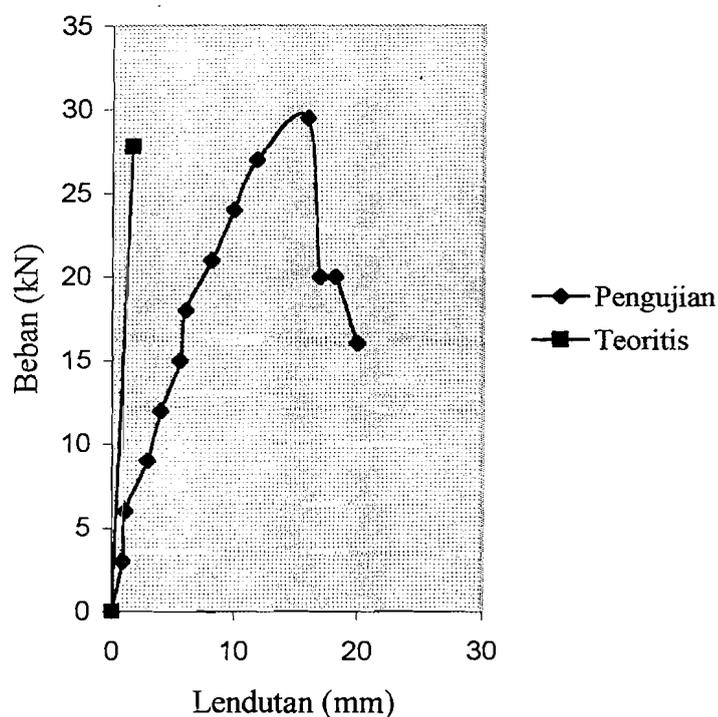
Gambar 5.2. Hubungan beban-lendutan pengujian dengan teoritis benda uji 1



Gambar 5.3. Hubungan beban-lendutan penguajian dengan teoritis benda uji 2



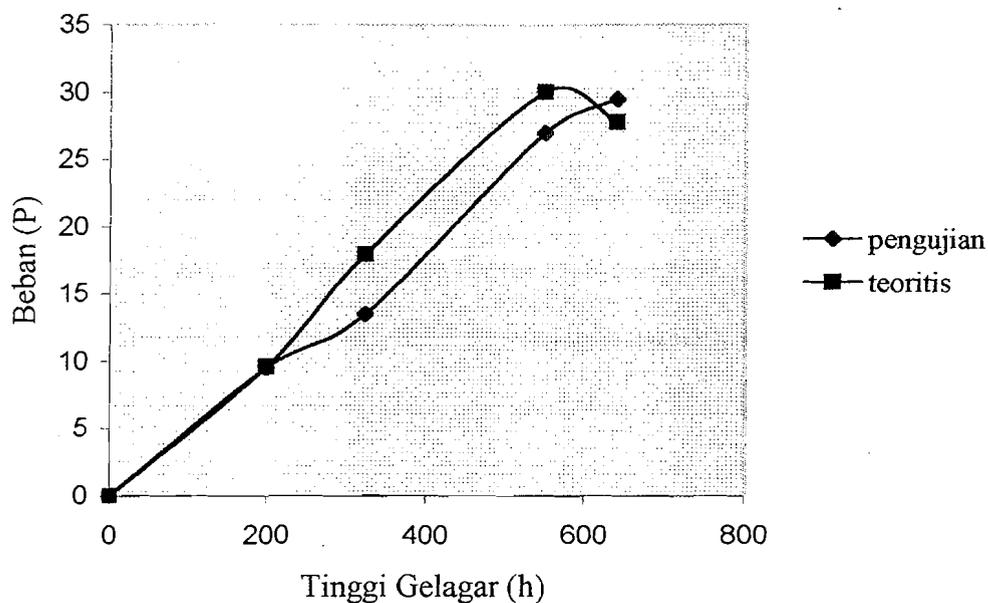
Gambar 5.4. Hubungan beban-lendutan penguajian dengan teoritis benda uji 3



Gambar 5.5. Hubungan beban-lendutan pengujian dengan teoritis benda uji 4

5.2.2 Hubungan beban (P) dengan tinggi gelagar (h) dalam kondisi tebal pelat gelagar (t) tetap pengujian dan teoritis

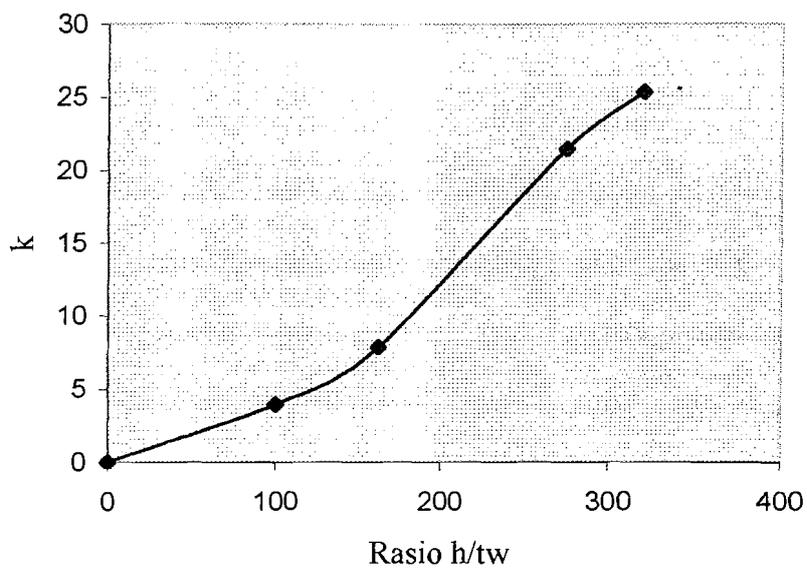
Hubungan antara nilai beban (P) dengan tinggi gelagar (h) antara pengujian dan teoritis ditunjukkan pada Gambar 5.6. Perhitungan beban teoritis menggunakan beban teoritis lentur (Persamaan (3.65) dan (3.66)), perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran 6.



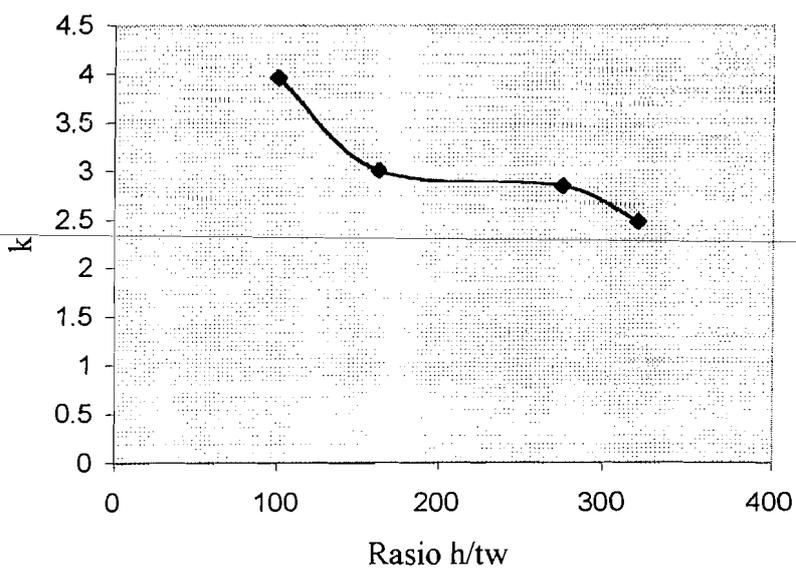
Gambar 5.6 Grafik hubungan beban (P) dengan tinggi gelagar (h) pengujian dan teoritis

5.2.3 Hubungan nilai koefisien tekuk pelat (k) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w)

Hubungan antara nilai koefisien tekuk pelat (k) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) ditunjukkan pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8. Nilai koefisien tekuk pelat didapatkan dari Persamaan (3.3) yang secara lengkap perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran 4.



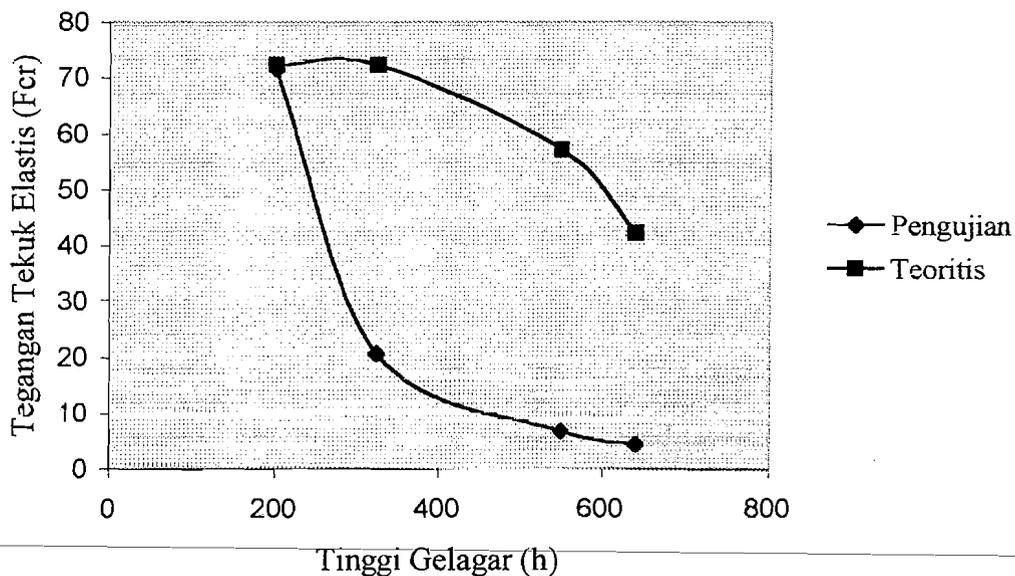
Gambar 5.7 Grafik hubungan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw) dengan koefisien tekuk pelat badan (k)



Gambar 5.8 Grafik hubungan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw) dengan koefisien tekuk pelat sayap (k)

5.2.4 Hubungan nilai tegangan tekuk elastis (F_{cr}) dengan tinggi gelagar (h) pengujian dan teoritis

Dari hasil perhitungan tegangan tekuk elastis (F_{cr}) pengujian dan teoritis yang didasarkan pada Persamaan (3.3) yang dapat dilihat pada Lampiran 5, diperoleh grafik hubungan tegangan tekuk elastis dengan tinggi gelagar seperti pada Gambar 5.9.

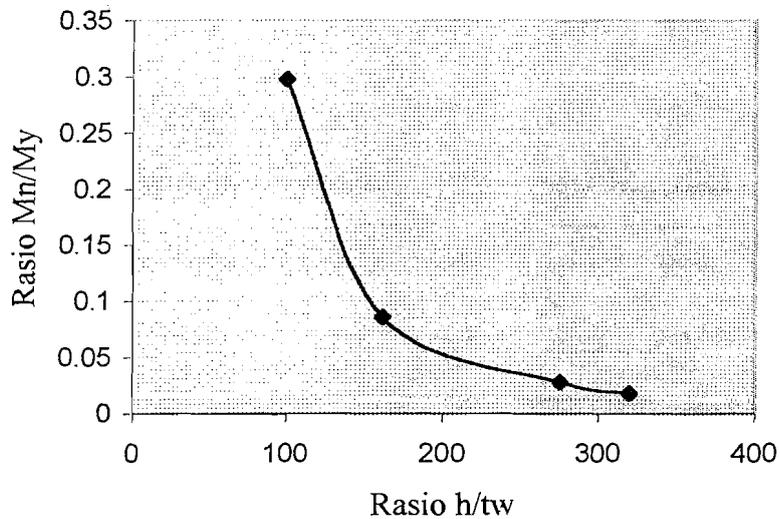


Gambar 5.9 Grafik hubungan nilai tegangan tekuk elastis (F_{cr}) dengan tinggi gelagar (h) pengujian dan teoritis

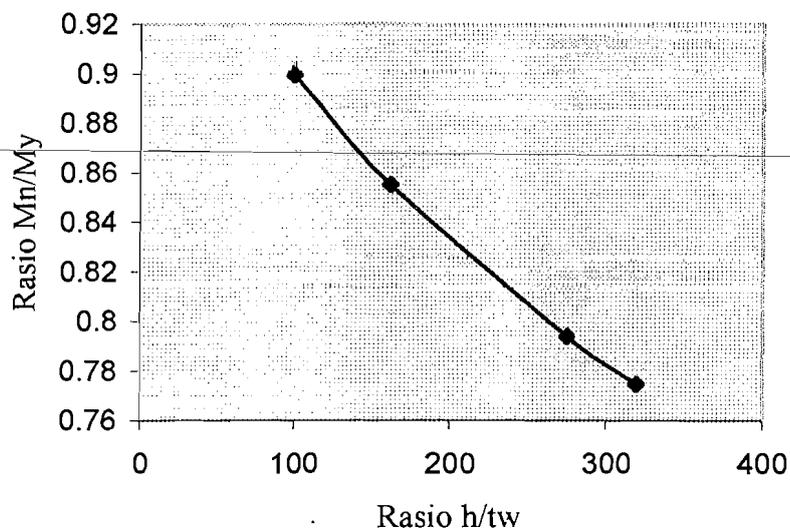
5.2.5 Hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) pengujian dan teoritis

Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) yang ditunjukkan Gambar 5.10. Selanjutnya dihitung nilai rasio momen nominal

terhadap momen leleh secara teoritis menggunakan Persamaan (3.19) dan (3.23) dengan hasil seperti pada Gambar 5.11.



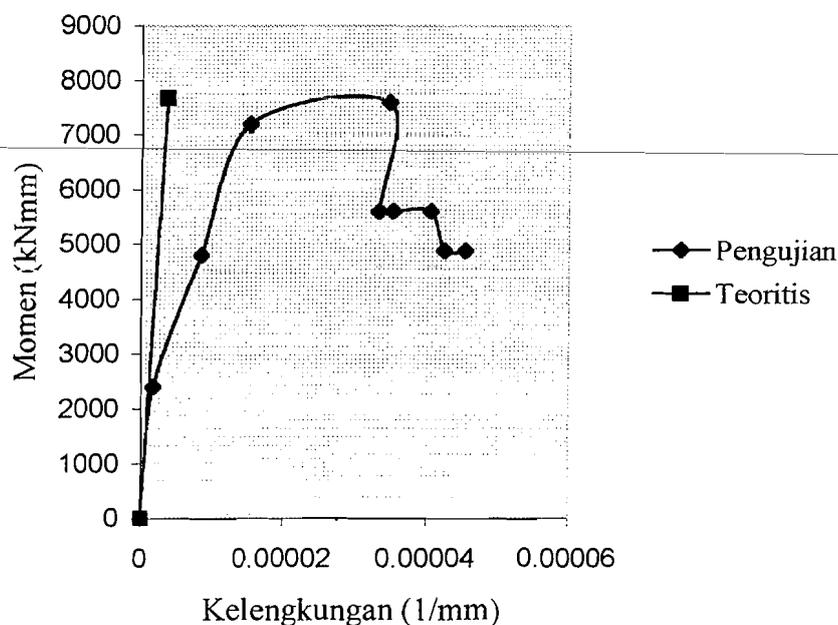
Gambar 5.10. Grafik hubungan momen nominal terhadap momen leleh dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan pengujian.



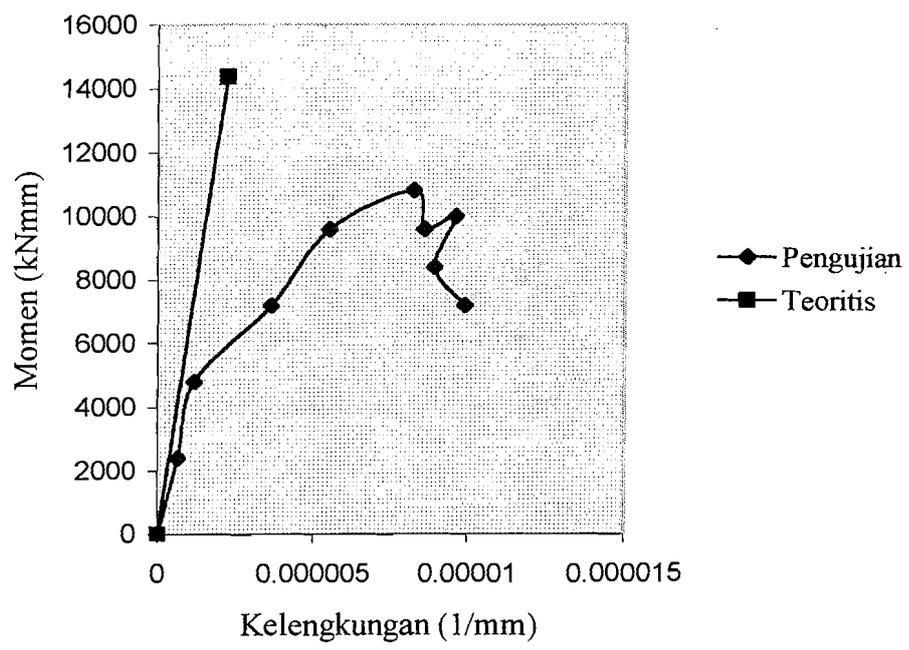
Gambar 5.11 Grafik hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan teoritis

5.2.6 Hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur pengujian dan teoritis

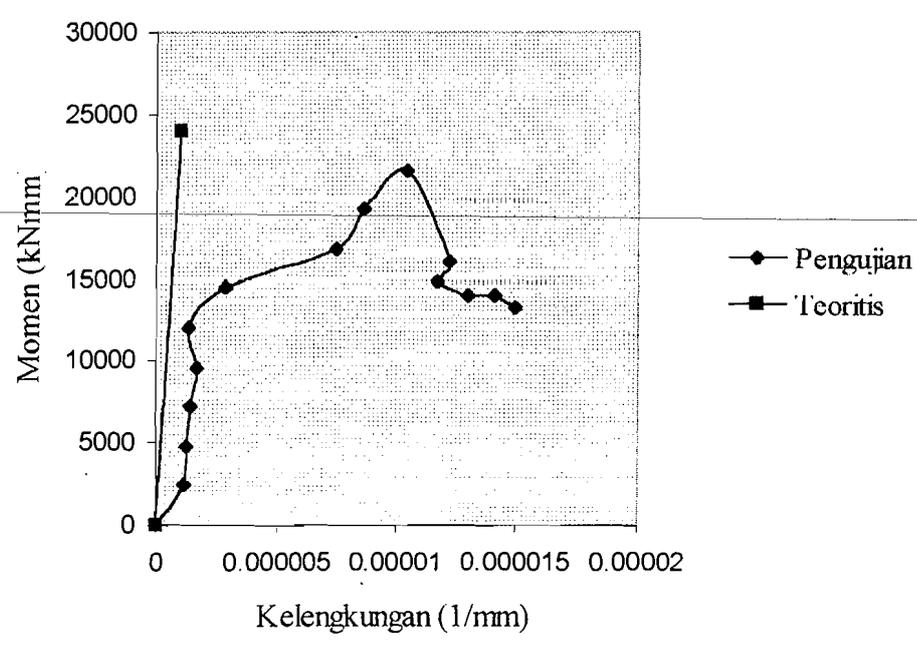
Dari hasil pengujian diperoleh grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) sehingga dapat dicari momen (M) dengan menggunakan Persamaan (3.56) dan kelengkungan (ϕ) menggunakan Persamaan (3.51). Hubungan grafik momen dengan kelengkungan dapat digunakan untuk mencari nilai kekakuan lentur gelagar (EI) dengan menggunakan Persamaan (3.55). Sedangkan perhitungan teoritis nilai momen didasarkan pada Persamaan (3.57) dan (3.58), nilai kelengkungan digunakan Persamaan (3.60). Secara lengkap perhitungan momen dengan kelengkungan pengujian dan teoritis dapat dilihat pada Lampiran 7 dan 8. Sehingga didapatkan grafik hubungan momen dengan kelengkungan lentur (vertikal) pengujian dan teoritis yang ditunjukkan pada gambar berikut ini,



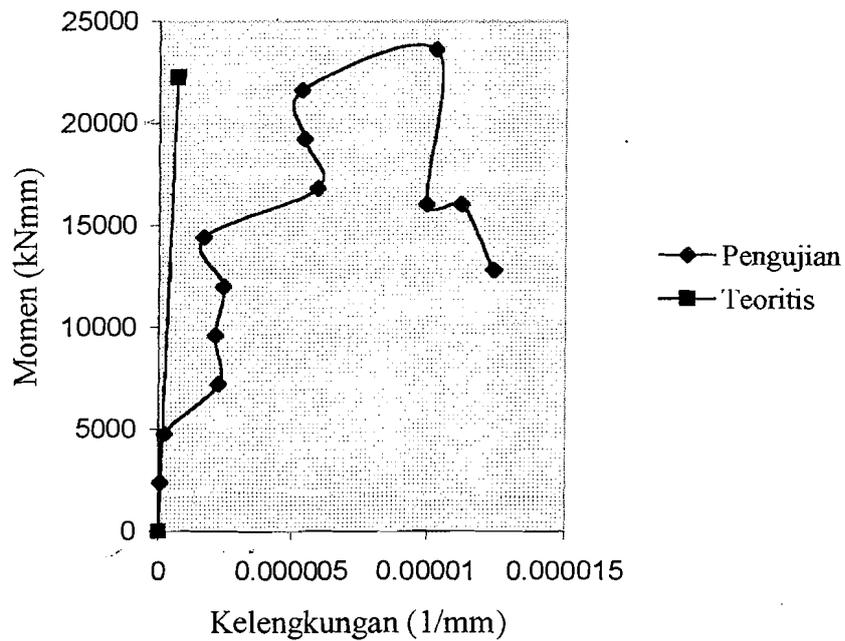
Gambar 5.12 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis benda uji 1



Gambar 5.13 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis benda uji 2



Gambar 5.14 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis benda uji 3



Gambar 5.15 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis benda uji 4

5.3 Analisa Data Hubungan Beban (P) dengan Lendutan (Δ) Lentur (vertikal)

Pengujian dan Teoritis

Perhitungan beban teoritis lentur didasarkan pada Persamaan (3.65) dan (3.66). Perhitungan beban teoritis geser didasarkan pada Persamaan (3.31). Hasil dari perhitungan beban lentur dan geser teoritis dipilih yang terkecil untuk menghitung lendutan teoritis. Nilai lendutan teoritis didasarkan pada Persamaan (3.35). Hasil dari perhitungan disajikan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Analisa Perbandingan Beban (P) terhadap Lendutan (Δ) Secara Teoritis dengan Pengujian

No	Benda Uji (mm)	P Uji (kN)	P teoritis Lentur (kN)	Δ Uji (mm)	Δ Teoritis (mm)
1	h = 200	9.5	9.5943	43.36	8.7
2	h = 324	13.5	17.9621	20.18	5.41
3	h = 550	27	30.0064	18.14	2.53
4	h = 640	29.5	27.8120	15.92	1.61

5.4 Analisa Data Hubungan Beban (P) dengan Tinggi Gelagar (h) dalam Kondisi Tebal (t) Pelat Gelagar Tetap Pengujian dan Teoritis

Data dari Gambar 5.6 seperti dalam Tabel 5.3. terlihat bahwa semakin besar nilai tinggi gelagar maka nilai beban yang diperoleh semakin besar untuk pengujian sedangkan pada teoritis diperoleh hasil dimana untuk benda uji 3 nilai beban teoritisnya lebih besar dari benda uji 4 yang bervariasi hubungan antara nilai P dengan h .

Tabel 5.3 Data hubungan nilai beban (P) terhadap tinggi gelagar (h) pengujian dan teoritis

Benda Uji	Tinggi h (mm)	Beban P Pengujian (kN)	Beban P Teoritis (kN)
1	200	9.5	9.5943
2	324	13.5	17.9621
3	550	27	30.0064
4	640	29.5	27.8120

5.5 Analisa Hasil Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk Pelat (k)

Data dari hasil pengamatan grafik hubungan koefisien tekuk pelat (k) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) seperti pada Tabel 5.4, sedangkan perhitungan didasarkan pada Persamaan (3.3), secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.4 Analisa hubungan nilai koefisien tekuk pelat (k) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w)

No	h/t_w	k badan	k sayap
1	100	3.961	3.961
2	162	7.8836	3.004
3	275	21.5041	2.8435
4	320	25.3505	2.4756

5.6 Analisa Hubungan Nilai Tegangan Tekuk Elastis (F_{cr}) dengan Tinggi Gelagar (h) Pengujian dan Teoritis

Data dari hasil Gambar 5.9 disajikan pada Tabel 5.5, perhitungan nilai F_{cr} didasarkan pada Persamaan (3.3) dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 5.5 Analisa hubungan tegangan tekuk elastis (F_{cr}) dengan tinggi gelagar (h) Pengujian dan teoritis

No	Benda Uji (h/t_w)	F_{cr} Pengujian (MPa)	F_{cr} Teoritis (MPa)
1	100	71.5272	72.3078
2	162	20.6908	72.3048
3	275	6.7967	57.1268
4	320	4.3701	42.1896

5.7 Analisa Rasio Momen Nominal terhadap Momen Leleh (M_n/M_y) dengan Rasio Tinggi terhadap Tebal Pelat Badan (h/t_w) Pengujian dan Teoritis

Hasil pengamatan pada Gambar 5.10 dan 5.11 ditunjukkan pada Tabel 5.6 dan 5.7. perhitungan nilai rasio momen nominal terhadap momen leleh didasarkan pada Persamaan (3.19) dan (3.23).

Tabel 5.6 Analisa rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) pengujian

Benda Uji	h/t_w	P	L	S _x	F _y	M _n	M _y	M _n /M _y
1	100	9.5	4800	106154.3	240	7592929	25477028	0.29803
2	162	13.5	4800	198737	240	4107855	47696890	0.086124
3	275	27	4800	420214.4	240	2853172	1.01E+08	0.028291
4	320	29.5	4800	527373.9	240	2302304	1.27E+08	0.01819

Tabel 5.7 Analisa rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) teoritis

No	h/t_w	h	F _{cr}	A _f	A _w	R _o	k	I _e	M _n	M _y	M _n /M _y
1	100	200	72.3048	800	800	1	0.467988	17864943	12139955	13496896	0.899463
2	162	324	72.3048	800	1296	1.62	0.454295	49766948	20351896	23801583	0.855065
3	275	550	57.126	800	2200	2.75	0.435982	1.58E+08	29105880	36655850	0.794031
4	320	640	42.1896	800	2560	3.2	0.430299	2.22E+08	25658275	33121649	0.774668

5.8 Analisa Data Hubungan Momen (M) dengan Kelengkungan (ϕ) Lentur Vertikal Pengujian dan Teoritis

Hasil pengamatan seperti pada Gambar (5.12; 5.13; 5.14; 5.15) dapat dicari nilai kekakuan lentur (EI) gelagar pelat penampang kotak seperti pada Tabel 5.8. Perhitungan didasarkan pada Persamaan (3.55), secara lengkap perhitungan momen – kelengkungan teoritis pada Lampiran 8.

Tabel 5.8 Analisa kekakuan lentur (EI) dari hubungan momen (M) dengan kelengkungan lentur (ϕ) vertikal pengujian dan teoritis

Benda Uji (mm)	M Uji (kNmm)	M Teoritis (kNmm)	ϕ Uji (1/mm)	ϕ Teoritis (1/mm)	$EI = M/\phi$ Uji (kN/mm ²)	$EI = M/\phi$ Teoritis (kN/mm ²)
h = 200	7600	7675.464	0.000034625	3.62E-06	219494585	2.12E+09
h = 324	10800	14369.64	0.00000825	2.23E-06	1.309E+09	6.44E+09
h = 550	21600	24005.17	1.04844E-05	1.04E-06	2.06E+09	2.31E+10
h = 640	23600	22248.69	1.02813E-05	6.59E-07	2.295E+09	3.38E+10

Dari data pada Tabel 5.8 dapat dianalisis daktilitas berdasarkan momen kelengkungan yang disajikan pada Tabel 5.9

Tabel 5.9 Analisa daktilitas berdasarkan hubungan momen (M) terhadap kelengkungan (ϕ)

NO	Benda Uji (mm)	M (KNmm)	Keleng. Mmaks ϕ_y (1/mm)	Keleng. Maks ϕ_u (1/mm)	Daktilitas $\mu = \phi_u / \phi_y$
1	h=200	7600	0.000034625	1.13E-05	3.26E-01
2	h=324	10800	0.00000825	2.48E-06	3.01E-01
3	h=550	21600	1.04844E-05	3.75E-06	3.58E-01
4	h=640	23600	1.02813E-05	3.11E-06	3.02E-01

5.9 Analisa Kerusakan Pada Benda Uji

Dalam penelitian gelagar pelat penampang kotak ini terjadi kerusakan pada bagian penampang kotak yang menerima beban dan tidak diberi pengaku lateral. Kerusakan yang terjadi adalah gelagar pelat tertekuk kesamping atau kearah lateral (horisontal) dan badan agak sedikit tertekuk vertikal dengan demikian sayap atas dan sayap bawah mengalami puntir. Karena badan tertekuk maka sayap atas dan

sayap bawah juga ikut mengalami kerusakan kearah lateral (horisontal) atau terjadi puntir. Pengujian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi gelagar (h) maka kekuatan lenturnya semakin besar dengan tebal pelat badan (tw) konstan dan h semakin kecil lebih rawan terhadap tekuk lateral dan lentur pada badan.

5.10 Pembahasan

Dari data yang diperoleh dan analisis yang telah dilakukan dengan merujuk pada landasan teori, maka dibahas sesuai tujuan penelitian. Selanjutnya pembahasannya diuraikan sebagai berikut.

5.10.1 Kuat tarik baja berdasarkan hasil pengujian kuat tarik baja

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik pelat baja maka baja dengan $F_y = 240$ Mpa dan $F_u = 320$ Mpa dapat digolongkan sebagai baja carbon, dan hasil pengujian kuat tarik Profil L (30x30x3) dengan $F_y = 370$ Mpa dan $F_u = 410$ Mpa maka baja dapat digolongkan sebagai *Heat-Treated Carbon and High-Strength Low-Alloy Steels*.

5.10.2 Kuat lentur vertikal gelagar pelat penampang kotak berdasarkan hubungan beban (P) dengan lendutan lentur (Δ) vertikal pengujian dan teoritis

Dengan mengamati hubungan beban-lendutan benda uji pada Gambar 5.1, dapat dilihat bahwa benda uji mempunyai perilaku yang hampir sama yaitu mulai dari titik awal sampai beban maksimum. Setelah itu mengalami penurunan beban dengan lendutan bertambah besar sampai terjadi keruntuhan.

Gelagar pelat dengan tinggi gelagar besar mampu menahan beban vertikal besar dibandingkan dengan gelagar pelat yang mempunyai tinggi lebih kecil baik pada pengujian maupun pada teoritis. Pada benda uji 4 diperoleh beban vertikal teoritis yang lebih kecil dibandingkan benda uji 3. Hal ini kemungkinan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan tidak proporsional (kelangsingan besar), yang menyebabkan berkurangnya kekuatan menahan beban vertikal.

Perhitungan beban teoritis lentur diperoleh nilai beban yang lebih besar dibandingkan dengan pengujiannya. Yang kemungkinan pada pengujiananya benda uji telah mengalami penurunan kekuatan akibat pengaruh cuaca (panas matahari, hujan) dan kondisi pengelasan. Semakin besar tinggi gelagar beban vertikal yang ditahan lebih besar dan lendutan yang terjadi semakin kecil.

5.10.3 Hubungan beban (P) dengan tinggi gelagar (h) dalam kondisi tebal pelat gelagar (t) tetap pengujian dan teoritis.

Dari hasil pada Gambar 5.6 menunjukkan bahwa nilai beban yang diperoleh benda uji dengan tinggi gelagar besar kekuatan menahan beban semakin besar baik pada pengujian maupun pada teoritis. Akan tetapi nilai beban teoritis pada benda uji 4 diperoleh hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan beban teoritis benda uji 3. Hal ini disebabkan adanya kemungkinan tidak proporsionalnya rasio tinggi gelagar terhadap tebal pelat badan yang menyebabkan berkurangnya kekuatan benda uji 4 menahan beban vertikal.

5.10.4 Kuat lentur gelagar pelat penampang kotak ditinjau dari hubungan nilai koefisien tekuk pelat (k) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw).

Dari hasil pengamatan Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 bahwa nilai koefisien tekuk pelat untuk pelat badan dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan besar, nilai kekakuannya besar sesuai dengan nilai kekakuan untuk pelat yang ditumpu sederhana pada kedua sisi sayapnya yaitu $k = 23,9$. Pada benda uji 1-3 nilai tersebut tidak dapat tercapai, hal ini dikarenakan gelagar tidak diberi pengaku. Pada benda uji 4 telah melampaui nilai k minimum untuk pelat yang ditumpu sederhana pada sayapnya, yaitu $k = 25,3505$.

Nilai k pada sayap untuk benda uji 2-4 mempunyai nilai dibawah dari persyaratan nilai k untuk tumpuan sederhana (sendi-sendu) yaitu $k = 4$. Pada benda uji 1 nilai k mendekati 4, yaitu $k = 3,961$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai k dipengaruhi oleh besarnya nilai tinggi gelagar, dimana semakin besar nilai h maka nilai k badan bertambah besar dan nilai k sayap kecil. Semakin besar tinggi gelagar (h) maka badan kuat dalam menahan tekuk lentur dan sayap rawan terhadap tekuk geser.

5.10.5 Hubungan nilai tegangan tekuk elastis (F_{cr}) dengan tinggi gelagar pelat

(h) pengujian dan teoritis

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa tinggi gelagar kecil mempunyai tegangan tekuk elastis yang besar sesuai dengan Persamaan (3.3) pada landasan teori. Nilai tegangan tekuk elastis pada pengujian dan teoritis menunjukkan perilaku yang sama yaitu semakin besar nilai rasio tinggi terhadap tebal nilai tegangan tekuk elastisnya semakin kecil. Hal ini bertolak belakang dengan hasil yang didapatkan dari pengujian, dimana tinggi gelagar semakin besar kuat lenturnya besar yang ditunjukkan oleh kemampuan gelagar dalam menahan beban vertikal (didapatkan

lendutan kecil). Kasus ini dikarenakan pada teori untuk rasio tinggi terhadap tebal pelat badan nilai pelat badannya variabel sedangkan tinggi gelagar konstan, sehingga rasio tinggi terhadap tebal pelat badan besar gelagar langsing rawan terhadap tekuk dan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan kecil (tw besar) pelat menjadi lebih kaku oleh ketebalan pelat. Dengan demikian lebih kuat menahan beban dibandingkan dengan tebal pelat badan yang tipis (tidak kuat menahan lentur).

5.10.6 Hubungan rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw).pengujian dan teoritis

Dari Gambar 5.10 dan 5.11 dapat disimpulkan bahwa nilai M_n/M_y pengujian dan teoritis untuk benda uji 1-2 grafik mengalami penurunan secara linier. Pada benda uji 2-3-4 grafik penurunan secara drastis. Bila dibandingkan dengan Gambar 3.9 (untuk profil I) pada BAB III didapat perilaku nilai rasio M_n/M_y terhadap rasio h/tw yang hampir sama dengan gelagar pelat penampang kotak. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa keempat benda uji rawan terhadap tekuk lentur pada badan.

5.10.7 Kekakuan lentur pelat berdasarkan hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) pengujian dan teoritis

Dengan mengamati Gambar 5.12-5.15 grafik hubungan momen dengan kelengkungan pengujian dan teoritis dapat dilihat bahwa momen yang terjadi pada pengujian lebih kecil dari pada teoritis kecuali pada benda uji 4 diperoleh momen yang lebih kecil dari benda uji 3. hal ini disebabkan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan sudah tidak proporsional lagi, sehingga kemampuan benda uji 4 dalam menahan momen menjadi berkurang. Dengan demikian mempengaruhi nilai

kelengkungan dan faktor kekakuan lentur. Secara umum antara pengujian dan teoritis menunjukkan perilaku yang sama untuk nilai kelengkungan dan faktor kekakuan lentur yaitu semakin besar tinggi gelagar kelengkungan semakin kecil dan faktor kekakuan lentur bertambah besar. Pada pengujian ini diperoleh nilai daktilitas yang bervariasi dari keempat benda uji seperti pada Tabel 5.9. sehingga dapat diketahui bahwa tingkat kelenturan keempat benda uji berbeda-beda. Dapat disimpulkan bahwa kekuatan lentur gelagar pelat dipengaruhi oleh tinggi gelagar tersebut.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini.

- 1) Hubungan antara beban (P) dengan lendutan (Δ) pada pengujian dan teoritis bahwa benda uji dengan tinggi gelagar (h) besar menunjukkan kemampuan menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji yang mempunyai h kecil, sehingga lendutan yang dihasilkan benda uji dengan h besar lebih kecil dibandingkan benda uji dengan h kecil. Ini berarti semakin besar nilai h kekuatan lentur benda uji semakin besar dalam kondisi tebal pelat badan (tw) tetap.
- 2) Dari data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa benda uji dengan tinggi gelagar (h) besar mampu menahan beban (P) yang lebih besar, sedangkan pada beban teoritis pada benda uji 4 diperoleh nilai beban yang lebih kecil dibandingkan dengan benda uji 3. Hal ini kemungkinan disebabkan sudah tidak proporsionalnya rasio tinggi terhadap tebal pelat badan yang menyebabkan berkurangnya kemampuan benda uji 4 menahan beban vertikal.

- 3) Nilai koefisien kekakuan pelat (k) badan pada benda uji 1, 2 dan 3 mempunyai nilai dibawah persyaratan nilai k untuk pelat yang ditumpu sederhana. Benda uji 4 nilai k badan = 25.3505 telah melampaui nilai minimum untuk pelat yang ditumpu sederhana yaitu k badan = 23.9. Sedangkan nilai kekakuan sayap (k) keempat benda uji kurang dari nilai k minimum yang ditumpu sederhana pada kedua sayapnya yaitu k sayap = 4 (benda uji dengan h kecil k sayapnya lebih besar). Dengan demikian nilai k pada pengujian ini dipengaruhi oleh variasi nilai h dengan kondisi tebal pelat badan (tw) tetap.
- 4) Nilai rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/tw) besar didapatkan nilai kuat lentur (F_{cr}) kecil. Hal ini berbeda dengan hasil yang diperoleh dari pengujian yang ditunjukkan pada hubungan beban lendutan, dikarenakan persamaan yang digunakan rasio h/tw nilai h konstan dan tw variabel. Sedangkan pada pengujian nilai h variabel dan nilai tw konstan. Jadi dapat disimpulkan bahwa nilai h atau tw yang variabel mempengaruhi kuat lentur gelagar pelat.
- 5) Nilai rasio momen nominal terhadap momen leleh (M_n/M_y) pengujian dan teoritis pada keempat benda uji mempunyai perilaku yang hampir sama dengan nilai rasio M_n/M_y pada gelagar pelat penampang I, tetapi nilai yang diperoleh lebih kecil. Ini berarti struktur gelagar penampang kotak rawan terhadap tekuk lentur.
- 6) Nilai kekakuan lentur (EI) pengujian dan teoritis menunjukkan perilaku yang sama yaitu semakin besar tinggi gelagar nilai kekakuan lenturnya semakin besar sehingga gelagar dengan tinggi besar mempunyai kekuatan yang besar, dengan indikasi dihasilkannya momen yang besar dan kelengkuangan yang terjadi kecil.

6.2 Saran

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

- 1) Penelitian menggunakan sampel dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) lebih besar 320 dari gelagar pelat penampang kotak.
- 2) Penelitian menggunakan sampel dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) dengan nilai h konstan dan t_w variabel.
- 3) Jenis sambungan yang digunakan baut sehingga dapat dibandingkan kekuatannya dengan sambungan las listrik.
- 4) Pemberian pengaku pada gelagar sehingga didapatkan lendutan yang lebih kecil dengan kemampuan menahan beban yang lebih besar.
- 5) Perbandingan tebal pelat badan dengan pelat sayap lebih besar dari satu atau lebih kecil dari satu.

DAFTAR PUSTAKA

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

Joseph e. Bpwles, 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.

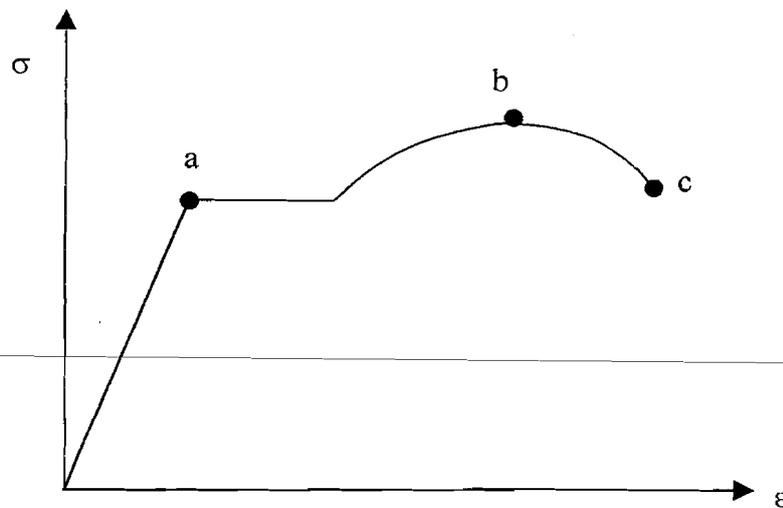
Ferdinand L. Singer dan Andrew Pytel, 1995, **ILMU KEKUATAN BAHAN**, Erlangga, Jakarta.

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

RAMPRAN

Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap kekuatan kuat tarik pelatbaja dengan tebal 2 mm dan profil L 30x30x3. pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 4 November 2002. adapun hasil uji pendahuluannya adalah sebagai berikut :



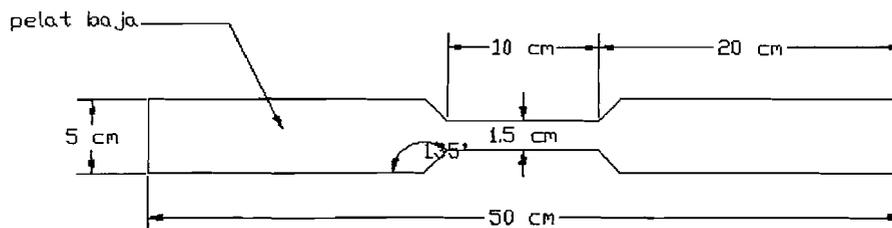
Keterangan

A = beban luluh ; b= beban maksimum ; c = beban patah

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

LAMPIRAN 2

a. pelat baja



$t = 0.2 \text{ cm}$

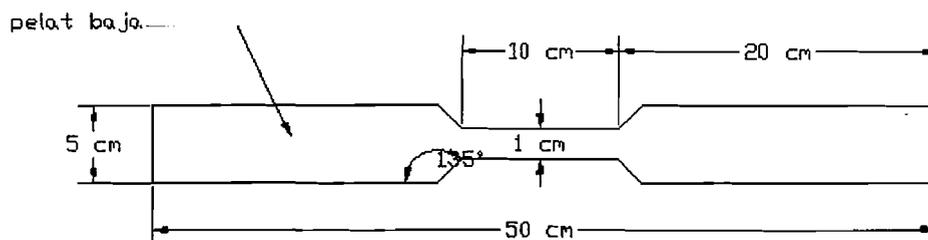
$A = 1.5 \text{ cm} \times 0.2 \text{ cm} = 0.3 \text{ cm}^2 = 30 \text{ mm}^2$

No	P luluh (N)	P maks (N)	P patah (N)	$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A}$ (Mpa)	$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$ (Mpa)
1	6450	9650	750	215	321.6667
2	7600	11375	2000	253.3333	379.1667
3	7300	10450	750	243.3333	348.3333

$F_y = \frac{215 + 253.3333 + 243.333}{3} = 237.2222 \text{ Mpa}$, dipakai $F_y = 240 \text{ Mpa}$

$F_u = \frac{321.6667 + 379.1667 + 348.333}{3} = 321.5972 \text{ Mpa}$, dipakai $F_u = 320 \text{ Mpa}$

b. Profil L30x30x30



$t = 0.3 \text{ cm}$

$A = 0.3 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 0.3 \text{ cm}^2 = 30 \text{ mm}^2$

LAMPIRAN 2

No	P luluh (N)	P maks (N)	P patah (N)	$F_y = \frac{\text{BebanLuluh}}{A}$ (Mpa)	$F_u = \frac{\text{BebanMaksimum}}{A}$ (Mpa)
1	9600	11200	4250	320	373.3333
2	11500	13050	3700	383.3333	435
3	12250	13550	3250	408.3333	451.6667

$$F_y = \frac{320 + 383.3333 + 408.333}{3} = 370.5556 \text{ Mpa}, \text{ dipakai } F_y = 370 \text{ Mpa}$$

$$F_u = \frac{373.3333 + 435 + 451.667}{3} = 407.6389 \text{ Mpa}, \text{ dipakai } F_u = 410 \text{ Mpa}$$

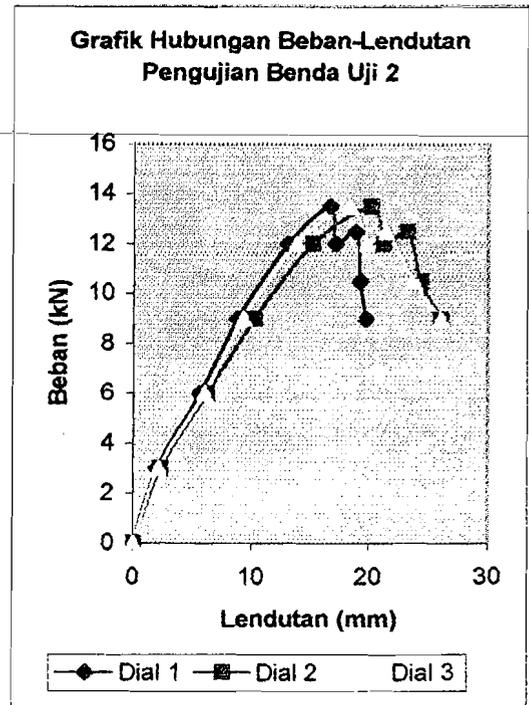
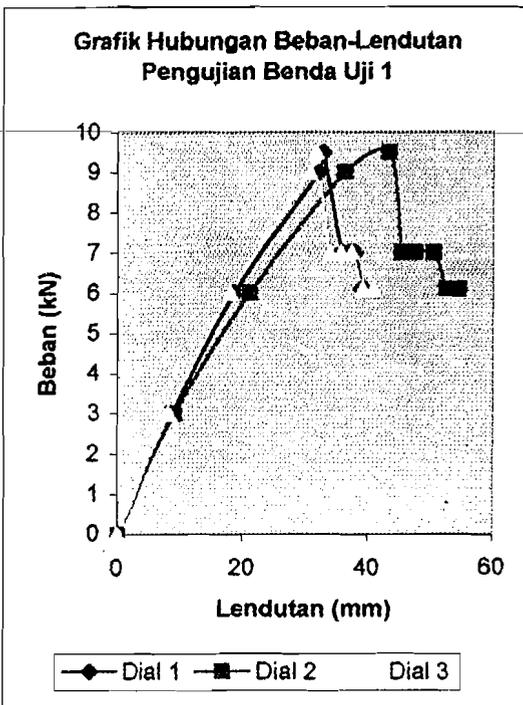
Hubungan Beban-Lendutan Pengujian

a. Benda uji 1

No	Beban kN	Defleksi (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0	0	0	0
2	3	8.88	9.19	8.4
3	6	18.83	21.18	18.14
4	9	32.14	36.35	30.72
5	9.5	32.85	43.36	31.71
6	7	35.78	45.48	33.91
7	7	36.89	47.53	35.65
8	7	37.88	50.57	37.36
9	6.1	38.99	52.65	39.16
10	6.1	39.35	54.66	40.96

b. Benda uji 2

No	Beban kN	Defleksi (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0	0	0	0
2	3	2.03	2.3	2.15
3	6	5.66	6.22	6.02
4	9	8.8	10.21	9.3
5	12	13.1	15.22	13.81
6	13.5	16.68	20.18	18.4
7	12	17.19	21.25	19.8
8	12.5	18.89	23.22	21.4
9	10.5	19.26	24.41	23.85
10	9	19.76	26.1	26.1

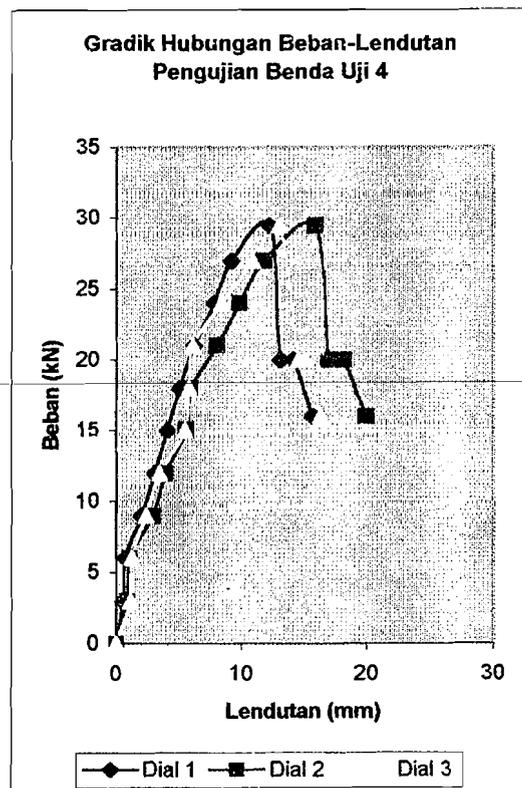
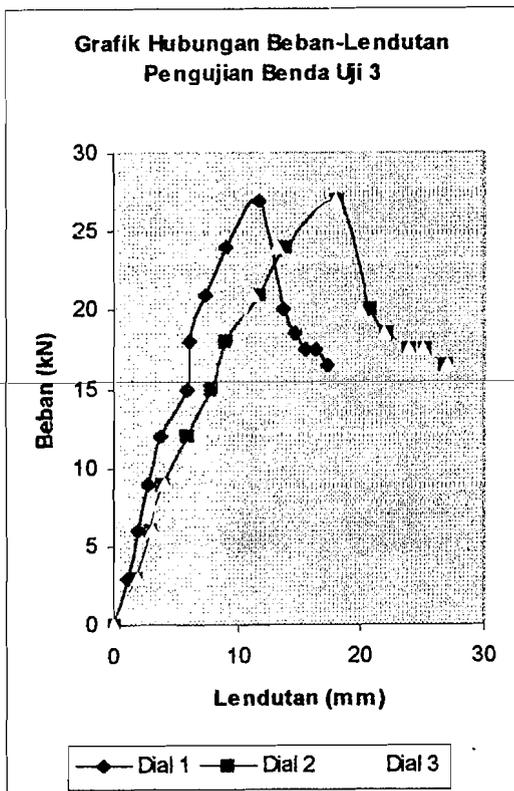


c. Benda Uji 3

No	Beban (kN)	Defleksi (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0	0	0	0
2	3	1.08	1.87	1.92
3	6	1.9	2.9	3.1
4	9	2.73	3.92	4.18
5	12	3.8	5.96	7.03
6	15	5.94	7.88	8.96
7	18	6.17	9.03	10.06
8	21	7.49	11.76	11.25
9	24	9.08	13.89	13.14
10	27	11.64	18.14	17.93
11	20	13.7	20.74	19.95
12	18.5	14.61	22.05	21.95
13	17.5	15.46	23.89	23.97
14	17.5	16.3	25.23	25.1
15	16.5	17.28	26.94	27

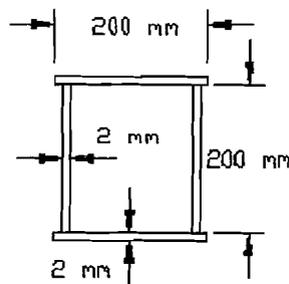
d. Benda Uji 4

No	Beban (kN)	Defleksi (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0	0	0	0
2	3	0.58	0.88	1.14
3	6	0.75	1.09	1.29
4	9	2.02	2.92	2.39
5	12	3.07	3.94	3.46
6	15	4.08	5.56	5.5
7	18	5.09	6	5.85
8	21	6.25	8.1	6.15
9	24	7.87	9.89	8.44
10	27	9.24	11.8	10.95
11	29.5	12.26	15.92	13
12	20	13.11	17	14.53
13	20	14.08	18.18	15.1
14	16	15.67	19.96	16.29



Perhitungan Nilai Koefisien Tekuk Pelat (k)

Sampel 1 (h/tw = 100)



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

$$y = 102 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} b h^3 + A y^2$$

$$I_{xA} = \left(\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 101^2 \right) \times 2 = 8161066,666$$

$$I_{xB} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 200^3 + 2 \cdot 200 \cdot 0^2 \right) \times 2 = 2666666,67 +$$

$$= 10827733,34 \text{ mm}^4$$

P max = 9,5 KN (didapat dari hasil pengujian pada saat mencapai beban maksimum)

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 9,5 \cdot 4800 = 7600 \text{ KN mm}$$

LAMPIRAN 4

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{10827733,34}{102} = 106154,2484 \text{ mm}^3$$

$$F_{Cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{7600}{106154,2484} = 0,0716 \text{ KN/mm}^2 = 71,6 \text{ N/mm}^2$$

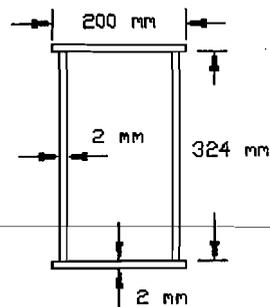
$$k = \frac{F_{Cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{h}{tw} \right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$E = 200.000 \text{ Mpa}$; $\mu = 0,3$; untuk sayap $h/t = b/t$

$$k_{badan} = \frac{17,6 \cdot 12 (1 - 0,3^2) 100^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 3,9610$$

$$k_{sayap} = \frac{17,6 \cdot 12 (1 - 0,3^2) 100^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 3,9610$$

Sampel 2 $h/tw = 162$



$$tw = tf = 2 \text{ mm}$$

$$y = 164 \text{ mm}$$

$$I_{xA} = \left(\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 163^2 \right) \times 2 = 21255466,66$$

$$I_{xB} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 324^3 + 2 \cdot 324 \cdot 0^2 \right) \times 2 = \underline{11337408} +$$

$$= 32592874,66 \text{ mm}^4$$

LAMPIRAN 4

$P_{max} = 13,5$ KN (didapat dari hasil pengujian pada saat mencapai beban maksimum)

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 13,5 \cdot 4800 = 10800 \text{ KN mm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{32592874,66}{164} = 198737,0406 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{10800}{198737,0406} = 0,0543 \text{ KN/mm}^2 = 54,3 \text{ N/mm}^2$$

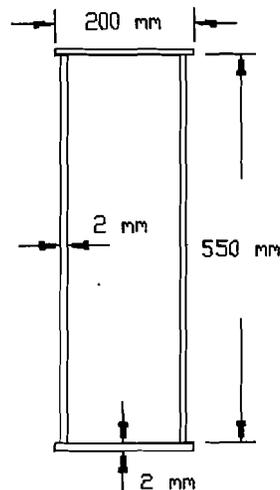
$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{h}{tw} \right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$E = 200.000$ Mpa ; $\mu = 0,3$; untuk sayap $h/t = b/t$

$$k_{badan} = \frac{54,3 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 162^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 7,8836$$

$$k_{sayap} = \frac{54,3 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 100^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 3,004$$

Sampel 3 ($h/tw = 275$)



LAMPIRAN 4

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

$$y = 278 \text{ mm}$$

$$I_{xA} = \left(\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 276^2 \right) \times 2 = 60941066,66$$

$$I_{xB} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2.550^3 + 2.550 \cdot 0^2 \right) \times 2 = \underline{55458333,332} + \\ = 116399399,98 \text{ mm}^4$$

P max = 27 KN (didapat dari hasil pengujian pada saat mencapai beban maksimum)

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 27 \cdot 4800 = 21600 \text{ KN mm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{116399399,98}{277} = 420214,4401 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{21600}{420214,4401} = 0,0514 \text{ KN/mm}^2 = 51,4 \text{ N/mm}^2$$

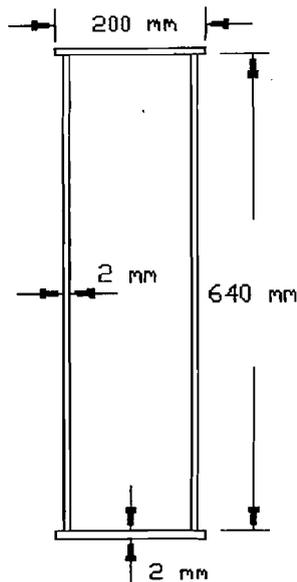
$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t_w} \right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

E = 200.000 Mpa ; $\mu = 0,3$; untuk sayap $h/t = b/t$

$$k_{badan} = \frac{51,4 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 275^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 21,5041$$

$$k_{sayap} = \frac{51,4 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 100^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 2,8435$$

Sampel 4 ($h/tw = 320$)



$$tw = tf = 2 \text{ mm}$$

$$y = 322 \text{ mm}$$

$$I_{xA} = \left(\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 321^2 \right) \times 2 = 82433066,66$$

$$I_{xB} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 640^3 + 2 \cdot 640 \cdot 0^2 \right) \times 2 = \underline{87381333,3} +$$
$$= 169814399,96 \text{ mm}^4$$

P max = 29,5 KN (didapat dari hasil pengujian pada saat mencapai beban maksimum)

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 29,5 \cdot 4800 = 23600 \text{ KN mm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{169814399,96}{322} = 527373,9127 \text{ mm}^3$$

LAMPIRAN 4

$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{23600}{527373,9127} = 0,04475 \text{ KN/mm}^2 = 44,75 \text{ N/mm}^2$$

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

$E = 200.000 \text{ Mpa}$; $\mu = 0,3$; untuk sayap $h/t = b/t$

$$k_{badan} = \frac{44,75 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) 320^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 25,3505$$

$$k_{sayap} = \frac{44,75 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2) 100^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 2,4756$$

Perhitungan Nilai Tegangan Lentur Kritis (F_{cr})

Rumus yang digunakan sesuai dengan persamaan pada landasan teori yaitu

Persamaan (3.3) dengan $b = h$ yaitu,

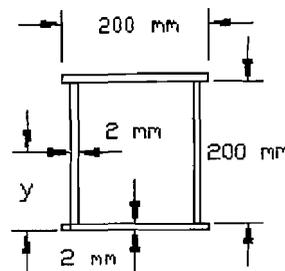
$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot \left(\frac{b}{l}\right)^2}$$

Setelah didapat nilai tegangan lentur kritis badan dan sayap maka diambil nilai yang terkecil untuk tegangan lentur kritis terpakai.

No	(h/tw)	(b/tf)	k badan Uji	k sayap Uji	k badan Toe.	k sayap Teo.	Fcr badan Uji (N/mm ²)	Fcr badan Teo (N/mm ²)	Fcr sayap Uji (N/mm ²)	Fcr sayap Teo (N/mm ²)	Fcr Uji Terp. (N/mm ²)	Fcr Teo Terp. (N/mm ²)
1	100	100	3.961	3.961	23.9	4	71.5998	431.0211	71.5998	72.3048	71.5272	72.3048
2	162	100	7.8836	3.004	23.9	4	54.3002	164.6171	20.6908	72.3048	20.6908	72.3048
3	275	100	21.5041	2.8435	23.9	4	51.4	57.1268	6.7967	72.3048	6.7967	57.1268
4	320	100	25.3505	2.4756	23.9	4	44.7501	42.1896	4.3701	72.3048	4.3701	42.1896

Perhitungan Beban Teoritis ($P_{teoritis}$) Berdasarkan Tegangan Lentur

Sampel 1 ($h/t_w = 100$)



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

$$y = 102 \text{ mm}$$

$F_{cr} = 72,3048 \text{ MPa}$ (dipakai F_{cr} teoritis sayap karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis

badan, pada lampiran 5)

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3 + Ay^2$$

$$I_{xA} = \left(\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 101^2 \right) \times 2 = 8161066,666$$

$$I_{xB} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 200^3 + 2 \cdot 200 \cdot 10^2 \right) \times 2 = \underline{2666666,67} +$$

$$= 10827733,34 \text{ mm}^4$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{10827733,34}{102} = 106154,2484 \text{ mm}^3$$

LAMPIRAN 6

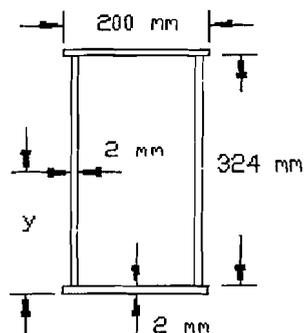
$$M = F_{cr} \cdot S_x = 72,3048 \cdot 106154,2848 = 7675464,332 \text{ Nmm} = 7675,4643 \text{ kNmm}$$

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

$$P = \frac{6M}{L} = \frac{6 \cdot 7675,4643}{4800} = 9,5943 \text{ kN}$$

$$P = P_{\text{teoritis}} = 9,5943 \text{ kN}$$

Sampel 2 ($h/t_w = 162$)



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

$$y = 164 \text{ mm}$$

$F_{cr} = 72,3048 \text{ MPa}$ (dipakai F_{cr} teoritis sayap karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis

badan, pada lampiran 5)

$$I_{xA} = \left(\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 163^2 \right) \times 2 = 21255466,66$$

$$I_{xB} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 324^3 + 2 \cdot 324 \cdot 0^2 \right) \times 2 = 11337408 +$$

$$= 32592874,66 \text{ mm}^4$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{32592874,66}{164} = 198737,0406 \text{ mm}^3$$

LAMPIRAN 6

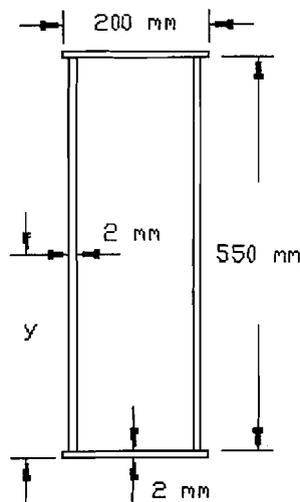
$$M = F_{cr} \cdot S_x = 72,3048 \cdot 198737,0406 = 14369641,97 \text{ Nmm} = 14369,642 \text{ kNmm}$$

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

$$P = \frac{6M}{L} = \frac{6 \cdot 14369,642}{4800} = 17,9621 \text{ kN}$$

$$P = P_{\text{teoritis}} = 17,9621 \text{ kN}$$

Sampel 3 ($h/t_w = 275$)



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

$$y = 278 \text{ mm}$$

$F_{cr} = 57,1268 \text{ MPa}$ (dipakai F_{cr} teoritis badan karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis

sayap, pada lampiran 5)

$$I_{xA} = \left(\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 276^2 \right) \times 2 = 60941066,66$$

LAMPIRAN 6

$$I_{xB} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2.550^3 + 2.550 \cdot 0^2 \right) \times 2 = \underline{55458333,332} +$$
$$= 116399399,98 \text{ mm}^4$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{116399399,98}{277} = 420214,4401 \text{ mm}^3$$

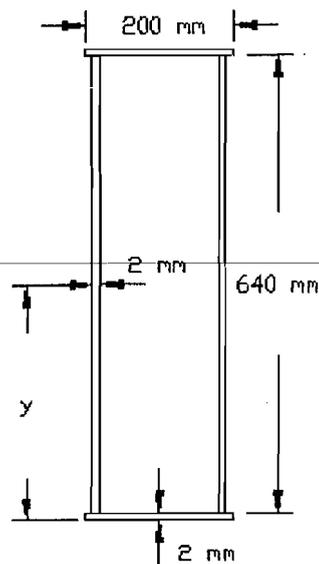
$$M = F_{cr} \cdot S_x = 57,1268 \cdot 420214,4401 = 24005170,11 \text{ Nmm} = 24005,1701 \text{ kNmm}$$

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

$$P = \frac{6M}{L} = \frac{6 \cdot 24005,1701}{4800} = 30,0064 \text{ kN}$$

$$P = P_{\text{teoritis}} = 30,0064 \text{ kN}$$

Sampel 4 ($h/t_w = 320$)



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

$$y = 322 \text{ mm}$$

LAMPIRAN 6

$F_{cr} = 42,1896$ MPa (dipakai F_{cr} teoritis badan karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis sayap, pada lampiran 5)

$$I_{xA} = \left(\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2 \cdot 321^2 \right) \cdot 2 = 82433066,66$$

$$I_{xB} = \left(\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 640^3 + 2 \cdot 640 \cdot 0^2 \right) \cdot 2 = \underline{87381333,3} + \\ = 169814399,96 \text{ mm}^4$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y} = \frac{169814399,96}{322} = 527373,9127 \text{ mm}^3$$

$$M = F_{cr} \cdot S_x = 42,1896 \cdot 527373,9127 = 22249694,43 \text{ Nmm} = 22249,69443 \text{ kNmm}$$

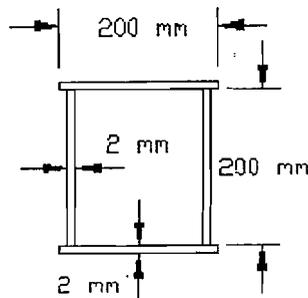
$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L$$

$$P = \frac{6M}{L} = \frac{6 \cdot 22249,69443}{4800} = 27,8120 \text{ kN}$$

$$P = P_{\text{teoritis}} = 27,8120 \text{ kN}$$

Perhitungan Beban Teoritis ($P_{teoritis}$) Berdasarkan Gaya Geser Maksimum

Benda uji 1 ($h/t_w = 100$)



$$V = A_w \cdot F_v$$

$$A_w = 2 \cdot h \cdot t_w = 2 \cdot 200 \cdot 2 = 800 \text{ mm}^2$$

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

dipakai F_{cr} teoritis sayap karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis badan, pada lampiran 5

$$C_v < 0,8 \Rightarrow \text{Gelagar pelat lentur elastis} \Rightarrow C_v = \frac{303000k}{F_{cr}(h/t_w)^2}$$

$$\text{untuk } a/h = 1550 \text{ mm} / 200 \text{ mm} = 3,875 \Rightarrow a/h \geq 1 \Rightarrow k = \frac{4,0}{(a/h)^2} + 5,34$$

$$k = \frac{4,0}{(3,875)^2} + 5,34 = 5,606$$

LAMPIRAN 6

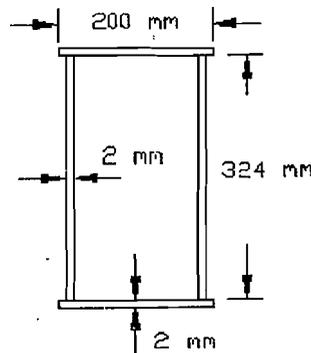
$$C_v = \frac{303000 \cdot 5,606}{72,3048 \cdot (100^2)} = 2,3492$$

$$F_v = \frac{72,3048}{2,89} \cdot 2,3492 = 58,7757 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 800 \cdot 58,7757 = 47020,5675 \text{ N} = 47,0206 \text{ kN}$$

$$V = (1/2)P \Rightarrow P = 94,0411 \text{ kN}$$

Benda uji 2 ($h/t_w = 162$)



$$V = A_w \cdot F_v$$

$$A_w = 2 \cdot h \cdot t_w = 2 \cdot 324 \cdot 2 = 1296 \text{ mm}^2$$

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

dipakai F_{cr} teoritis badan karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis sayap, pada lampiran 5

$$C_v < 0,8 \Rightarrow \text{Gelagar pelat lentur elastis} \Rightarrow C_v = \frac{303000k}{F_{cr}(h/t_w)^2}$$

$$\text{untuk } a/h = 1550 \text{ mm} / 324 \text{ mm} = 4,784 \Rightarrow a/h \geq 1 \Rightarrow k = \frac{4,0}{(a/h)^2} + 5,34$$

$$k = \frac{4,0}{(4,784)^2} + 5,34 = 5,515$$

LAMPIRAN 6

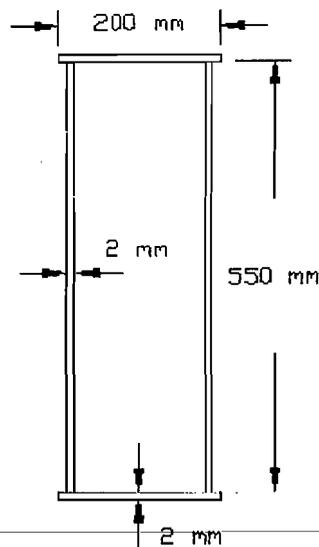
$$C_v = \frac{303000 \cdot 5,515}{72,3048 \cdot (162^2)} = 0,8806$$

$$F_v = \frac{72,3048}{2,89} \cdot 0,8806 = 22,0323 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 1296 \cdot 22,0323 = 28553,8895 \text{ N} = 28,5539 \text{ kN}$$

$$V = (1/2)P \Rightarrow P = 57,1078 \text{ kN}$$

• **Benda uji 3 ($h/t_w = 275$)**



$$V = A_w \cdot F_v$$

$$A_w = 2 \cdot h \cdot t_w = 2 \cdot 550 \cdot 2 = 2200 \text{ mm}^2$$

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

dipakai F_{cr} teoritis badan karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis sayap, pada lampiran 5

$$C_v < 0,8 \Rightarrow \text{Gelagar pelat lentur elastis} \Rightarrow C_v = \frac{303000k}{F_{cr}(h/t_w)^2}$$

LAMPIRAN 6

untuk $a/h = 1550 \text{ mm} / 550 \text{ mm} = 2,818 \Rightarrow a/h \geq 1 \Rightarrow k = \frac{4,0}{(a/h)^2} + 5,34$

$$k = \frac{4,0}{(2,818)^2} + 5,34 = 6,759$$

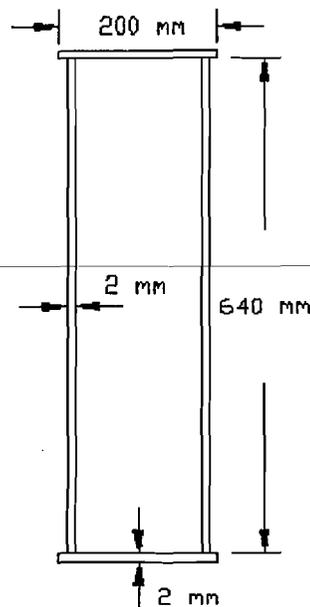
$$C_v = \frac{303000 \cdot 6,759}{57,1268 \cdot (275^2)} = 0,474$$

$$F_v = \frac{57,1268}{2,89} \cdot 0,474 = 9,3705 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 2200 \cdot 9,3705 = 20615,0563 \text{ N} = 20,6151 \text{ kN}$$

$$V = (1/2)P \Rightarrow P = 41,2301 \text{ kN}$$

Benda uji 4 ($h/t_w = 320$)



$$V = A_w \cdot F_v$$

$$A_w = 2 \cdot h \cdot t_w = 2 \cdot 640 \cdot 2 = 2560 \text{ mm}^2$$

LAMPIRAN 6

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

dipakai F_{cr} teoritis badan karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis sayap, pada lampiran 5

$$C_v < 0,8 \Rightarrow \text{Gelagar pelat lentur elastis} \Rightarrow C_v = \frac{303000k}{F_{cr}(h/tw)^2}$$

$$\text{untuk } a/h = 1550 \text{ mm} / 640 \text{ mm} = 2,422 \Rightarrow a/h \geq 1 \Rightarrow k = \frac{4,0}{(a/h)^2} + 5,34$$

$$k = \frac{4,0}{(2,422)^2} + 5,34 = 6,022$$

$$C_v = \frac{303000 \cdot 6,022}{42,1896 \cdot (320^2)} = 0,4224$$

$$F_v = \frac{42,1896}{2,89} \cdot 0,4224 = 6,1657 \text{ N/mm}^2$$

$$V = 2560 \cdot 6,1657 = 15784,308 \text{ N} = 15,7843 \text{ kN}$$

$$V = (1/2)P \Rightarrow P = 31,5686 \text{ kN}$$

Perhitungan Kelengkungan Pengujian

Perhitungan kelengkungan pengujian menggunakan Persamaan (3.51) pada landasan teori

❖ Benda Uji 1

No	Beban kN	Defleksi (mm)			Momen (kNm) $M = 1/6 PL$	Kelengkungan (1/mm)
		Dial 1	Dial 2	Dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	8.9	9.19	8.4	2400	1.71875E-06
3	6	19	21.18	18.14	4800	8.42188E-06
4	9	32	36.35	30.72	7200	0.000015375
5	9.5	33	43.36	31.71	7600	0.000034625
6	7	36	45.48	33.91	5600	3.32344E-05
7	7	37	47.53	35.65	5600	3.51875E-05
8	7	38	50.57	37.36	5600	4.04688E-05
9	6.1	39	52.65	39.16	4880	4.24219E-05
10	6.1	39	54.66	40.96	4880	4.53281E-05

❖ Benda Uji 2

No	Beban kN	Defleksi (mm)			Momen (kNm) $M = 1/6 PL$	Kelengkungan (1/mm)
		Dial 1	Dial 2	Dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	2.03	2.3	2.15	2400	6.5625E-07
3	6	5.66	6.22	6.02	4800	1.1875E-06
4	9	8.8	10.21	9.3	7200	0.000003625
5	12	13.1	15.22	13.81	9600	5.51563E-06
6	13.5	16.68	20.18	18.4	10800	0.00000825
7	12	17.19	21.25	19.8	9600	8.60938E-06
8	12.5	18.89	23.22	21.4	10000	9.60938E-06
9	10.5	19.26	24.41	23.85	8400	8.92187E-06
10	9	19.76	26.1	26.1	7200	9.90625E-06

LAMPIRAN 7

❖ Benda Uji 3

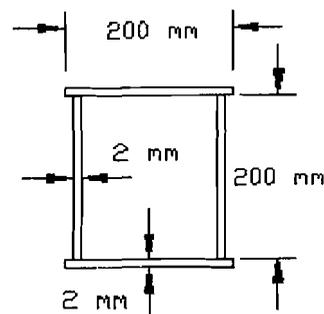
No	Beban kN	Defleksi (mm)			Momen (kNmm) M = 1/6 PL	Kelengkungan (1/mm)
		Dial 1	Dial 2	Dial 3		
1	0	0	0	0	0	0
2	3	1.08	1.87	1.92	2400	1.15625E-06
3	6	1.9	2.9	3.1	4800	0.00000125
4	9	2.73	3.92	4.18	7200	1.45313E-06
5	12	3.8	5.96	7.03	9600	1.70313E-06
6	15	5.94	7.88	8.96	12000	1.34375E-06
7	18	6.17	9.03	10.06	14400	2.85938E-06
8	21	7.49	11.76	11.25	16800	7.46875E-06
9	24	9.08	13.89	13.14	19200	8.6875E-06
10	27	11.64	18.14	17.93	21600	1.04844E-05
11	20	13.7	20.74	19.95	16000	1.22344E-05
12	18.5	14.61	22.05	21.95	14800	1.17813E-05
13	17.5	15.46	23.89	23.97	14000	1.30469E-05
14	17.5	16.3	25.23	25.1	14000	1.41563E-05
15	16.5	17.28	26.94	27	13200	0.000015

❖ Benda Uji 4

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	0.58	0.88	1.14	2400	6.25E-08
3	6	0.75	1.09	1.29	4800	2.1875E-07
4	9	2.02	2.92	2.39	7200	2.23438E-06
5	12	3.07	3.94	3.46	9600	2.10938E-06
6	15	4.08	5.56	5.5	12000	2.40625E-06
7	18	5.09	6	5.85	14400	1.65625E-06
8	21	6.25	8.1	6.15	16800	5.9375E-06
9	24	7.87	9.89	8.44	19200	5.42188E-06
10	27	9.24	11.8	10.95	21600	5.32813E-06
11	29.5	12.26	15.92	13	23600	1.02813E-05
12	20	13.11	17	14.53	16000	9.9375E-06
13	20	14.08	18.18	15.1	16000	1.12188E-05
14	16	15.67	19.96	16.29	12800	1.24375E-05

Perhitungan Momen (M) dengan Kelengkungan (ϕ) secara Teoritis

Sampel 1 ($h/tw = 100$)



❖ Kondisi elastis

dipakai F_{cr} teoritis sayap karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis badan, pada lampiran 5

$$M = F_{cr} \cdot S_x = 72,3048 \cdot 106154,2848 = 7675464,332 \text{ Nmm}]$$

$$= 7675,464 \text{ kNmm}$$

nilai regangan

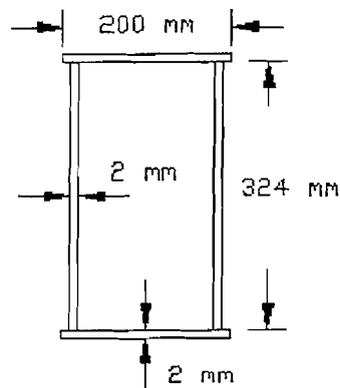
$$\varepsilon = \frac{F_{cr}}{E} = \frac{72,3048}{200000} = 3,6152 \cdot 10^{-4}$$

nilai kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{3,6152 \cdot 10^{-4}}{200/2} = 3,6152 \cdot 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

LAMPIRAN 8

Sampel 2 ($h/t_w = 162$)



❖ Kondisi elastis

dipakai F_{cr} teoritis sayap karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis badan, pada

lampiran 5

$$M = F_{cr} \cdot S_x = 72,3048 \cdot 198737,0406 = 14369641,97 \text{ Nmm}$$

$$= 14369,642 \text{ kNmm}$$

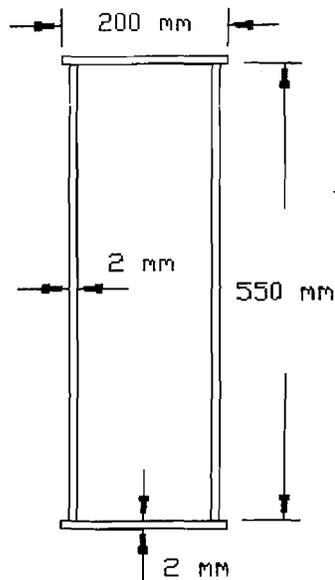
nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{F_{cr}}{E} = \frac{72,3048}{200000} = 3,6152 \cdot 10^{-4}$$

nilai kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{3,6152 \cdot 10^{-4}}{324/2} = 2,2316 \cdot 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

Sampel 3 ($h/tw = 275$)



❖ Kondisi elastis

dipakai F_{cr} teoritis badan karena lebih kecil dari F_{cr} teoritis sayap, pada lampiran 5

$$M = F_{cr} \cdot S_x = 57,1268 \cdot 420214,4401 = 24005170,11 \text{ Nmm}$$

$$= 24005,1701 \text{ kNmm}$$

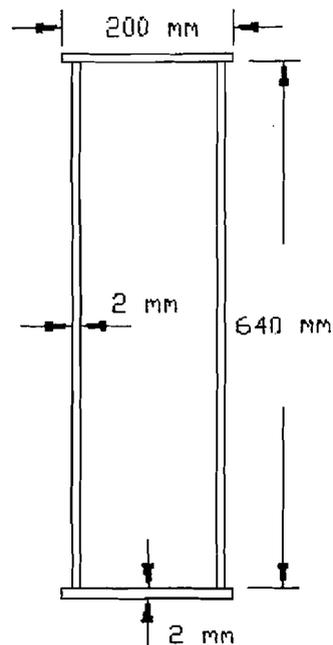
nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{F_{cr}}{E} = \frac{57,1268}{200000} = 2,8563 \cdot 10^{-4}$$

nilai kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{2,8563 \cdot 10^{-4}}{550/2} = 1,0387 \cdot 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

Sampel 4 ($h/tw = 320$)



❖ Kondisi elastis

dipakai F_{cr} teoritis badan lebih kecil dari F_{cr} teoritis sayap, pada lampiran 5

$$M = F_{cr} \cdot S_x = 42,1896 \cdot 527373,9127 = 22249694,43 \text{ Nmm}$$

$$= 22248,6944 \text{ kNmm}$$

nilai regangan

$$\varepsilon = \frac{F_{cr}}{E} = \frac{42,1896}{200000} = 2,1095 \cdot 10^{-4}$$

nilai kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} = \frac{2,1095 \cdot 10^{-4}}{640/2} = 6,5921 \cdot 10^{-7} \text{ 1/mm}$$

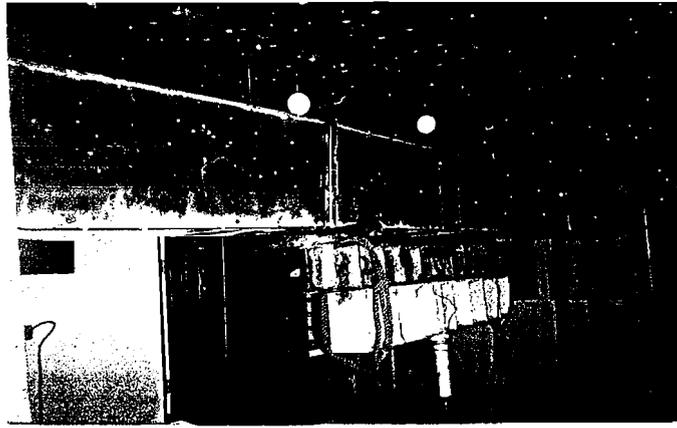


Foto Pelaksanaan Pengujian Benda Uji

