

TUGAS AKHIR

**KUAT LENTUR GELAGAR PELAT
PENAMPANG TRAPESIUM DENGAN VARIASI
RASIO LEBAR TERHADAP TEBAL PELAT SAYAP**
*(FLEXIBLE STRENGTH THE TRAPEZOIDAL PROFILE OF GIRDER PLATES
WITH VARIATION THE WIDTH TO THICKNESS RATIO)*



Amirul Mukminin (92 310 066)

Rachmad (92 310 266)

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

2003

TUGAS AKHIR

**KUAT LENTUR GELAGAR PELAT
PENAMPANG TRAPESIUM DENGAN VARIASI
RASIO LEBAR TERHADAP TEBAL PELAT SAYAP**

Disusun oleh :


Amirul mukminin : 92310066

Rachmad : 92310266

Diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Ir. H. Suharyatmo., MT)

Tanggal: 10/9/03



(Ir. Fatkhurrohman N., MT)

Tanggal:

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

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

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini kupersembahkan buat,

1. Bapak Ibu yang tercinta
2. Kakek Nenek yang tercinta
3. Adik-adikku tersayang
4. Teman dan sahabat dekatku yang dikasihi Allah
5. Para pembaca sekalian.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala karunia, hidayah, nikmat dan hinayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir sebagai salah satu prasyarat kelulusan sarjana S1 di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Tugas akhir merupakan sarana mahasiswa untuk mengaplikasikan ilmu dan pengetahuan yang telah didapat selama mengikuti perkuliahan di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil UII.

Pada kesempatan ini penulis tidak berlebihan kiranya menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Ir Suharyatmo., MT selaku Dosen Pembimbing I.
2. Bapak Ir. Fatkhurrohman N., MT selaku Dosen Pembimbing II.
3. Bapak Ir. H. Widodo., MSCE., PhD selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Munadhir., MS selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak dan Ibu serta kakak-adikku tercinta atas segala dukungan moral maupun material yang tak terhingga dengan segala bentuk doa-nya.

6. Bapak KH. Saifudin atas segala doa dan bimbingan rohani-nya.
7. Teman-teman seperjuangan yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
8. Semua pihak yang telah banyak 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 pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, September 2003

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAKSI	xvii
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	10
3.3 Tekuk pada Sayap Pelat	12
3.4 Lentur pada Bidang badan	15
3.5 Hubungan Beban Lendutan	17
3.6 Hubungan Momen dengan Kelengkungan	18
3.7 Nilai Koefisien Kekakuan	25
BAB IV METODE PENELITIAN	26
4.1 Bahan Penelitian	26
4.2 Model Benda Uji	26
4.2.1 Benda Uji Pendahuluan	26
4.2.2 Benda Uji Gelagar Pelat Penampang Trapesium	27
4.3 Peralatan Pengujian	28
1. Mesin Uji Kuat Tarik	28
2. <i>Loading Frame</i>	28
3. <i>Dial Gauge</i>	29
4. <i>Hydraulic Jack</i>	30
4.4 Pembuatan Benda Uji	30
4.5 Langkah-langkah Pengujian	31
4.5.1 Uji Tarik Baja	31
4.5.2 Uji Desak Pelat	31
4.6 Prosedur Penelitian	32

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	34
5.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	34
5.2 Hasil Pengujian Lentur Gelagar Pelat Penampang Trapesium	34
5.2.1 Hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) lentur (<i>vertikal</i>) pengujian dan teoritis	35
5.2.2 Hubungan beban (P) dengan lebar sayap (bf) dalam kondisi tebal pelat gelagar (t) tetap pengujian dan teoritis	37
5.2.3 Hubungan nilai koefisien nilai kekakuan pelat (k) dengan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (bf/tf)	38
5.2.4 Hubungan nilai tegangan lentur (F_{cr}) dengan lebar gelagar (bf) pengujian dan teoritis	40
5.2.5 Hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur pengujian dan teoritis	40
5.3 Analisa Data Hubungan Beban (P) dengan lendutan (Δ) lentur (<i>vertikal</i>) pengujian dan teoritis	43
5.4 Analisa Data Hubungan Beban (P) dengan Lebar Gelagar (bf) dalam kondisi tebal pelat gelagar (t) tetap pengujian dan teoritis	43
5.5 Analisa Hasil Perhitungan Nilai Koefisien kekakuan pelat (k) dengan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (bf/tf)	44
5.6 Analisa Hubungan Nilai Tegangan lentur (F_{cr}) dengan lebar gelagar (bf) pengujian dan teoritis	45
5.7 Analisa Data momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur pengujian dan teoritis	45

5.8 Analisa Kerusakan Bena Uji	46
5.9 Pembahasan	47
5.9.1 Kuat tarik baja berdasarkan hasil pengujian kuat tarik baja ..	47
5.9.2 Kuat lentur gelagar pelat penampang trapesium berdasarkan beban (P) dengan lendutan (Δ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis	47
5.9.3 Hubungan beban (P) dengan lebar gelagar (bf) dalam kondisi tebal pelat gelagar (t) tetap pengujian dan teoritis ..	48
5.9.4 Kuat lentur gelagar pelat penampang trapesium ditinjau dari hubungan nilai koefisien kekakuan pelat (k) dengan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (bf/t)	49
5.9.5 Hubungan nilai tegangan lentur (F_{cr}) dengan lebar gelagar (bf) pengujian dan teoritis	49
5.9.6 Kekakuan lentur pelat berdasarkan hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur pengujian dan teoritis	50
BAB VI KESIMPULAN	51
6.1 Kesimpulan	51
6.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3.1** Komponen gelagar penampang trapesium dan distribusi tegangan
- Gambar 3.2** Gaya yang terjadi akibat beban pada badan
- Gambar 3.3** Gaya yang terjadi akibat beban pada sayap
- Gambar 3.4** Koefisien tekuk untuk pelat yang ditekan secara merata tepi longitu-dinal bertumpuan sederhana
- Gambar 3.5** Koefisien tekuk elastis pada pelat segi empat datar
- Gambar 3.6** Koefisien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni
- Gambar 3.7** Defleksi tekuk pelat pada sayap (jepit jepit)
- Gambar 3.8** Hubungan beban dan lendutan pada balok
- Gambar 3.9** Momen kelengkungan
- Gambar 3.10** Deformasi segmen balok dalam lenturan
- Gambar 3.11** Grafik momen kelengkungan
- Gambar 4.1** Model benda uji untuk mendapatkan tegangan leleh dari pelat baja.
- Gambar 4.2** Gambar model benda uji
- Gambar 4.3** *Universal Testing Matrial Shimatzu UMH30*
- Gambar 4.4** *Loading Frame*
- Gambar 4.5** *Dial Gauge*
- Gambar 4.6** *Hidraulic Jack*

- Gambar 4.7** Bagan alir penelitian
- Gambar 5.1** Grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) keempat benda uji
- Gambar 5.2.** Hubungan beban-lendutan pengujian dengan teoritis benda uji 1
- Gambar 5.3** Hubungan beban-lendutan pengujian dengan teoritis benda uji 2
- Gambar 5.4** Hubungan beban lendutan pengujian dengan teoritis benda uji 3
- Gambar 5.5** Hubungan beban-lendutan pengujian dengan teoritis benda uji 4
- Gambar 5.6** Grafik hubungan beban (P) dengan lebar sayap atas (bf) pengujian dan teoritis
- Gambar 5.7** Grafik hubungan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (bf/tf) dengan koefisien kekakuan pelat sayap (k)
- Gambar 5.8** Grafik hubungan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (bf/tf) dengan koefisien kekakuan pelat badan (k)
- Gambar 5.9** Grafik hubungan nilai tegangan lentur (F_{cr}) dengan lebar sayap gelagar (bf) pengujian dan teoritis
- Gambar 5.10** Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis benda uji 1
- Gambar 5.11** Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis benda uji 2
- Gambar 5.12** Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis benda uji 3
- Gambar 5.13** 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 lebar sayap gelagar (b_f) pengujian dan teoritis
- Tabel 5.4** Analisa hubungan nilai koefisien kekakuan pelat (k) dengan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap ($b_f t_f$)
- Tabel 5.5** Analisa hubungan tegangan lentur (F_{cr}) dengan lebar sayap gelagar (b_f) Pengujian dan teoritis
- Tabel 5.6** Analisa kekakuan lentur (EI) dari hubungan momen (M) dengan kelengkungan lentur (ϕ) vertikal pengujian dan teoritis
- Tabel 5.7** 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 elastik
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	= Koefisien 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** = Lembar Pengesahan Tugas Akhir
- Lampiran 2** = Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja
- Lampiran 3** = Hubungan Beban Lendutan Pengujian Benda Uji, Perhitungan Nilai Tegangan Lentur Kritis (f_{cr}) dan Perhitungan Tegangan Kritis (F_{cr}) Teoritis
- Lampiran 4** = Perhitungan Beban Teoritis (P Teoritis) Berdasarkan Tegangan Lentur
- Lampiran 5** = Perhitungan Nilai Koefisien Kekakuan Pelat (k) Pengujian
- Lampiran 6** = Perhitungan Momen (M) dengan Kelengkungan (ϕ) Secara Teoritis
- Lampiran 7** = Foto Pelaksanaan Pengujian

ABSTRAKSI

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

Penelitian eksperimental terhadap gelagar pelat penampang trapesium ini menggunakan empat benda uji dengan panjang bentang (L) konstan, tebal pelat (t) dan tinggi gelagar konstan, dan lebar sayap (b_f) bervariasi yaitu, 300 mm, 350 mm, 400 mm dan 450 mm. Tujuan penelitian ini untuk mencari hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ), hubungan beban dengan variasi lebar sayap (b_f), hubungan nilai koefisien kekakuan pelat (k) dengan rasio kerampingan lebar pelat sayap (b_f/t_f), nilai tegangan kritis (F_{cr}), hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ), hubungan lendutan secara teoritis (Δ_{teoritis}) dengan lendutan pengujian ($\Delta_{\text{pengujian}}$).

Hasil dari pengujian eksperimental ini diperoleh bahwa benda uji dengan lebar sayap gelagar besar mempunyai kuat lentur vertikal lebih kecil dari pada lebar sayap gelagar kecil. Nilai lebar gelagar semakin besar diperoleh beban yang semakin kecil pada saat pengujian, nilai koefisien kekakuan pelat sayap semakin besar dan nilai koefisien kekakuan badan semakin kecil. Dari perhitungan momen kelengkungan didapatkan nilai kekakuan lentur pelat (EI) yang nilainya semakin besar. Untuk keempat benda uji didapatkan nilai lendutan lebih besar dibandingkan dengan hasil teoritis. Untuk keempat benda uji didapatkan pola lendutan teoritis yang sama dengan lendutan pengujian yang nilainya semakin kecil. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa pemakaian nilai lebar sayap gelagar pelat (b_f) kecil pada kondisi tebal pelat sayap (t_f) konstan lebih kuat menahan lentur sehingga dengan bentang panjang akan lebih ekonomis. Dengan demikian nilai dari lebar gelagar pelat mempengaruhi kekuatan dari gelagar pelat.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

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 penampang tersusun dari pelat pelat. Sehingga didapat penampang yang mempunyai momen inersia besar.

Karena gelagar pelat disusun dari elemen pelat maka perilaku gelagar pelat dipengaruhi oleh pelat. Untuk itu diperlukan inovasi untuk mendapatkan susunan pelat yang baik sehingga dapat terhindar dari kegagalan dini yaitu, tekuk lokal pada sayap dan tekuk puntir lateral. Gelagar pelat penampang trapesium merupakan struktur dengan perilaku yang stabil dibandingkan dengan penampang I. Dikarenakan elemen-elemen pelat ditumpu secara menerus pada kedua sisi sayapnya, sehingga akan memperbesar nilai koefisien tekuk pelat (k) baik pada tekuk tekan, lentur dan geser yang mengakibatkan nilai tegangan kritis (F_{cr}) besar. Nilai k

dipengaruhi oleh jenis tegangan, rasio aspek a/b dan deraiat pengekangan di tepi pelat. Gelagar pelat bernilai ekonomis bila rasio lebar terhadap tebal (b_f/t_f) besar, akan tetapi rasio lebar terhadap tebal besar tegangan kritis elemen pelat rendah. Melihat fenomena tersebut timbul pemikiran untuk meneliti hubungan tegangan kritis (F_{cr}), koefisien kekakuan pelat (k) pada gelagar pelat penampang trapesium dengan rasio lebar terhadap tebal (b_f/t_f) pelat sayap.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi lebar terhadap tebal (b_f/t_f) pelat sayap terhadap nilai koefisien kekakuan pelat (k) dan lentur (F_{cr}) gelagar pelat penampang trapesium.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengetahui perilaku gelagar pelat dengan variasi lebar terhadap tebal pelat sayap (b_f/t_f), yaitu:

1. Memperoleh hubungan beban (P) dengan Lendutan (Δ) pengujian dan teoritis gelagar pelat penampang trapesium.
2. Memperoleh hubungan beban (P) dengan lebar sayap (b_f) gelagar pengujian dan teoritis.
3. Memperoleh hubungan nilai koefisien kekakuan pelat (k) dengan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (b_f/t_f).
4. Memperoleh nilai tegangan kritis (F_{cr}) pengujian dan teoritis gelagar pelat penampang trapesium.
5. Memperoleh hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur dan faktor kekakuan lentur (EL) pengujian dan teoritis.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh gelagar pelat penampang trapesium yang mempunyai koefisien kekakuan pelat (k), dengan variasi rasio lebar (b_f) terhadap tebal (t) pelat sayap.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan bangunan struktur baja dengan menggunakan gelagar pelat penampang trapesium.
3. Sebagai bahan masukan bagi pembaca untuk menambah wawasan serta pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan gelagar pelat penampang trapesium.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir pada penelitian kuat lentur gelagar pelat bentuk penampang trapesium dengan variasi rasio lebar terhadap tebal adalah sebagai berikut:

1. Benda uji berupa gelagar pelat penampang trapesium dengan tinggi (h) konstan = 300 mm, tebal pelat (t) konstan = 2 mm, variasi rasio lebar (b_f) terhadap tebal (t) = 150 mm ; 175 mm; 200 mm ; 225 mm, lebar sayap bawah (b) konstan = 200 mm, panjang bentang (L) = 4000 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. Jumlah sampel sebanyak empat buah.

1.6 Lokasi Penelitian

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

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,

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 kritis elemen pelat bergantung pada nilai koefisien (k), dan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w). 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**).

Nilai koefisien kekakuan (k) merupakan sebuah konstanta yang tergantung pada tipe tegangan, kondisi tumpuan tepi, dan rasio panjang terhadap lebar

(aspek rasio) dari pelat yang bersangkutan, modulus elastisitas (E), rasio *Poisson* (μ), rasio lebar terhadap tebal (b/t), **Salmon dan Johnson, 1992**.

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 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 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 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, 1995**).

Kekuatan geser berasal dari aksi medan tarik dalam badan gelagar yang menimbulkan suatu pita gaya-gaya yang terjadi setelah badan mengalami tekuk dengan kelengkungan menunjukkan bahwa semakin besar momen yang terjadi maka kelengkungan semakin besar, (**James M. Gere dan Sthepen. P. Timoshenko, 1972**).

Pada balok yang mempunyai penampang segi empat dan bulat, serat dekat sumbu netral kurang mengalami tegangan dibandingkan dengan serat diatas atau

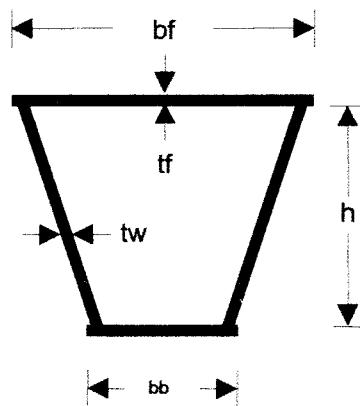
dasar. Fakta bahwa terbesar dari penampang kurang mengalami tegangan sehingga membuatnya tidak efisien untuk menahan lentur (**Ferdinand L Singer, Andrew Pytal, 1995**).

Balok dukung sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga semakin besar (**Lynn s. Beedle, 1958**). 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

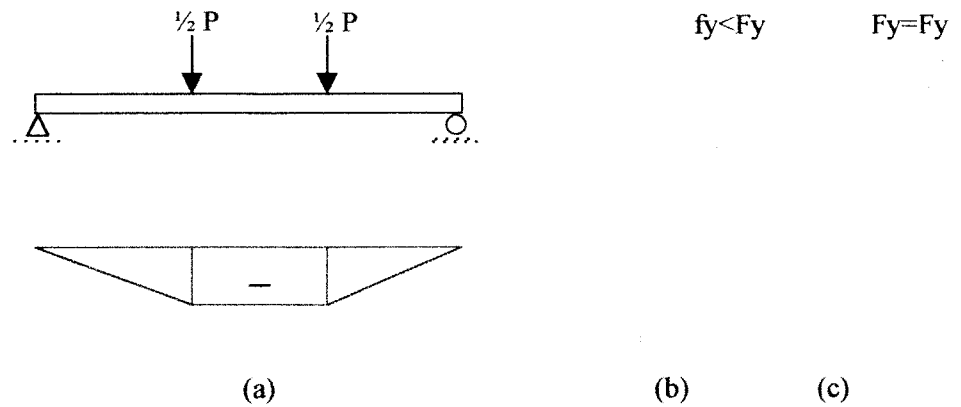
3.1 Gelagar Pelat

Kekuatan lentur dan geser pada umumnya berkaitan dengan badan balok yang “ramping” dapat menyebabkan sejumlah persoalan tekuk yaitu: tekuk yang diakibatkan lentur, tekuk vertikal pada sayap dan tekuk geser (*Salmon dan Johnson, 1996*). Gelagar pelat penampang trapesium mempunyai komponen seperti **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Potongan melintang gelagar pelat penampang trapesium

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

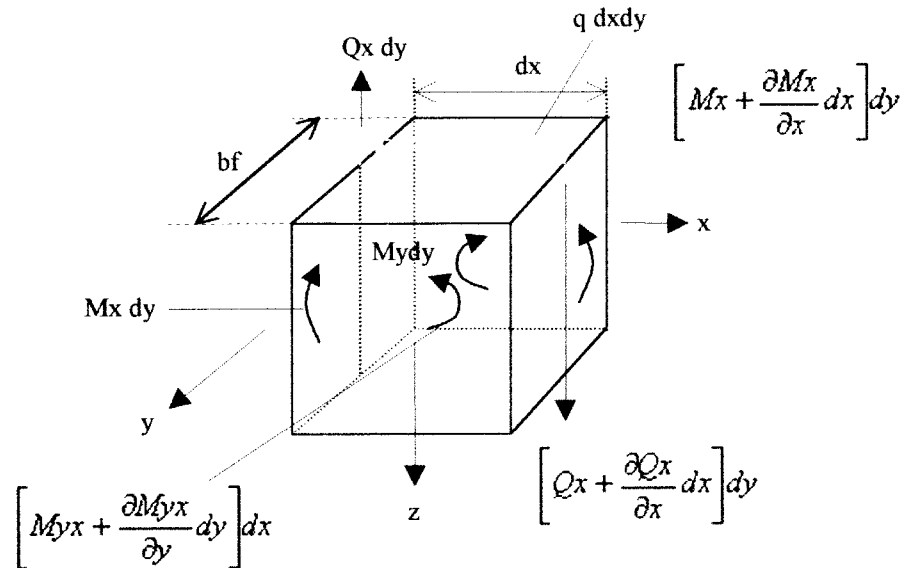


Gambar 3.2 Model pembebanan dan distribusi tegangan

Gambar 3.2 (a) menunjukkan model pembebanan yang dilakukan pada saat pengujian sampel berupa beban terpusat dengan jarak $\frac{1}{3}L$ dan $\frac{2}{3}L$. **Gambar 3.2 (b)** menunjukkan kondisi elastis yaitu suatu kondisi struktur masih dapat menahan pembebanan sampai kondisi batas tegangan yang diijinkan. **Gambar 3.2 (c)** menunjukkan struktur dalam kondisi leleh yaitu suatu kondisi awal struktur tidak menunjukkan kenaikan kenaikan tegangan setelah kondisi elastis.

3.2 Stabilitas Pelat

Persamaan *Diferensial* untuk *Lenturan Pelat Homogen* menurut **Thimoshenko 1953**.



Gambar 3.3 Gaya-gaya benda bebas yang terlibat dalam rotasi terhadap sumbu *y* (**Salmon dan Johnson, 1992**).

Mengacu pada **gambar 3.3** diperoleh persamaan *diferensial* keseimbangan untuk lenturan pelat *homogen*, yaitu:

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

denan $D = E.t^3 / [12(1 - \mu^2)]$ (3.2)

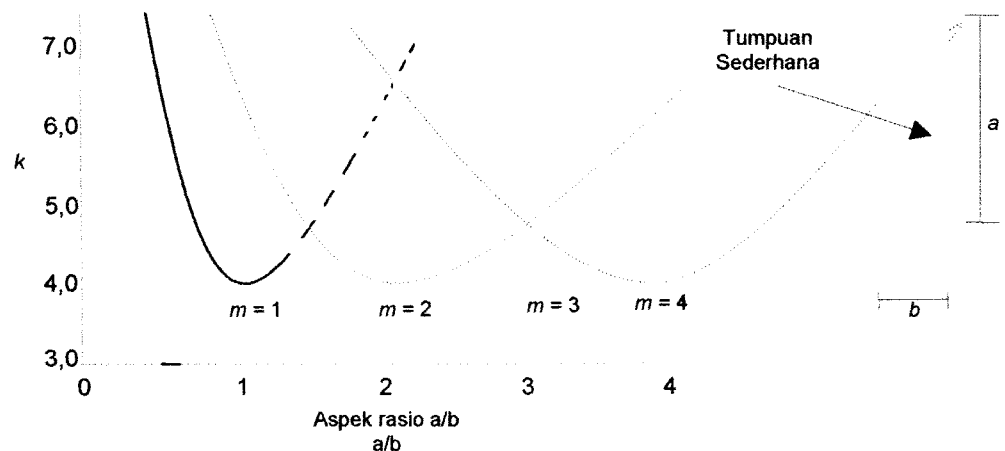
solusi selanjutnya **Persamaan (3.1)** menghasilkan persamaan tegangan tekuk elastis untuk elemen pelat, yaitu

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

tampak bahwa tegangan tekuk kritis diatas dipengaruhi oleh nilai kekakuan (k) dan rasio lebar terhadap tebal sayap (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 kritis dipengaruhi oleh nilai k dan rasio b/t . Nilai k untuk kasus tekuk elastis sebagai mana yang ditulis oleh Salmon dan Johnson (1996) adalah,

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{-\epsilon_x}{v} \quad (3.4)$$

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



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

Dari **Gambar 3.4** 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 ($m = 1$ sampai 4) dengan memasukkan nilai $k = 4$ **Persamaan (3.3)** diperoleh,

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

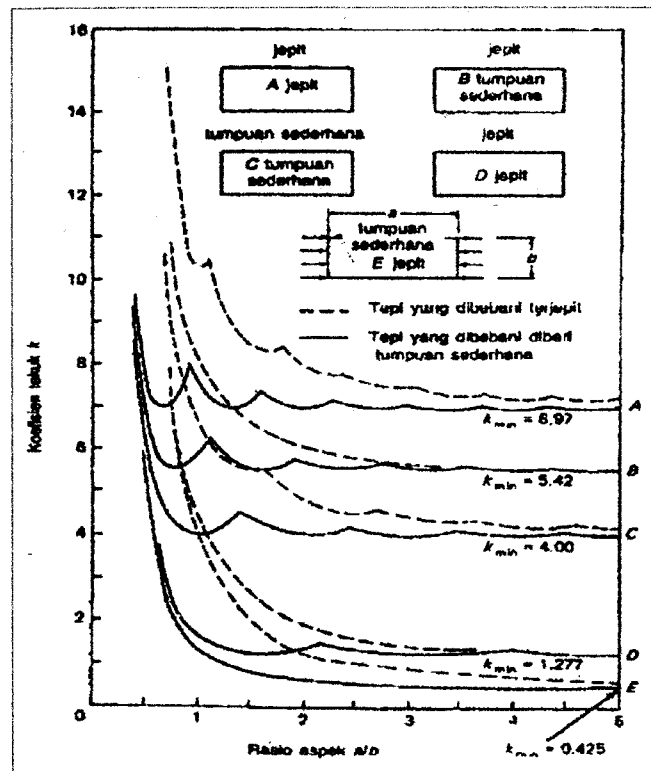
3.3 Tekuk pada Sayap

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

Persyaratan untuk mencapai tegangan leleh tanpa tekuk lokal adalah:

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

dengan k adalah konstanta tekuk merupakan fungsi distribusi tegangan dan kondisi di tepi pelat. Nilai k ini dapat dilihat pada **Gambar 3.5**



Gambar 3.5 Koefisien tekuk elastis pada pelat segi empat datar (Diadaptasi dari Gerard dan Becker (6.69), (Salmon dan Johnson, 1992))

Gambar 3.5 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 keterangan diatas dapat disimpulkan bahwa nilai k untuk tiap macam tumpuan masih bisa bertambah besar.

Gambar 3.6 merupakan elemen pelat yang diperkuat, bertumpu sepanjang dua tepi sejajar pembebanan. Dari rumus tegangan keritis pada **Persamaan (3.3)** 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 3.6 Defleksi tekuk pelat pada sayap (jepit-jepit),
(dari Salmon dan Johnson, 1992)

pelat dengan kondisi tumpuan tepi jepit-jepit, seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.6** harga $\lambda_c = 0,58$ (**Gambar 3.7**) dengan nilai $k = 4$ (**Gambar 3.5**). Batasan tekuk setempat untuk menghasilkan kekuatan plastis menurut (**AISC-1.9, Lampiran C**) adalah,

$$\frac{b}{t} \leq \frac{500}{\sqrt{F_y(\text{Mpa})}} \quad (3.9)$$

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

$$f_c = \frac{\sigma_f A_f d\theta}{tw dx} = \frac{2 \sigma_f A_f \varepsilon_f}{tw h} \quad (3.10)$$

dengan mengacu pada persamaan tegangan tekuk elastis untuk suatu pelat, bila tegangan yang ditekan, **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/t_w 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/t_w kecil. Sedangkan bila A_w besar maka akan diperoleh h/t_w besar (pelat badan ramping).

Persyaratan kekompakan menurut **LRFD Table B 5.1 (1999)** persyaratan rasio lebar terhadap tebal (b/t) pelat adalah,

Untuk beban merata,

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

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

Untuk analitis plastis,

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

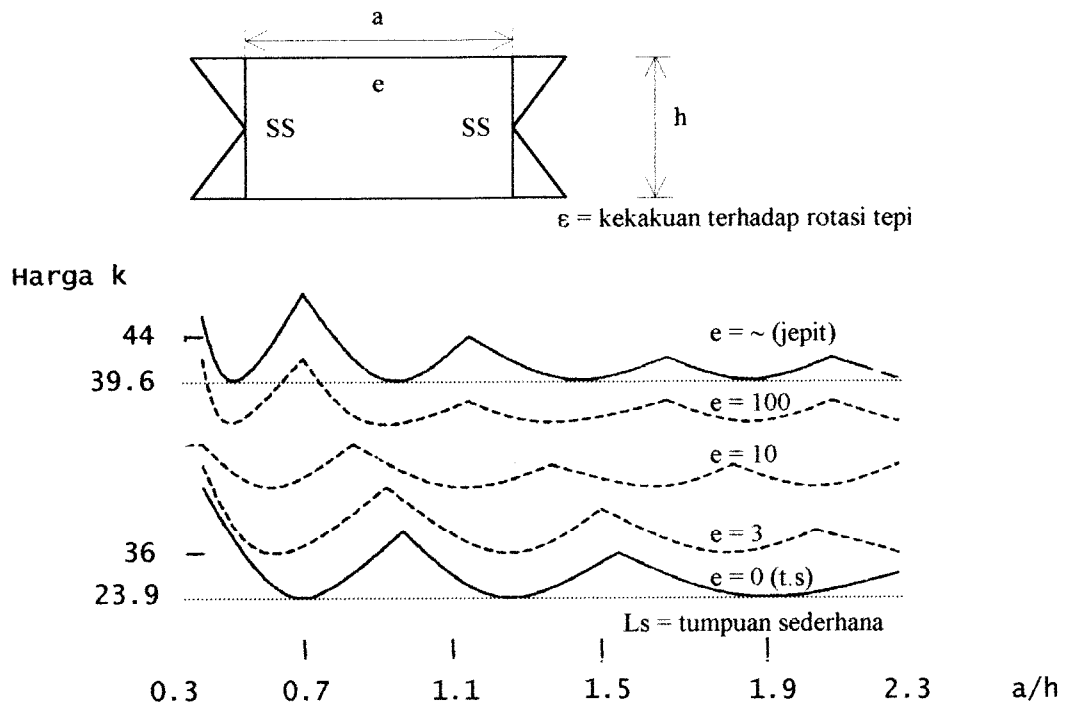
3.4 Lentur pada Bidang Badan

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

Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959), menjabarkan variasi nilai k terhadap rasio a/h yang ditunjukkan pada **Gambar 3.7**. Tegangan kritis (dengan $E = 200.000$ Mpa) bisa dikatakan terletak antara:

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

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

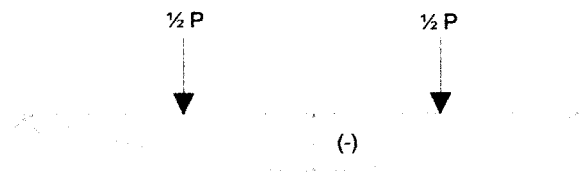


Gambar 3.7 Koefisien tekuk untuk pelat yang mengalami lentur murni (dari *Handbook of Structural Stability*, Vol. 1 [6.69](p.92))

Gambar 3.7 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 *pararel* dengan arah pembebanan harga k minimum adalah 39,6 untuk sembarang rasio a/h ($\varepsilon = \infty$, jepit). Bila *flen-flens* diasumsikan tidak memberikan resistensi sama sekali terhadap rotasi pinggir (tumpuan sederhana), harga k minimum adalah 23,9 untuk sembarang rasio a/h ($\varepsilon = 0$, sendi-sendi).

3.5 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 besar pula momennya, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya semakin besar.



Gambar 3.8 Lendutan Balok



Gambar 3.9 Diagram Momen



Gambar 3.10 Diagram geser

Hubungan beban- lendutan untuk tipe pembebanan seperti Gambar 3.8 seperti yang ditulis oleh James M. Gere dan Stephen P. Timoshenko (1972), Lampiran D ditunjukkan,

$$\Delta = \frac{Pa}{24.E.I} (3L^2 - 4a^2) \quad (3.16)$$

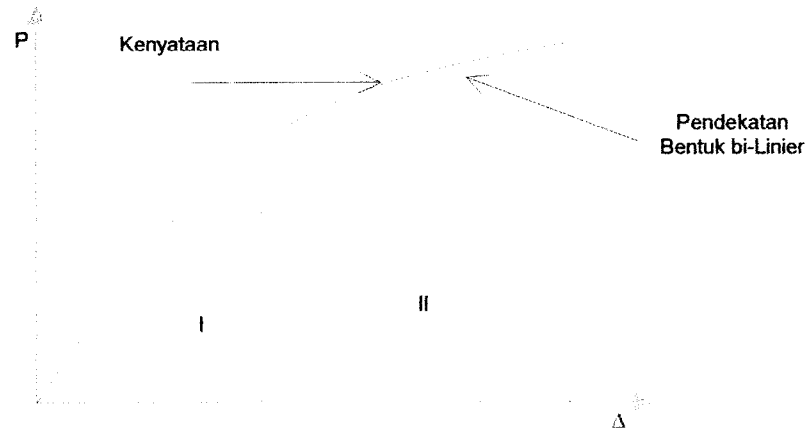
persamaan sudut rotasi ditunjukkan,

$$\theta_A = \theta_B = \frac{Pa(L - a)}{24.E.I} \quad (3.17)$$

Δ = defleksi balok, P = beban balok, E = modulus elastisitas, L = panjang bentang balok, I = momen Inersia penampang, θ = sudut rotasi.

Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur seperti pada

Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Hubungan Beban dan lendutan pada balok

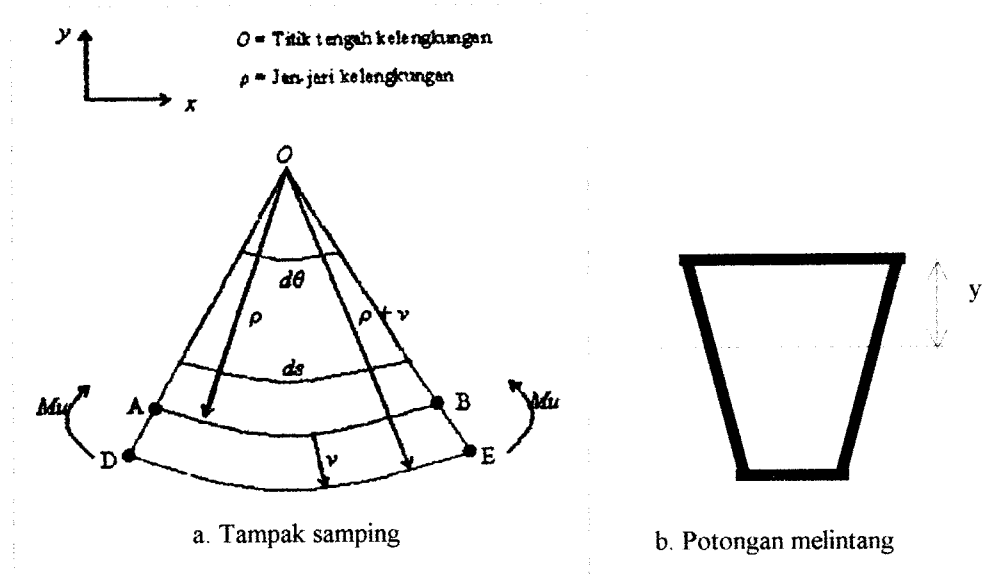
Pada daerah I yaitu pada daerah praretak, balok masih bersifat elastis penuh, tegangan tarik maksimal yang terjadi pada baja masih lebih kecil dari kuat tarik lentur baja, kekakuan lentur EI balok masih mengikuti modulus elastisitas (E) baja dan momen inersia penampang balok baja.

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 disepanjang bentang.

3.6 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 3.12 Deformasi balok dalam lenturan

Elemen *differensial* balok untuk lentur murni ditunjukkan pada **Gambar 3.12** (a) sumbu u dan v pada potongan melintang, adalah sumbu utama yang ditunjukkan pada **Gambar 3.12** (b). AB adalah garis netral, pada garis netral ini garis tidak mendesak ataupun memanjang. Seperti yang dikemukakan oleh **James M Gere** **Stephen P Timoshenko** (1972), regangan pada garis netral didapatkan dari persamaan:

$$\varepsilon_x = \frac{\text{panjang akhir} - \text{panjang awal}}{\text{panjang awal}} \quad (3.17)$$

dengan distribusi didapat:

$$\varepsilon_x = \frac{(\rho + v)d\theta - \rho.d\theta}{\rho.d\theta} = \frac{v}{\rho} \quad (3.18)$$

hubungan dasar antara kurva elastis dengan regangan linier, didapat:

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{-\varepsilon_x}{v} \quad (3.19)$$

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

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x \quad (3.20)$$

sehingga

$$\varepsilon_x = \frac{Mu}{E \cdot I} \quad (3.21)$$

substitusi **Persamaan (3.19)** ke **Persamaan (3.20)** akan diperoleh

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{Mu}{E \cdot I} \quad (3.22)$$

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan.

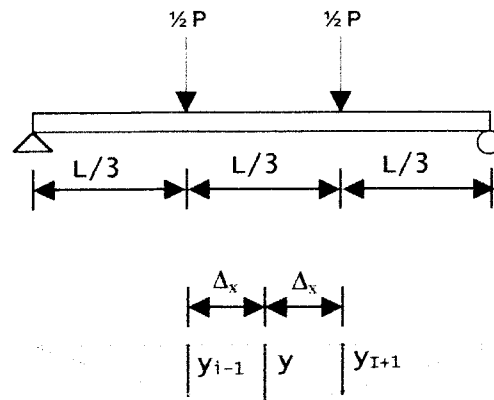
$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\pm d^2v/dx^2}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (3.23)$$

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

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{E \cdot I} \quad (3.24)$$

$$E \cdot I = \frac{M}{\left(d^2v/dx^2\right)} \quad (3.25)$$

Dari hasil pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik-titik pembebanan. Karenakan terbatasnya peralatan maka persamaan untuk regangan di atas tidak dapat digunakan selanjutnya untuk menghitung nilai kekakuan lentur ($E \cdot I$) digunakan lendutan dengan melalui pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Difference*. Dengan mengacu **Gambar 3.13** didekati **Persamaan (3.26)**.



Gambar 3.13 Momen Kelengkungan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.26)$$

turunan kedua **Persamaan (3.26)** adalah:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx}(Y_{i+1} - y_{i-1}) - (Y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta x)}{(2\Delta x)^2} \quad (3.27)$$

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

$$\frac{d}{dx}(2\Delta x) = 0 \quad (3.28)$$

sehingga **Persamaan (3.27)** menjadi,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{dx}(Y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.29)$$

selanjutnya dari **Persamaan (3.29)** didapatkan,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{Y_{i+2} - 2Y_i + y_{i-2}}{(2\Delta x)^2} \quad (3.30)$$

kemudian **Persamaan (3.30)** disederhanakan menjadi,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta x)^2} \quad (3.31)$$

Persamaan (3.31) merupakan persamaan kelengkungan, dimana kelengkungan (d^2y/dx^2) pada suatu titik dapat diukur dengan lendutan yang terjadi pada 3 titik yang berurutan ($y_{i+1} : y_i : y_{i-1}$) yang masing-masing berjarak sama (Δx). **Persamaan (3.31)** digunakan dalam penelitian ini karena lebih sederhana dan tidak membutuhkan peralatan khusus.

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

$$\therefore \frac{d^2y}{dx^2} = \phi = \frac{M}{E.I} \quad (3.32)$$

sehingga persamaan momen (M) menjadi.

$$M = E.I.\phi \quad \text{atau} \quad M = E.I \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.33)$$

Persamaan untuk kekakuan lentur ($E.I$) ditunjukkan.

$$E.I = \frac{M}{(d^2y/dx^2)} \quad (3.34)$$

Persamaan (3.34) menunjukkan hubungan antara kekakuan faktor kekakuan lentur ($E.I$), momen (M) dan kelengkungan (d^2y/dx^2). Terlihat bahwa hubungan $E.I$ dengan M adalah berbanding lurus, sedangkan $E.I$ dengan (d^2y/dx^2) berbanding terbalik. Nilai dapat dihitung dengan **Persamaan (3.35)**, dengan demikian nilai $E.I$ dapat diketahui. Mengacu pada **Gambar 3.13** didapat momen (M):

$$M = 1/6 . P . L \quad (3.35)$$

Untuk menghitung momen lendutan teoritis digunakan persamaan yang diambil dari hand out kuliah **Analisis Elastis Ir. Fatkhurrohman N, MT** sebagai berikut,

persamaan momen untuk kondisi elastis pada penampang persegi adalah,

$$M = f \left[\frac{bh^2}{6} \right] \quad (3.36)$$

persamaan untuk kondisi leleh pada penampang persegi adalah,

$$M = f \left[\frac{bh^2}{6} \right] \quad (3.37)$$

persamaan regangan adalah.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (3.38)$$

persamaan untuk kelengkungan adalah.

$$\phi = \frac{\varepsilon}{h/2} \quad (3.39)$$

Dari **Persamaan (3.39)** 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 memadai, 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 3.9**. kekuatan 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 serat lentur (S_x) kapasitas momennya disebut momen leleh (M_y) dan dapat dihitung sebagai:

$$M_y = F_y \cdot S_x \quad (3.40)$$

Bila penampang berada dalam kondisi plastis, regangan pada setiap serat sama dengan atau lebih besar dari $\epsilon_y = F_y / E_y$, 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:

$$M_p = f_b \int y \cdot dA \quad (3.41)$$

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

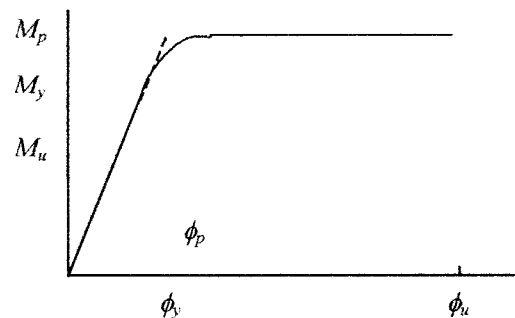
$$M_p = f_b \cdot z \quad (3.42)$$

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 ,

$$F = M_p / M_y = z / S \quad (3.43)$$

Hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) ditunjukkan pada **Gambar (3.14)**



Gambar 3.14 Grafik momen kelengkungan

Gambar 3.14 memperlihatkan ketika momen lentur diperbesar hingga melampaui harga beban kerja sudut regangan ϕ akan elastis seluruhnya (sampai M_y) atau sebagai (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 angular* ϕ_i ditengah bentang.

3.7 Nilai Koefisien Kekakuan

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**. Nilai k pada pelat tipis penampang kotak dengan berbagai aspek b/d dan T/t lebih besar dibandingkan dengan penampang I yang telah dibuktikan oleh **NS. Trahir dan MA. Bradford, 1988**. Nilai k dapat diperoleh dari persamaan nilai rasio (h/t) dan F_{cr} diperoleh dari persamaan,

$$F_{cr} = M_{cr} \cdot S \quad (3.44)$$

dengan persamaan M_{cr} adalah,

$$M_{cr} = 16 \cdot P \cdot L \quad (3.45)$$

persamaan untuk S adalah,

$$S = \frac{I}{Y} = \frac{1/12 \cdot bh^3 + Ay^2}{y} \quad (3.46)$$

M_{cr} = momen kritis, S = momen kelembaman, y = titik berat penampang, b = lebar penampang, A = luas penampang.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Bahan Penelitian

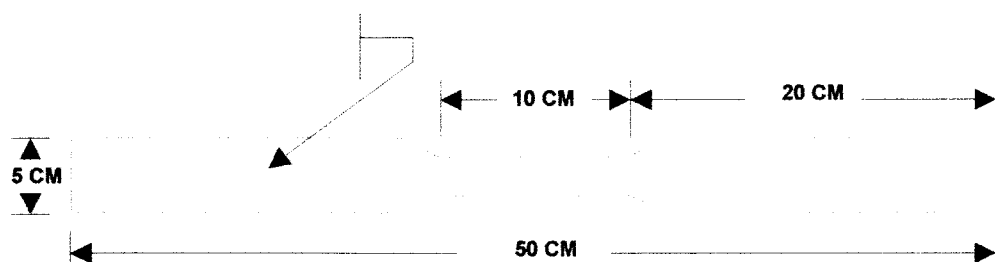
Pada penelitian kuat lentur gelagar pelat penampang trapesium digunakan bahan pelat baja dengan ketebalan 2 mm.

4.2 Model Benda Uji

Sebelum melakukan pengujian dibuat benda uji pendahuluan untuk mencari tegangan leleh pelat (F_y). Selanjutnya mengadakan penelitian di laboratorium.

4.2.1 Benda Uji Pendahuluan

Model dari benda uji adalah sebagai berikut, seperti pada **gambar 4.1**



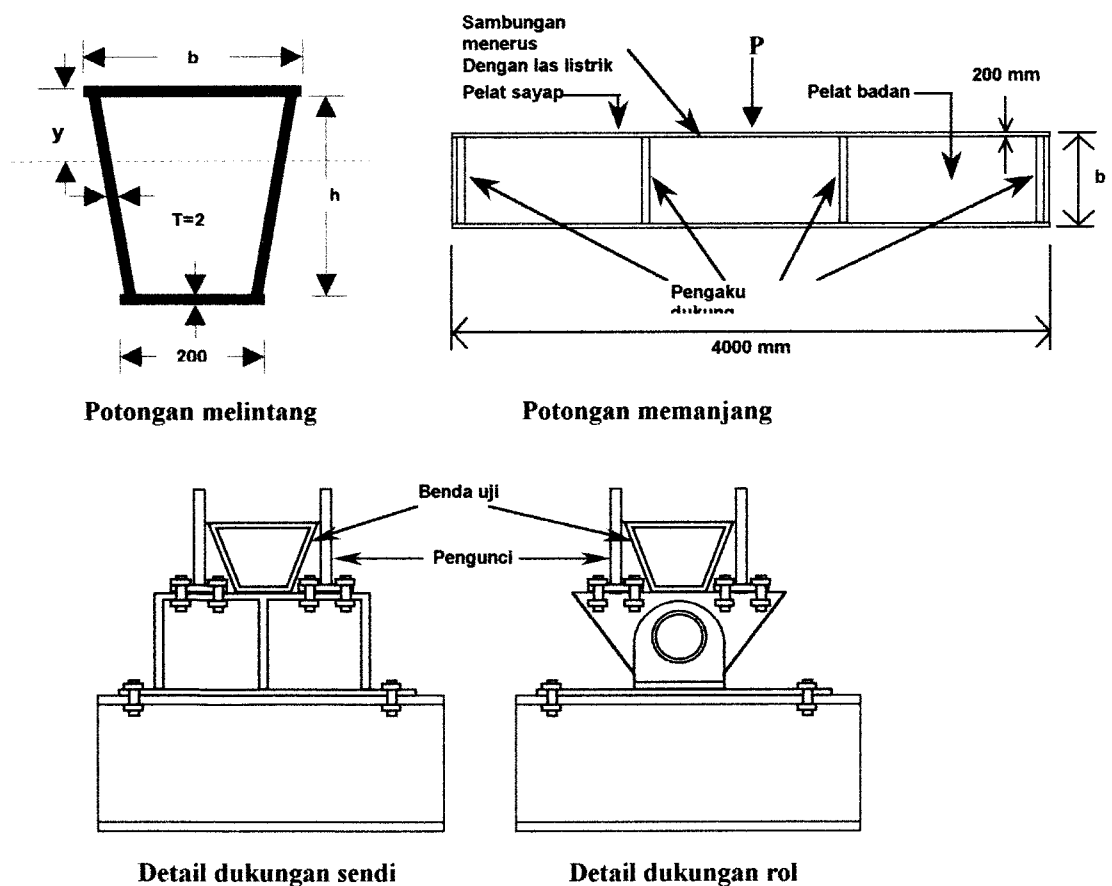
Gambar 4.1 Model benda uji untuk mendapatkan tegangan leleh dari pelat baja. (Salmon dan Johnson, 1992)

4.2.2 Benda Uji Gelagar Pelat Penampang Trapesium

Model benda uji didasarkan pada variasi rasio lebar sayap (b_f) terhadap tebal pelat sayap. Adapaun dimensi dari 4 buah sampel benda uji gelagar pelat penampang trapesium yang akan akan diuji sebagai berikut:

1. $L = 4000 \text{ m}$; $h = 300 \text{ mm}$; $bf = 300 \text{ mm}$; $T = 2 \text{ mm}$
2. $L = 4000 \text{ m}$; $h = 300 \text{ mm}$; $bf = 350 \text{ mm}$; $T = 2 \text{ mm}$
3. $L = 4000 \text{ m}$; $h = 300 \text{ mm}$; $bf = 400 \text{ mm}$; $T = 2 \text{ mm}$
4. $L = 4000 \text{ m}$; $h = 300 \text{ mm}$; $bf = 450 \text{ mm}$; $T = 2 \text{ mm}$

Model dari benda uji seperti pada **gambar 4.2** sebagai berikut:

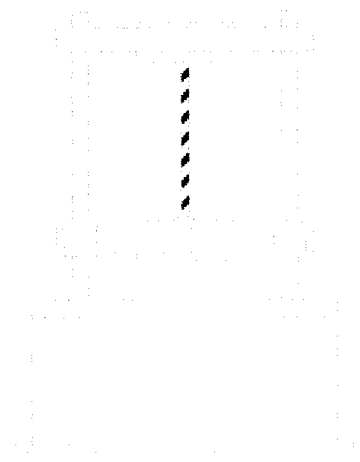


Gambar 4.2 Gambar model benda uji

4.3 Peralatan Pengujian

1. Mesin uji kuat tarik

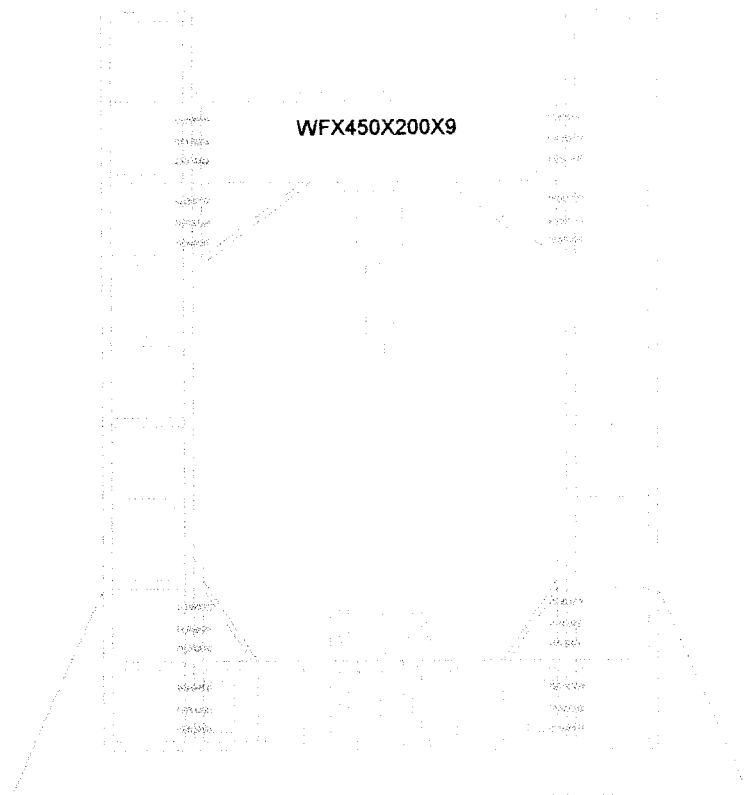
Digunakan untuk mengetahui kuat tarik 'baja. Alar yang digunakan yaitu Universal Testing Material (UTM) merk Shimitzu type UMH-30 dengan kapasitas 30 ton, seperti pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3 *Universal Testing Matrial Shimatzu UMH30*

2. *Loading Frame*

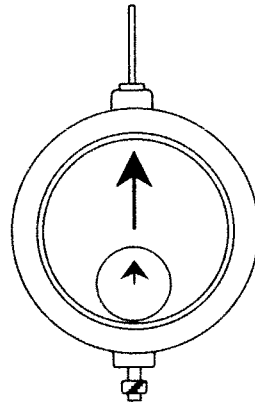
Adalah alat yang terbuat dari baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14 mm, Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri diatas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara dari besi setebal 14 mm. Agar alat tetap stabil, pelat dasar di baut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan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

4.4 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 trapesium, 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 *Shimitzu* type U1VIH-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

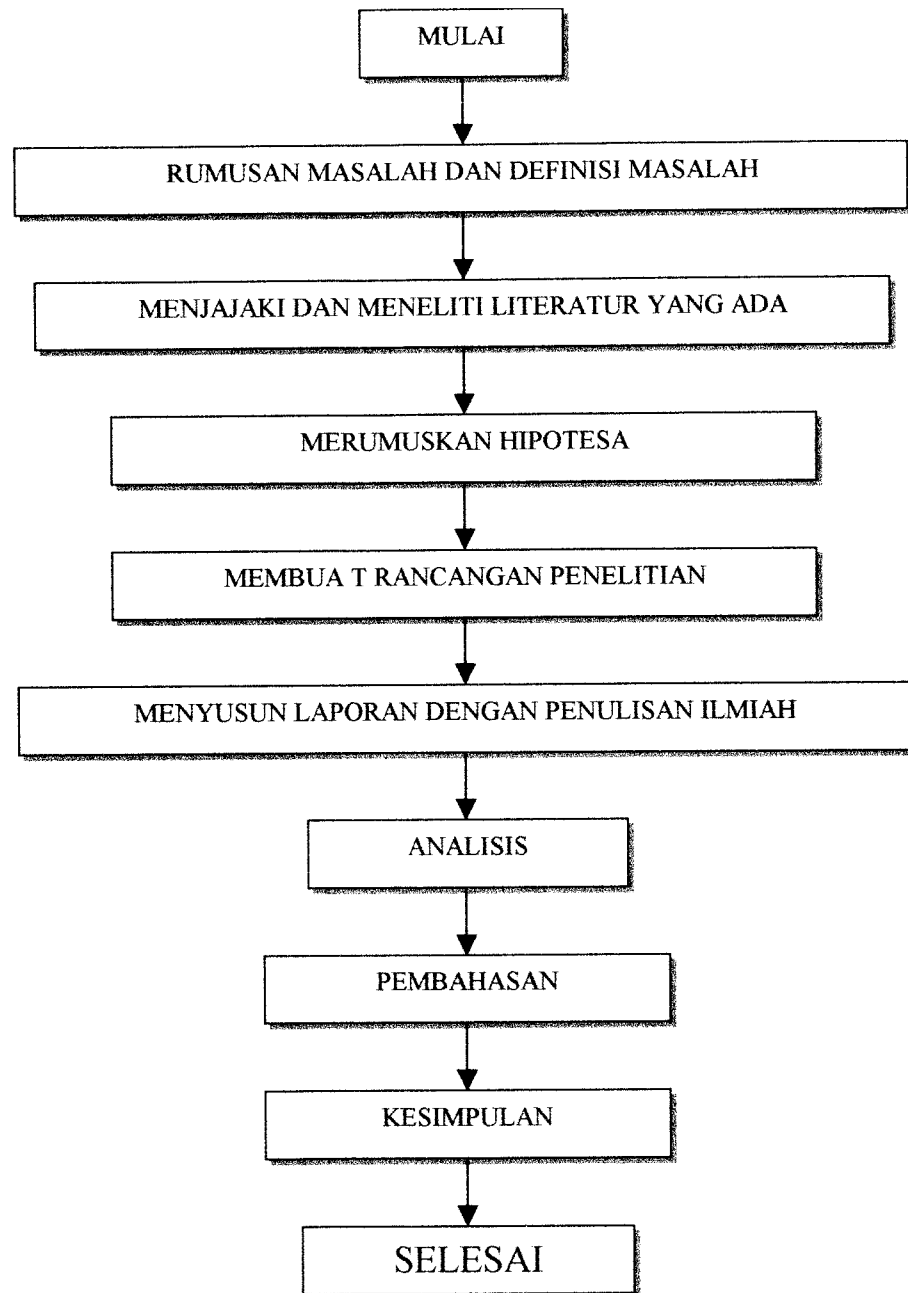
1. Penyetingan sampel dan peralatan yang digunakan untuk memperoleh posisi sampel dengan peralatan pengujian yang pas.
2. Pemasangan sampel pada alat uji *Loading Frame* dimana pada tumpuan ujung-ujung gelagar pelat dikunci pada dukungan di *Loading Frame*. Satu ujung pada dukungan sendi dan satu ujung 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 $L = 4,0$ 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 $I 30 \times 30 \times 3$ yang diambil bagian sayap dan pelat baja dengan tebal 2 mm masing-masing sebanyak satu sampel yang hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 5.1** 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 berikut :

Tabel 5.1 Hasil pengujian kuat tarik baja

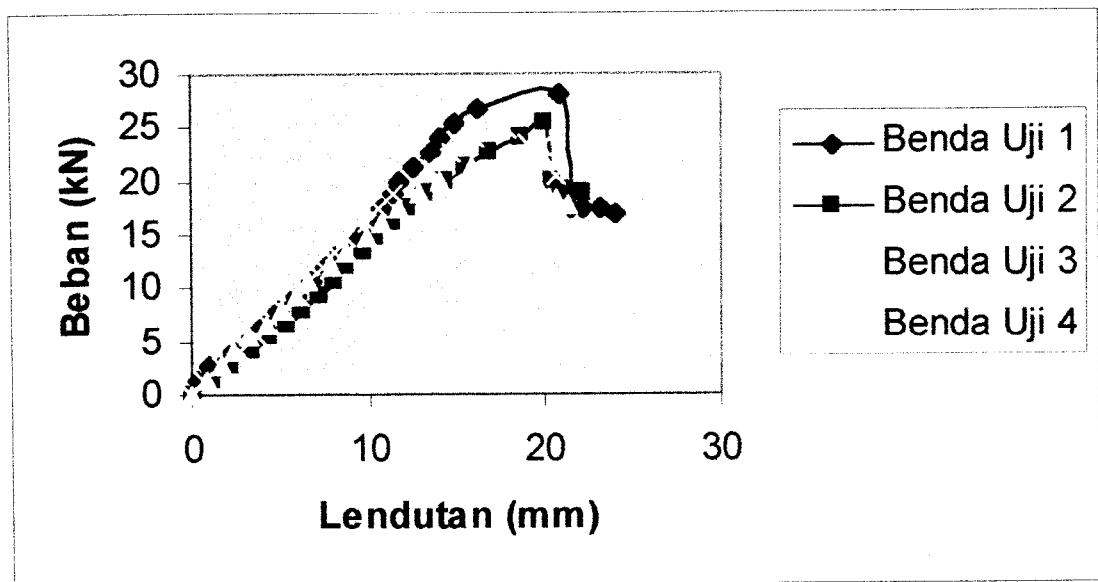
No.	Jenis Pengujian	F_y (Mpa)	F_u (Mpa)
1.	Kuat Tarik Pelat	240	320
2.	Kuat Tarik Profil L (siku)	370	410

5.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Gelagar Pelat Penampang Trapesium

Pengujian kuat lentur gelagar pelat penampang trapesium dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Foto-foto pelaksanaan pada **Lampiran 7**. Dari hasil pengujian didapat grafik hubungan beban-lendutan.

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

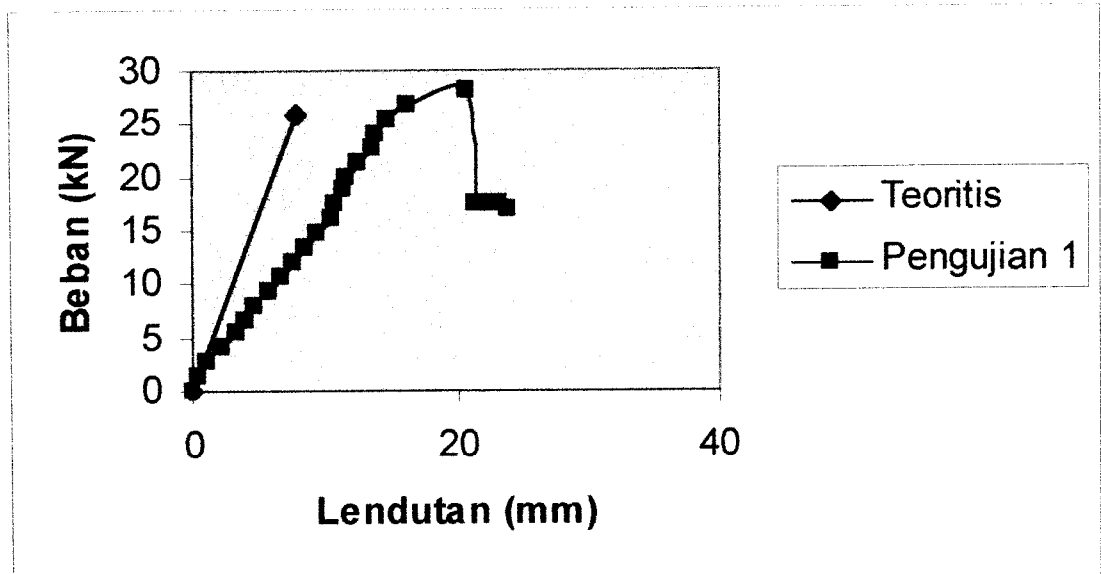
Pengujian kuat lentur gelagar pelat penampang trapesium ini diberikan dua beban terpusat yang terletak pada 1/3 dan 2/3 panjang bentang. Secara bertahap gelagar pelat tersebut diberi kenaikan beban sebesar 300 kg (3,0 kN), kemudian setiap tahap pembebanan lendutan yang terjadi dicatat. Dari data hasil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



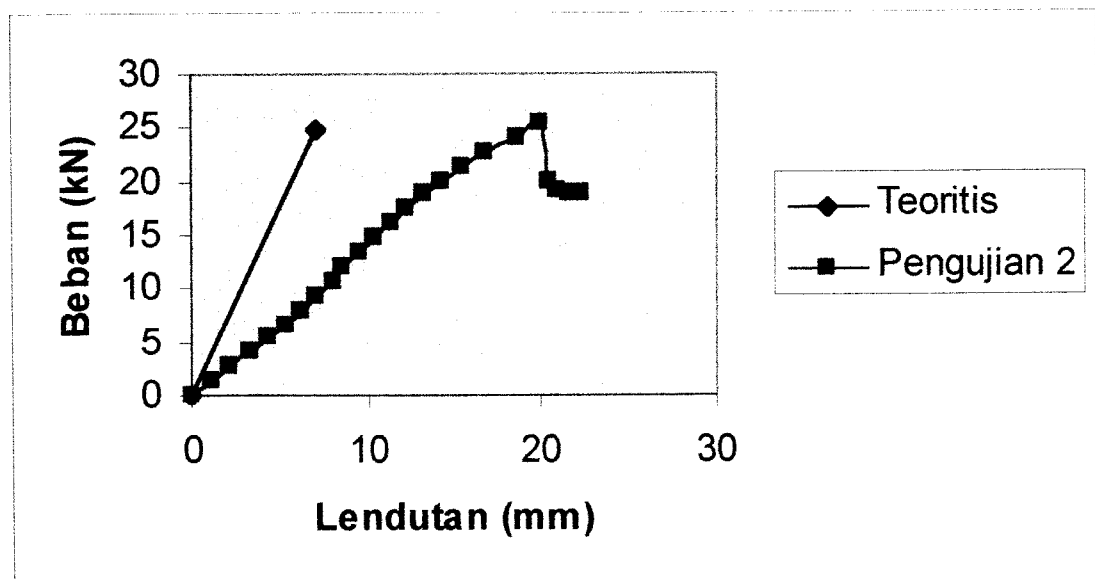
Gambar 5.1 Grafik hubungan beban-lendutan lentur (vertikal) keempat benda uji

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

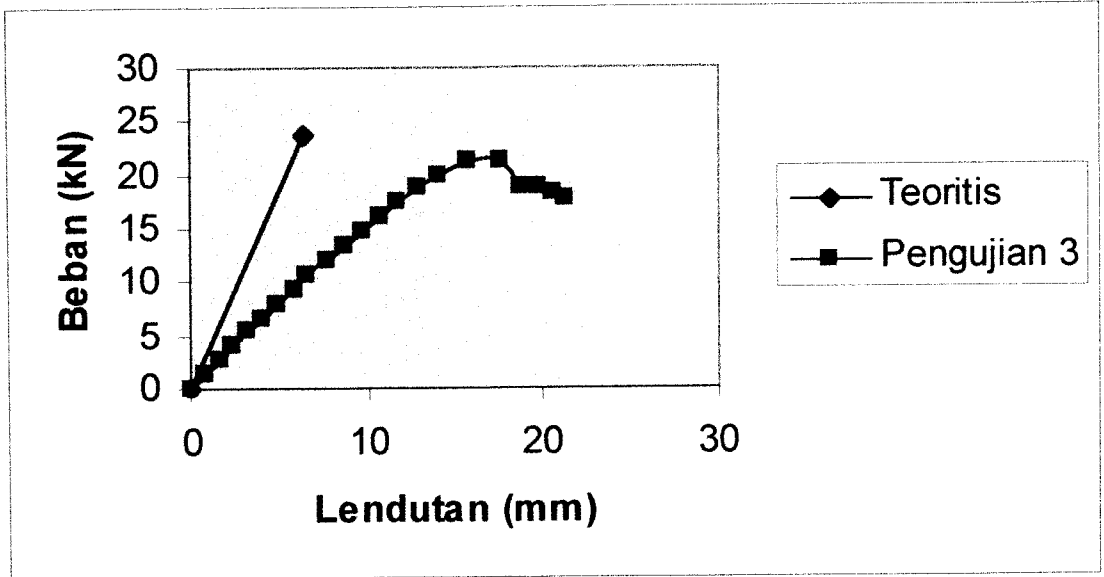
lendutan secara teoritis yang hasilnya bila dibandingkan dengan hubungan beban lendutan pengujian seperti gambar berikut ini,



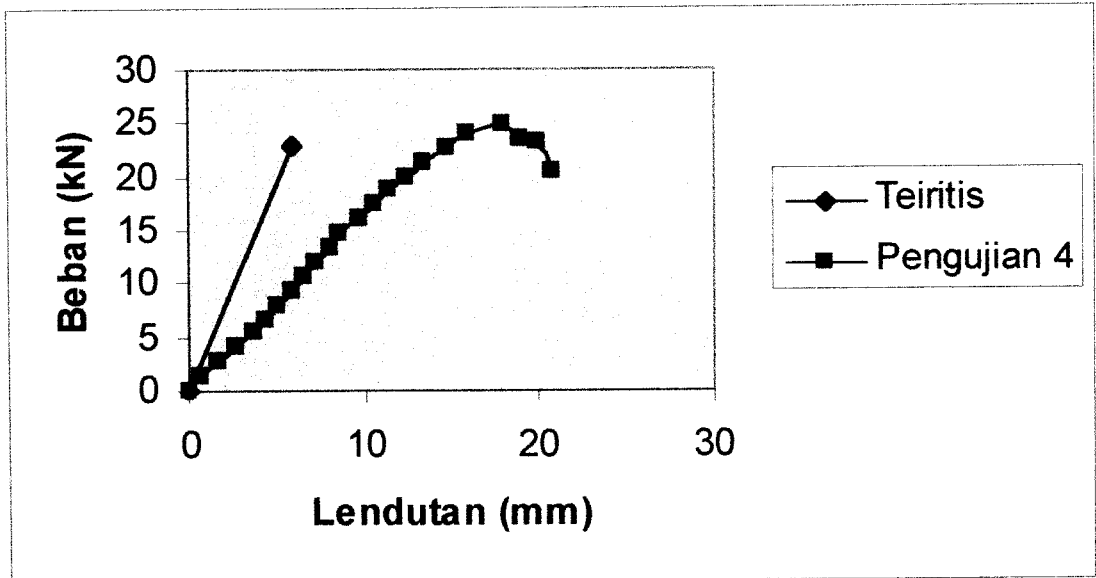
Gambar 5.2. Hubungan beban-lendutan pengujian dengan teoritis benda uji 1



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



Gambar 5.4. Hubungan beban lendutan pengujian dengan teoritis benda uji 3

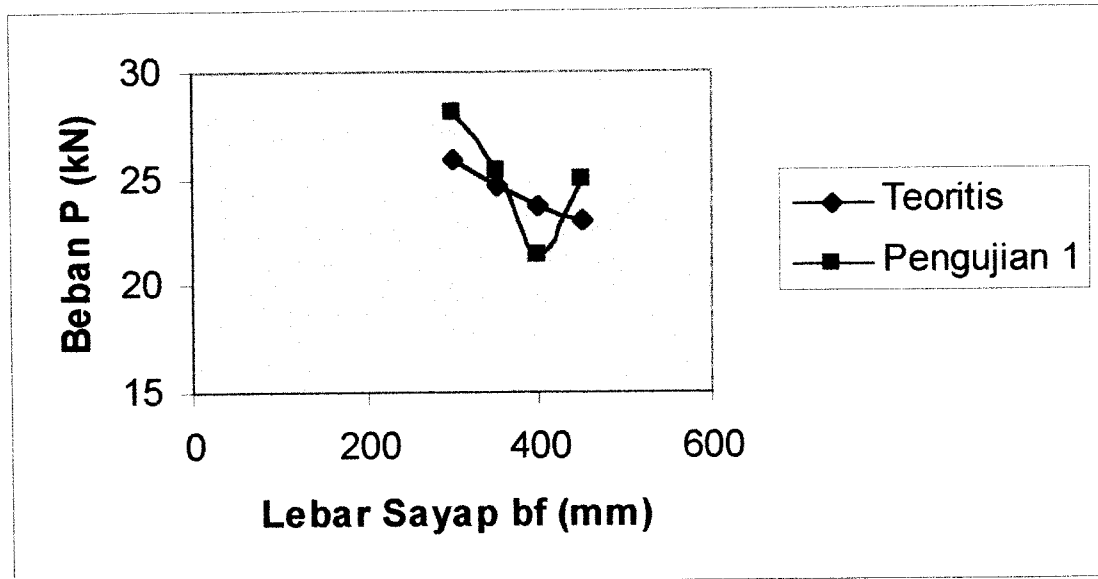


Gambar 5.5. Hubungan beban lendutan pengujian dengan teoritis benda uji 4

5.2.2 Hubungan beban (P) dengan lebar sayap atas (b_f) dalam kondisi tebal pelat gelagar (t) tetap pengujian dan teoritis

Hubungan antara nilai beban (P) dengan lebar sayap atas (b_f) antara pengujian

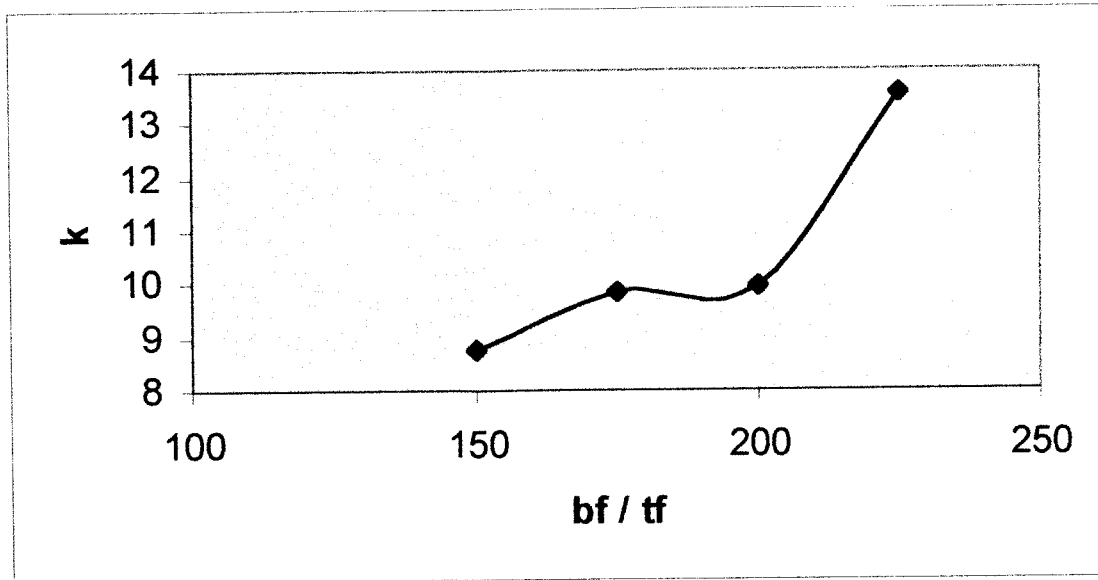
dan teoritis ditunjukkan pada **Gambar 5.6**,



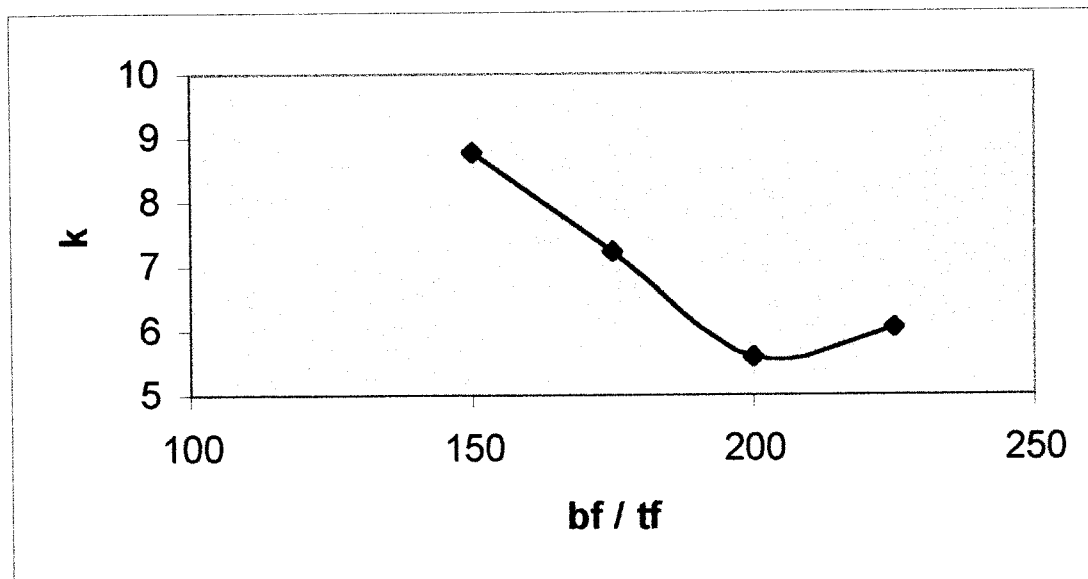
Gambar 5.6 Grafik hubungan beban (P) dengan lebar sayap atas (b_f) pengujian dan teoritis

5.2.3 Hubungan nilai koefisien kekakuan pelat (k) dengan rasio lebar sayap atas (b_f) terhadap tebal pelat sayap (b_f/t_f)

Hubungan antara nilai koefisien kekakuan pelat (k) dengan rasio lebar sayap atas (b_f) terhadap tebal pelat sayap (b_f/t_f) ditunjukkan pada **Gambar 5.7** dan **Gambar 5.8**,



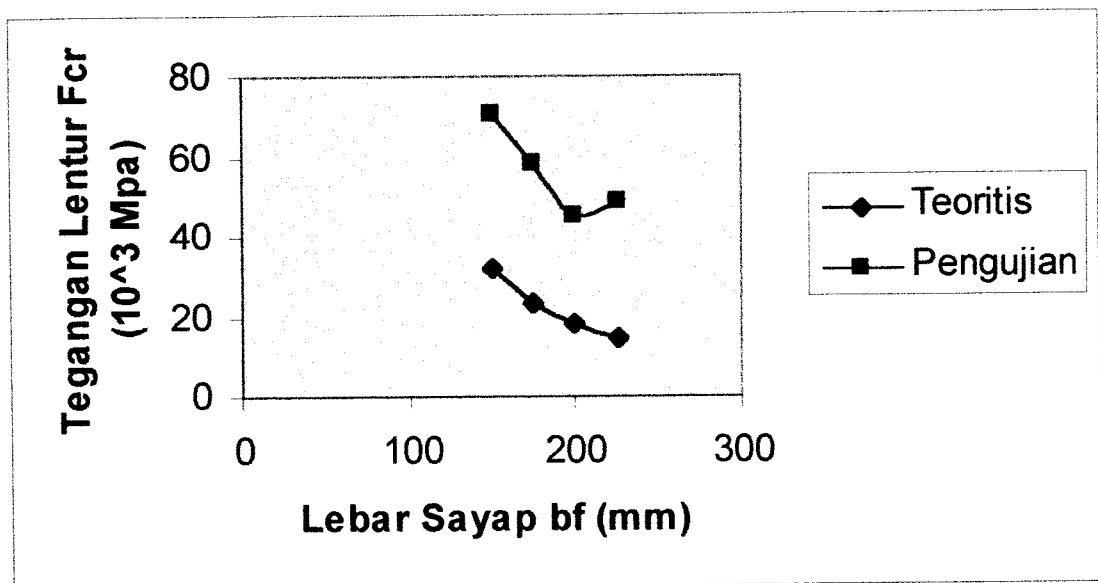
Gambar 5.7 Grafik hubungan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (bf/t_f) dengan koefisien kekakuan pelat sayap (k)



Gambar 5.8 Grafik hubungan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (bf/t_f) dengan koefisien kekakuan pelat badan (k)

5.2.4 Hubungan nilai tegangan lentur (F_{cr}) dengan lebar sayap gelagar (b_f) pengujian dan teoritis

Dari hasil perhitungan tegangan lentur (F_{cr}) pengujian dan teoritis dapat dibuat grafik hubungan tegangan lentur (F_{cr}) dengan variasi lebar sayap gelagar (b_f) seperti pada Gambar 5.9 dibawah ini.

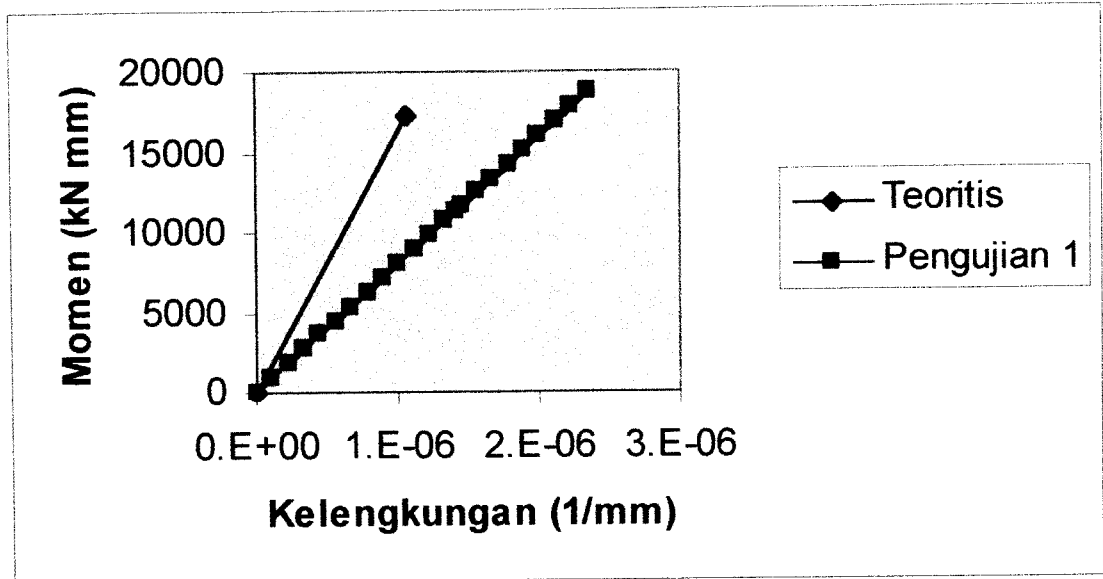


Gambar 5.9 Grafik hubungan nilai tegangan lentur (F_{cr}) dengan lebar sayap gelagar (b_f) pengujian dan teoritis

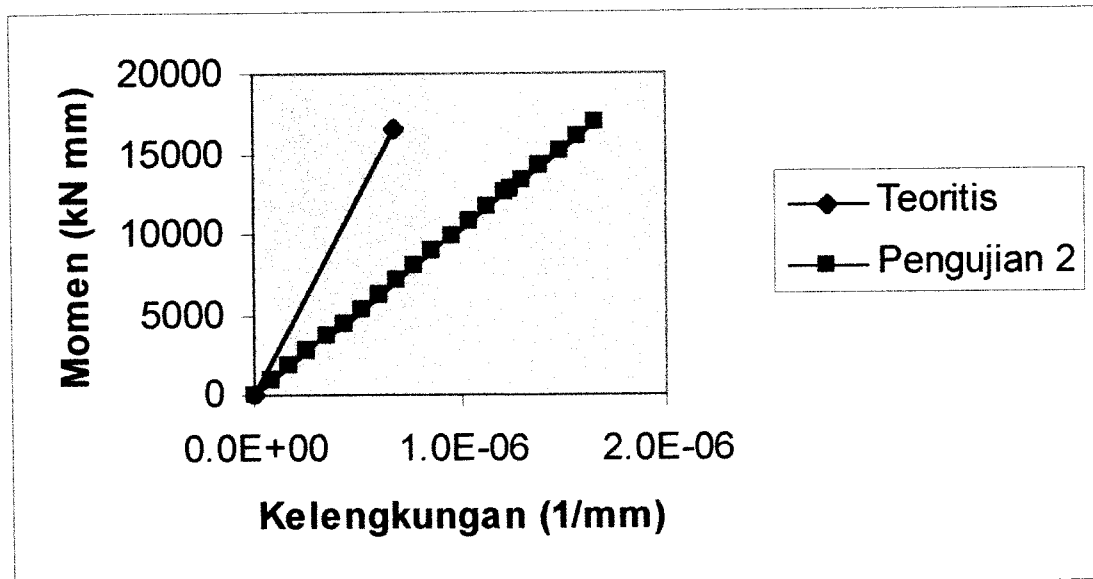
5.2.5 Hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) pengujian dan teoritis lentur

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

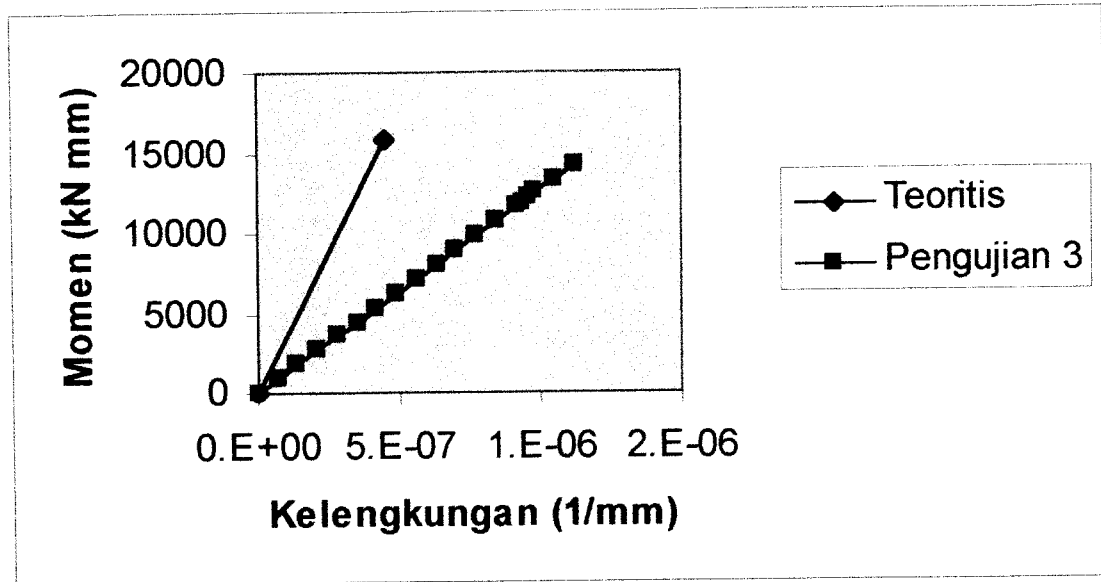
(vertikal) yang ditunjukkan pada gambar berikut ini,



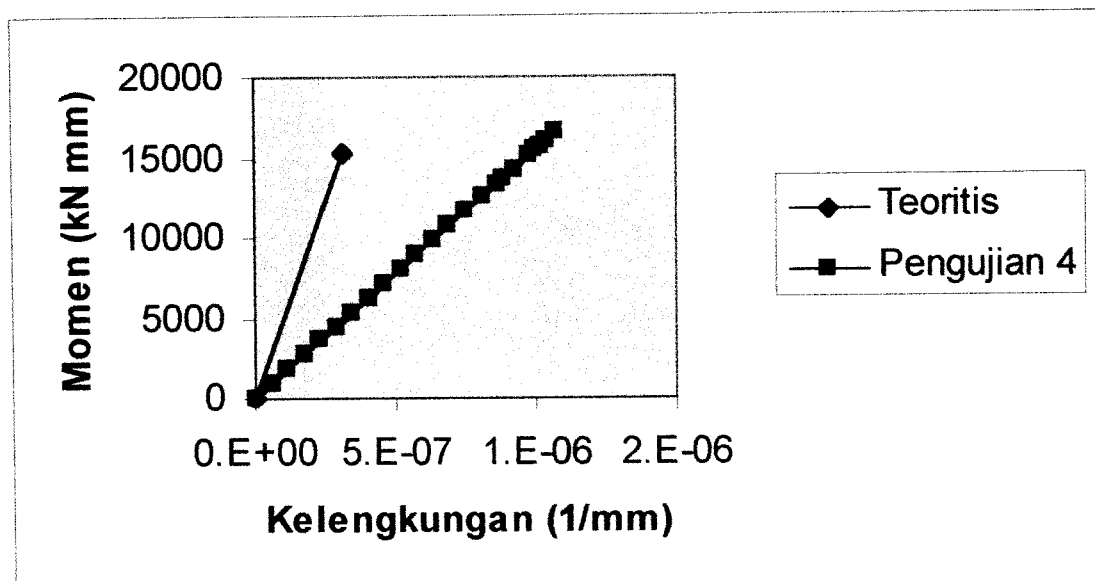
Gambar 5.10 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis benda uji 1



Gambar 5.11 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis benda uji 2



Gambar 5.12 Grafik hubungan momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) lentur (vertikal) pengujian dan teoritis benda uji 3



Gambar 5.13 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 dipilih yang terkecil untuk menghitung lendutan teoritis. nilai lendutan teoritis didasarkan pada **Persamaan 3.35** yang secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran 4**.

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	b = 300	28,0237	25,9311	20,7633	7,9212
2	b = 350	25,3547	24,6929	19,9833	7,0568
3	b = 400	21,3514	23,7642	17,5733	6,3843
4	b = 450	24,9099	23,0418	17,8717	5,8433

5.4 Analisa Data Hubungan Beban (P) dengan Lebar Atas Gelagar (b_f) dalam

Kondisi Tebal (t) Pelat Gelagar Tetap Pengujian dan Teoritis

Data dari **Gambar 5.6** seperti terlihat dalam **Tabel 5.3**, terlihat bahwa semakin besar nilai b_f maka nilai P yang diperoleh semakin besar untuk pengujian sedangkan pada teoritis diperoleh hasil yang bervariasi hubungan antara nilai P dengan b_f .

Tabel 5.3 Data hubungan nilai beban (P) terhadap lebar sayap gelagar (b_f) pengujian dan teoritis

Benda Uji	Lebar sayap (b_f) (mm)	Beban P Pengujian (kN)	Beban P Teoritis (kN)
1	300	28,0237	25,9311
2	350	25,3547	24,6929
3	400	21,3514	23,7642
4	450	24,9099	23,0418

5.5 Analisa Hasil Perhitungan Nilai Koefisien Kekakuan Pelat (k)

Data dari hasil pengamatan grafik hubungan koefisien kekakuan pelat (k) dengan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (b_f/t_f) seperti pada **Tabel 5.4**, sedangkan perhitungan didasarkan pada **Persamaan (3.3)**, secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran 5**.

Tabel 5.4 Analisa hubungan nilai koefisien kekakuan pelat (k) dengan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (b_f/t_f)

No.	b_f/t_f	k badan	k sayap
1	150	8,7649	8,7649
2	175	7,2249	9,8339
3	200	5,5920	9,9413
4	225	6,0396	13,5892

5.6 Analisa Hubungan Nilai Tegangan Lentur (F_{cr}) dengan Lebar sayap Gelagar (b_f) Pengujian dan Teoritis

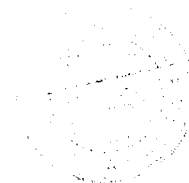
Data dari hasil **Gambar 5.9** disajikan pada **Tabel 5.5**, perhitungan nilai F_{cr} didasarkan pada **Persamaan (3.3)** dapat dilihat pada **Lampiran 3**,

Tabel 5.5 Analisa hubungan tegangan lentur (F_{cr}) dengan lebar sayap gelagar (b_f) Pengujian dan teoritis

No	Benda Uji (b_f/t_f)	k Pengujian	k Teoritis	Angka Poisson (μ)	I_x (ivpa)	F_{cr} Pengujian (Mpa)	F_{cr} Teoritis (Mpa)
1	150	8,7649	4,0	0,3	200000	70,3445	32,1029
2	175	9,8339	4,0	0,3	200000	57,9849	23,5858
3	200	9,9413	4,0	0,3	200000	44,8797	18,0579
4	225	13,5892	4,0	0,3	200000	48,4727	14,2680

5.7 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 trapesium seperti pada **Tabel 5.8**, perhitungan didasarkan pada **Persamaan (3.55)**, secara lengkap perhitungan momen-kelengkungan teoritis pada **Lampiran 6**,



Tabel 5.6 Analisa kekakuan lentur (EI) dari hubungan momen (M) dengan kelengkungan lentur (ϕ) vertikal pengujian dan teoritis

Benda Uji (mm)	P Uji (kN)	F_{cr} Teoritis (Mpa)	M Uji (kNmm)	M Teoritis (kNmm)	ϕ Uji (1/mm)	ϕ Teoritis (1/mm)	$EI = M/\phi$ Teoritis (kN \cdot mm 2)	$EI = M/\phi$ Uji (kN \cdot mm 2)
b=300	28,02	32,1029	18682,44	17287,406	2,3E-06	1,07E-06	1,62E+10	7,97E+09
b=350	25,35	23,5858	16903,16	16461,903	1,7E-06	6,57E-07	2,42E+10	1,02E+10
b=400	21,35	18,0579	14234,24	15842,776	1,2E-06	4,51E-07	3,51E+10	1,27E+10
b=450	24,90	14,2680	16607,61	15361,232	1,1E-06	3,17E-07	4,84E+10	1,54E+10

Dari data pada **Tabel 5.6** dapat dianalisis daktilitas berdasarkan momen kelengkungan yang disajikan pada **Tabel 5.7**

Tabel 5.7 Analisa *daktilitas* berdasarkan hubungan momen (M) terhadap kelengkungan (ϕ)

No.	Benda Uji (mm)	M (kN-mm)	Keleng. M_{maks} ϕ_u (1/mm)	Keleng. M_{maks} ϕ_n (1/mm)	Daktilitas $\mu = \phi_u / \phi_n$
1	bf = 300	18682,44	1,45E-06	2,34E-06	1,62E+00
2	bf = 350	16903,16	1,31E-06	1,66E-06	1,27E+00
3	bf = 400	14234,24	9,82E-06	9,82E-06	1,00E+00
4	bf = 450	16607,61	1,02E-06	1,02E-06	1,00E+00

5.8 Analisa Kerusakan Pada Benda Uji

Dalam penelitian gelagar pelat penampang trapesium ini terjadi kerusakan pada bagian penampang trapesium 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 lebar sayap gelagar (b_f) maka

kekuatan lentumnya semakin kecil dengan tebal pelat sayap (t_f) konstan.

5.9 Pembahasan

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

5.9.1 Kuat tarik baja berdasarkan hasil pengujian kuat tarik baja

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik pelat baja maka baja dengan $f_c = 240$ 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*.

5.9.2. Kuat lentur vertikal gelagar pelat penampang trapesium 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 rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (b_f/t_f) besar menahan beban vertikal lebih kecil dibandingkan dengan rasio b_f/t_f kecil, sehingga lendutan yang terjadi semakin kecil. Hasil ini berbeda dengan teori yang ada

(**Persamaan (3.3)** pada landasan teori) dimana bila nilai b_f/t_f besar mempunyai kekuatan yang lebih besar. Hal ini disebabkan pada pengujian nilai lebar sayap gelagar (b_f) bervariasi sedangkan nilai t_f konstan sehingga kekuatan lentur gelagar besar, dengan b_f kecil maka momen lentur yang dihasilkan lebih besar. Sedangkan pada teori nilai b_f yang konstan sehingga besar kecilnya rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (b_f/t_f) dipengaruhi oleh tebal pelat dimana tebal pelat berpengaruh terhadap kekuatan pelat dalam menahan beban. Semakin tebal pelat maka rasio b_f/t_f semakin kecil dengan demikian kuat lentur yang dihasilkan besar. Dengan kata lain besar nilai b_f mempengaruhi besar kemampuan gelagar pelat menahan beban vertikal dalam kondisi t_f tetap. Bila nilai b_f konstan sedangkan nilai t_f variabel maka kuat lentur gelagar pelat dipengaruhi oleh tebal sayap.

Perhitungan P teoritis lentur diperoleh nilai P dan lendutannya semakin kecil untuk nilai b_f semakin besar. Hal ini menunjukkan nilai lendutan teoritis mempunyai kesamaan lendutan pengujian yaitu semakin besar nilai b_f maka lendutannya semakin kecil. Lendutan teoritis lebih kecil dari lendutan pengujian.

5.9.3 Hubungan beban (P) dengan lebar gelagar (b_f) dalam kondisi tebal pelat gelagar (t_f) tetap pengujian dan teoritis.

Dari hasil pada **Gambar 5.6** menunjukkan bahwa nilai beban yang diperoleh benda uji dengan lebar gelagar besar kekuatan menahan beban semakin kecil. Ini berarti kekuatan gelagar pelat pada kondisi tebal pelat konstan dipengaruhi oleh lebar sayap gelagarnya. Sedangkan secara teoritis diperoleh nilai beban yang juga semakin mengecil hal ini disebabkan pengaruh momen yang terjadi pada tiap benda uji sesuai dengan nilai tegangan kritis dan modulus penampang. Dengan demikian kuat lentur

gelagar pelat penampang trapesium dipengaruhi oleh besar kecilnya lebar sayap gelagar pelat (b_f).

5.9.4 Kuat lentur gelagar pelat penampang Trapesium ditinjau dari hubungan nilai koefisien kekakuan (k) dengan rasio lebar sayap terhadap tebal pelat sayap (b_f/t_f)

Dari hasil pengamatan **Gambar 5.7** dan **Gambar 5.8** bahwa nilai koefisien kekakuan untuk pelat sayap dengan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap besar, nilai kekakuannya bertambah besar. Kekakuan untuk pelat badan yang ditumpu sederhana pada kedua sisi sayapnya yaitu $k = 23.9$. Pada benda uji 1 - 4 nilai tersebut tidak dapat tercapai, hal ini dikarenakan gelagar tidak diberi pengaku.

Nilai k pada sayap untuk benda uji 1 - 4 mempunyai nilai diatas dari persyaratan nilai k untuk tumpuan sederhana (sendi-sendiri) yaitu $k = 4$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai k dipengaruhi oleh besarnya nilai lebar gelagar, dimana semakin besar nilai b_f maka nilai k badan semakin kecil dan nilai k sayap cenderung bertambah besar.

5.9.5 Hubungan nilai tegangan lentur (f_{cr}) dengan lebar sayap gelagar pelat (b_f) pengujian dan teoritis

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa lebar gelagar besar mempunyai tegangan lentur yang besar sesuai dengan **Persamaan (3.3)** pada landasan teori. Nilai tegangan lentur teoritis menunjukkan perilaku yang sama yaitu semakin besar nilai rasio lebar terhadap tebal nilai tegangan lenturnya semakin kecil. Hal ini sama dengan hasil yang didapatkan dari pengujian, dimana lebar gelagar semakin besar

kuat lenturnya kecil. Kasus ini dikarenakan pada teori untuk rasio lebar sayap terhadap tebal pelat badan nilai pelat badannya variabel sedangkan tinggi gelagar konstan, sehingga rasio lebar terhadap tebal pelat sayap besar gelagar langsing rawan terhadap tekuk dan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap kecil (t_f 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). Pada pengujian ini dapat disimpulkan lebar gelagar yang besar memberikan tegangan lentur yang kecil.

5.9.6 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 besar dari pada teoritis. 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 lebar gelagar kelengkungan semakin kecil. Pada pengujian ini diperoleh nilai daktilitas yang bertambah kecil 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 lebar gelagar tersebut.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

- 1) Hubungan antara beban (P) dengan lendutan (Δ) pada pengujian dan teoritis bahwa benda uji dengan lebar gelagar (b_f) besar menunjukkan kemampuan menahan beban yang lebih kecil dibandingkan dengan benda uji yang mempunyai b_f kecil, sehingga lendutan yang dihasilkan benda uji dengan b_f besar lebih kecil dibandingkan benda uji dengan b_f kecil. Ini berarti semakin besar nilai b_f kekuatan lentur benda uji semakin kecil dalam kondisi tebal pelat badan (t_w) dan sayap (t_f) tetap
- 2) Dari data yang diperoleh maka dapat disimpulkan benda uji dengan lebar gelagar (b_f) kecil lebih mampu menahan beban (P) dan perilaku yang sama juga pada beban teoritis menunjukkan nilai yang sama dengan pola yang semakin besar lebar gelagar pelat nilai bebannya menunjukkan semakin kecil.

- 3) Nilai koefisien kekakuan pelat (k) badan pada benda uji 1, 2, 3 dan 4 mempunyai nilai dibawah persyaratan: nilai k untuk pelat yang ditumpu sederhana dengan nilai k badan yaitu $k = 23.9$. Sedangkan nilai kekakuan sayap (k) benda uji 1, 2, 3, 4 lebih dari nilai k minimum yang ditumpu sederhana pada kedua sayapnya yaitu k sayap = 4. Dengan demikian nilai k pada pengujian ini dipengaruhi oleh variasi nilai b_f dengan kondisi tebal pelat badan (t_w) dan sayap (t_f) tetap.
- 4) Nilai rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (b_f / t_f) besar didapatkan nilai kuat lentur (F_{cr}) kecil. Hal ini sama dengan hasil yang diperoleh dari pengujian yang ditunjukkan pada hubungan beban lendutan, dikarenakan persamaan yang digunakan rasio b_f / t_f nilai h konstan dan t_f variabel. Sedangkan pada pengujian nilai b_f variabel dan nilai t_f konstan, Jadi dapat disimpulkan bahwa nilai b_f atau t_f yang variabel mempengaruhi kuat lentur gelagar pelat.
- 5) Nilai kekakuan lentur (EI) pengujian semakin kecil sedangkan teoritis menunjukkan perilaku yang besar. Yaitu semakin besar lebar gelagar nilai kekakuan lenturnya semakin besar sehingga gelagar dengan lebar besar mempunyai kekuatan yang besar.

6.2 Saran

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

- 1) Digunakan sampel dengan rasio lebar terhadap tebal pelat sayap (b_f / t_f) > 225 untuk gelagar pelat penampang: trapesium.

- 2) Digunakan sampel dengan rasio tinggi terhadap tebal pelat badan (h/t_w) dengan nilai B_f 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. Bowles, 1980, **STRUCTURE STEEL DESIGN**, McGraw-Hill Book Company, Inc.

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

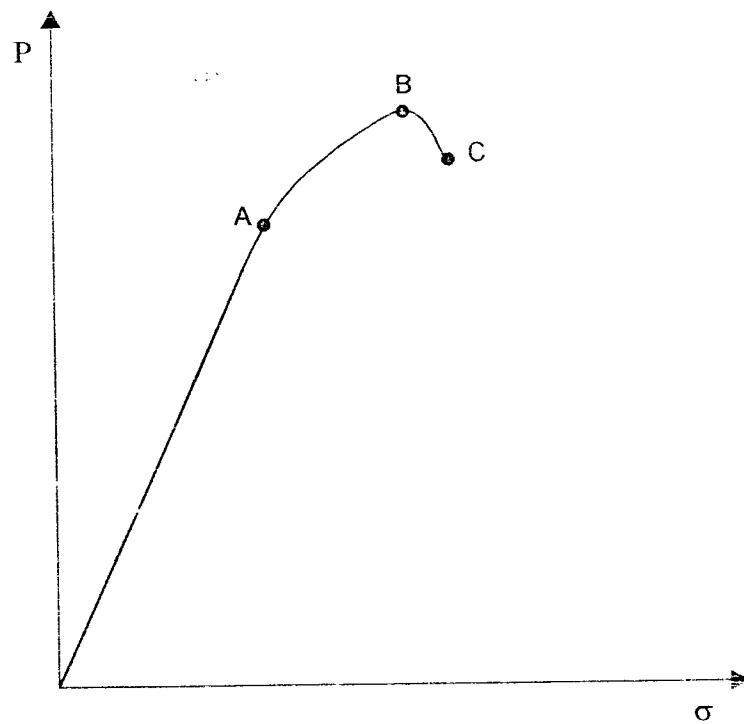
Timoshenko dan Woinowski-Kriger, 1959, **THEORY OF PLATES AND SHELLS**, McGraw-Hill Book Company, Inc, New York.

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

LAMPIRAN

Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian ini merupakan pengujian terhadap kekuatan kuat tarik pelat baja dengan tebal 2 mm dan profil L 30x30x3. pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII Yogyakarta pada tanggal 4 Maret 2003. adapun hasil uji pendahuluannya adalah sebagai berikut :

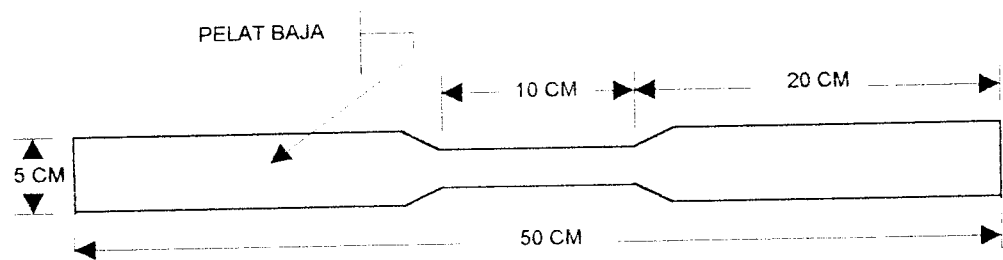


Keterangan

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

$$F_y = \frac{\text{Beban Luluh}}{A} \quad ; \quad F_u = \frac{\text{Beban Maksimum}}{A}$$

a. Pelat Baja



$$t = 0.2$$

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

$$\text{Beban (P) luluh} = 712 \text{ N}$$

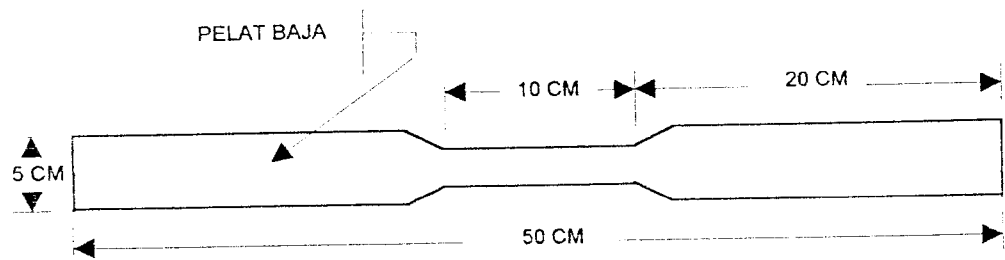
$$\text{Beban (P) maks} = 964 \text{ N}$$

$$\text{Beban (P) patah} = 1166 \text{ N}$$

$$F_y = \frac{\text{Beban Luluh}}{A} = \frac{712}{3} = 237,3333 \text{ MPa} \approx 240 \text{ MPa}$$

$$F_y = \frac{\text{Beban Maksimum}}{A} = \frac{964}{3} = 321,3333 \approx 320 \text{ MPa}$$

b. Profil L30x30x30



$$t = 0.3$$

$$A = 0,3 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm} = 0.3 \text{ cm}^2 = 30 \text{ mm}^2$$

$$\text{Beban (P) luluh} = 1112 \text{ N}$$

$$\text{Beban (P)}_{\text{maks}} = 1228 \text{ N}$$

$$\text{Beban (P) patah} = 373 \text{ N}$$

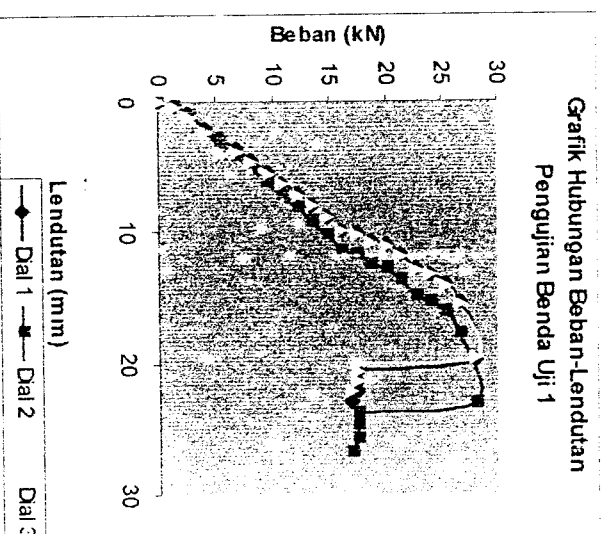
$$F_y = \frac{\text{Beban Luluh}}{A} = \frac{1112}{3} = 370,6667 \text{ MPa} \approx 370 \text{ MPa}$$

$$F_y = \frac{\text{Beban Maksimum}}{A} = \frac{1228}{3} = 409,3333 \approx 410 \text{ MPa}$$

A. Benda Uji 1

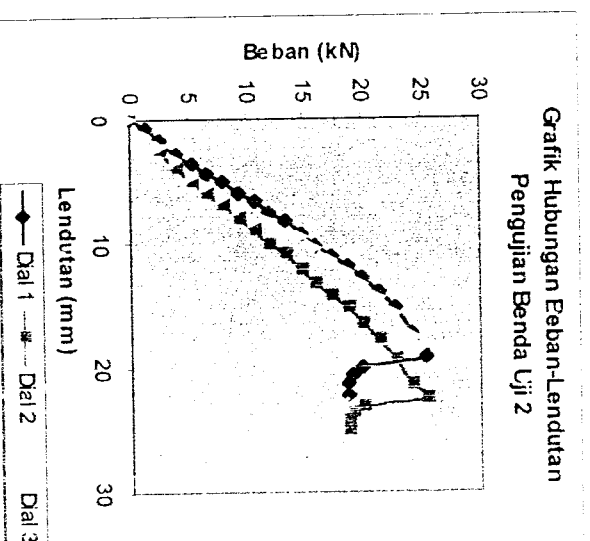
No	Beban KN	Defleksi (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0	0	0	0
2	1.33	0.31	0.28	0.44
3	2.67	0.92	1.00	1.14
4	4.00	2.15	2.42	2.43
5	5.34	2.85	3.22	4.14
6	6.67	3.67	4.17	3.93
7	8.01	4.50	5.10	4.72
8	9.34	5.43	6.23	5.60
9	10.68	6.27	7.22	6.40
10	12.01	7.06	8.17	7.28
11	13.34	7.96	9.22	8.05
12	14.68	8.85	10.30	8.95
13	16.01	9.90	11.53	10.00
14	17.35	10.11	11.75	10.20
15	18.68	10.74	12.49	10.85
16	20.02	11.06	12.81	11.15
17	21.35	11.77	13.68	11.88
18	22.69	12.83	14.88	12.95
19	24.02	13.20	15.32	13.32
20	25.35	14.04	16.20	14.14
21	26.69	15.39	17.79	15.48
22	28.02	19.75	23.01	19.53
23	17.35	20.70	23.83	19.99
24	17.35	21.38	24.73	20.62
25	17.35	22.22	25.84	21.38
26	16.90	22.97	26.87	22.09

Hubungan Beban-Lendutan Pengujian



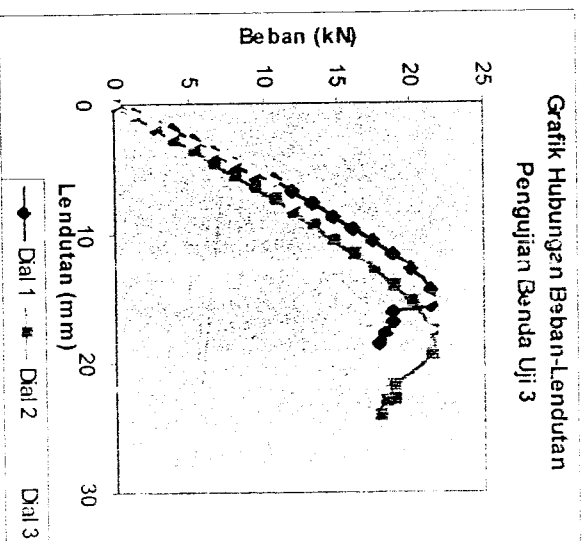
B. Benda Uji 2

No	Beban kN	Defleksi (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0	0	0	0
2	1.33	0.75	1.22	1.44
3	2.67	1.75	2.57	2.30
4	4.00	2.85	3.96	3.33
5	5.34	3.59	5.03	4.60
6	6.67	4.38	6.07	5.41
7	8.01	5.14	7.03	6.31
8	9.34	5.96	8.12	7.26
9	10.68	6.70	9.01	8.22
10	12.01	7.56	10.10	8.23
11	13.34	8.33	11.00	9.49
12	14.68	9.31	12.18	9.51
13	16.01	10.25	13.27	10.44
14	17.35	11.06	14.26	11.40
15	18.68	11.88	15.26	12.39
16	20.02	12.93	16.54	13.40
17	21.35	14.00	17.82	14.48
18	22.69	15.26	19.35	15.64
19	24.02	17.23	21.40	17.41
20	25.35	19.16	22.52	18.27
21	20.02	19.96	23.16	18.30
22	19.13	20.65	23.72	18.48
23	18.68	21.25	24.22	19.16
24	18.68	22.25	25.08	19.37



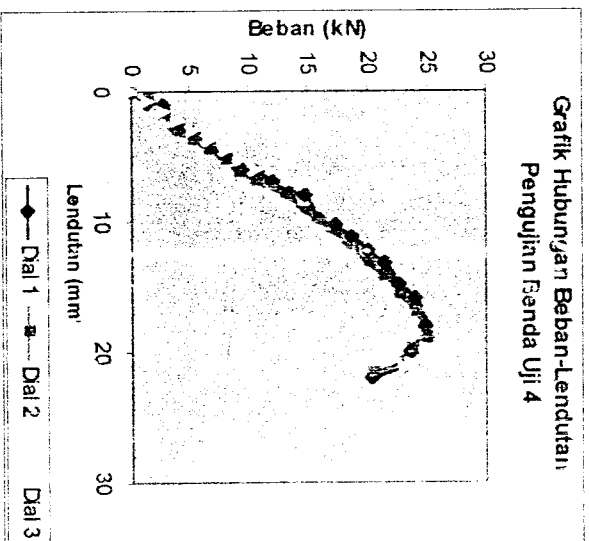
C. Benda Uji 3

No	Beban kN	Defleksi (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0	0	0	0
2	1.33	0.74	0.98	0.70
3	2.67	1.86	1.85	1.49
4	4.00	2.05	2.84	2.29
5	5.34	2.90	3.64	2.98
6	6.67	3.82	4.68	3.80
7	8.01	4.70	5.56	4.57
8	9.34	5.66	6.57	5.36
9	10.68	5.98	7.44	6.08
10	12.01	6.84	8.54	7.97
11	13.34	7.76	9.41	8.75
12	14.68	8.78	10.69	9.82
13	16.01	9.72	11.70	10.65
14	17.35	10.72	12.80	11.56
15	18.68	11.77	14.17	12.78
16	20.02	12.78	15.45	13.88
17	21.35	14.48	17.65	15.27
18	21.35	15.76	19.48	17.48
19	18.68	16.03	21.80	18.60
20	18.68	16.85	22.80	19.66
21	18.24	17.79	23.05	20.94
22	17.79	18.63	24.12	21.20



D. Benda Uji 4

No	Beban kN	Defleksi (mm)		
		Dial 1	Dial 2	Dial 3
1	0	0	0	0
2	1.33	0.86	0.59	0.70
3	2.67	1.02	1.80	2.00
4	4.00	2.85	3.00	2.12
5	5.34	3.24	3.81	3.81
6	6.67	4.07	4.57	4.42
7	8.01	4.93	5.32	5.02
8	9.34	5.85	6.18	5.75
9	10.68	6.15	6.93	6.36
10	12.01	7.04	7.75	7.05
11	13.34	7.91	8.40	7.59
12	14.68	8.07	9.38	8.39
13	16.01	9.89	10.27	9.19
14	17.35	10.31	11.27	10.01
15	18.68	11.15	12.15	10.79
16	20.02	12.28	13.31	11.83
17	21.35	13.18	14.27	12.70
18	22.69	14.83	15.54	13.85
19	24.02	15.92	16.95	15.10
20	24.91	17.59	18.88	16.75
21	23.58	19.96	19.83	17.25
22	23.13	21.11	20.71	17.83
23	20.46	21.96	21.72	18.48



Perhitungan Nilai Tegangan Lentur Kritis (F_{cr})

Rumus yang digunakan sesuai dengan persamaan pada landasan teori yaitu persamaan (3.3)

No.	Benda Uji ($b_f t_f$)	k Sayap Pengujian	k Badan Pengujian	Angka Poisson (μ)	E	F_{cr} Sayap Pengujian (N/mm^2)
1	150	8,7649	8,7649	0,3	200000	70,3445
2	175	9,8339	7,2249	0,3	200000	57,9849
3	200	9,9413	5,5920	0,3	200000	44,8797
4	225	13,5892	6,0397	0,3	200000	48,4725

Perhitungan Tegangan Kritis (F_{cr}) Teoritis

Tegangan kritis sayap (F_{cr} sayap)

Persamaan tegangan kritis yang digunakan adalah,

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

Nilai k sayap teoritis = 4

- Benda uji 1 ($b_f/t_f = 150$)

$$F_{cr} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{150}{2}\right)^2} = 32,1029 \text{ MPa}$$

- Benda uji 2 ($b_f/t_f = 175$)

$$F_{cr} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{175}{2}\right)^2} = 23,5858 \text{ MPa}$$

- Benda uji 3 ($b_f/t_f = 200$)

$$F_{cr} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{200}{2}\right)^2} = 18,0579 \text{ MPa}$$

- Benda uji 4 ($b_f/t_f = 225$)

$$F_{cr} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{225}{2}\right)^2} = 14,2680 \text{ MPa}$$

Tegangan kritis badan (F_{cr} badan)

Persamaan tegangan kritis yang digunakan adalah,

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

Nilai k badan teoritis = 23,9

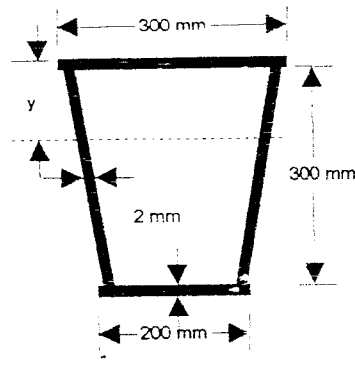
Nilai F_{cr} sayap untuk keempat benda uji sama karena h/t tetap yaitu 150.

Perhitungan nilai F_{cr} badan sebagai berikut:

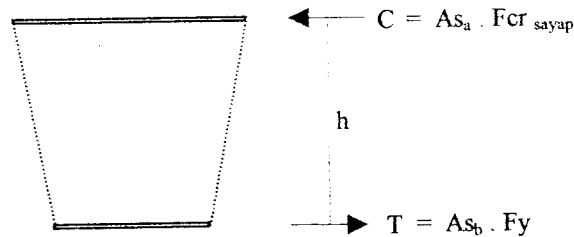
$$F_{cr} = \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{300}{2}\right)^2} = 191,8148 \text{ MPa}$$

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

Sampel 1 ($b_f/t_f = 150$)



a. Sayap



$$A_{S_a} = 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_b} = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$k = 4$$

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \cdot (b/t)} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12(1 - 0.3^2) \cdot (300/2)^2} = 32,1029 \text{ MPa}$$

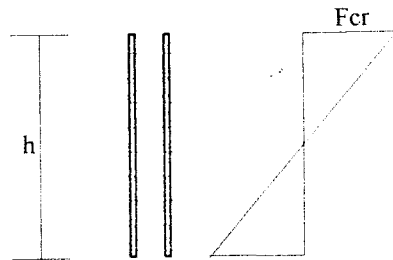
$$C = A_{S_a} \cdot F_{cr \text{ sayap}} = 600 \cdot 32,1029 = 19261,7338$$

$$T = A_{s_b} \cdot F_y = 400 \cdot 240 = 96000$$

$$M_{\text{sayap a}} = C \cdot h = 19261,7338 \cdot 300 = 5778520,1465 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{sayap b}} = T \cdot h = 96000 \cdot 19261,7338 \cdot 300 = 28800000 \text{ Nmm}$$

b. Badan (untuk semua sampel benda uji sama)



$$t = 2 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \cdot (b/t)^2} = \frac{23,9 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12(1 - 0,3^2) \cdot (300/2)^2} = 191,8148 \text{ MPa}$$

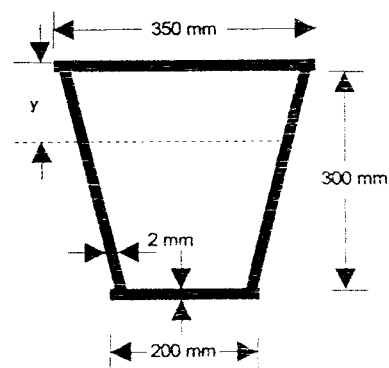
$$M_{\text{badan}} = 2 \cdot (1/6) \cdot t \cdot h^2 \cdot f_{cr} = 2 \cdot (1/6) \cdot 2 \cdot 300^2 \cdot 191,8148 = 11508885,9585 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{total}} = M_{\text{sayap}} + M_{\text{badan}} = 5778520,1465 + 11508885,9585 = 17287,4061 \text{ kNmm}$$

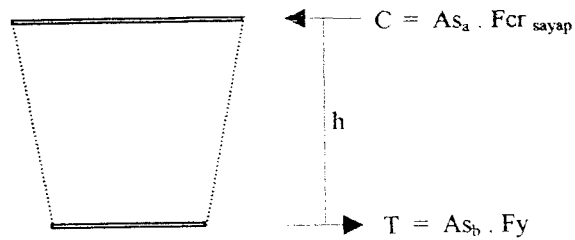
$$M_{\text{total}} = (1/6) \cdot P \cdot L$$

$$P = 6 \cdot M_{\text{total}} / L = 25,9311 \text{ kN}$$

Sampel 2 ($b_f/t_f = 175$)



c. Sayap



$$A_{s_a} = 2 \cdot 350 = 700 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_b} = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$k = 4$$

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \cdot (b/t)^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12(1 - 0.3^2) \cdot (350/2)^2} = 23,5858 \text{ MPa}$$

$$C = A_{s_a} \cdot F_{cr_sayap} = 700 \cdot 23,5858 = 16510,0576$$

$$T = A_{s_b} \cdot F_y = 400 \cdot 240 = 96000$$

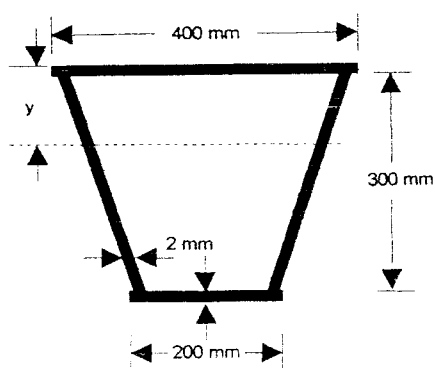
$$M_{sayap\ a} = C \cdot h = 19261,7338 \cdot 300 = 4953017,2684 \text{ Nmm}$$

$$M_{sayap\ b} = T \cdot h = 96000 \cdot 19261,7338 \cdot 300 = 28800000 \text{ Nmm}$$

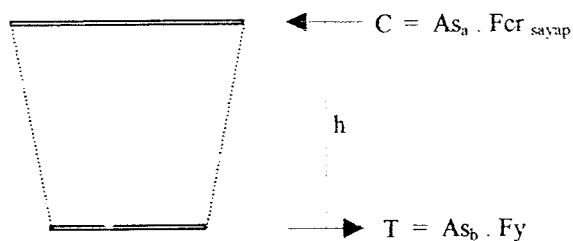
$$M_{total} = M_{sayap} + M_{badan} = 4953017,2684 + 11508885,9585 = 16461,9032 \text{ kNmm}$$

$$M_{total} = (1/6) \cdot P \cdot L$$

$$P = 6 \cdot M_{total} / L = 24,6929 \text{ kN}$$

Sampel 3 ($b/t_f = 200$)

d. Sayap



$$A_{S_a} = 2 \cdot 400 = 800 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_b} = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$k = 4$$

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \cdot (b/t)} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12(1 - 0.3^2) \cdot (400/2)^2} = 18,0579 \text{ MPa}$$

$$C = A_{S_a} \cdot F_{cr \text{ sayap}} = 800 \cdot 18,0579 = 14446,3004$$

$$T = A_{S_b} \cdot F_y = 400 \cdot 240 = 96000$$

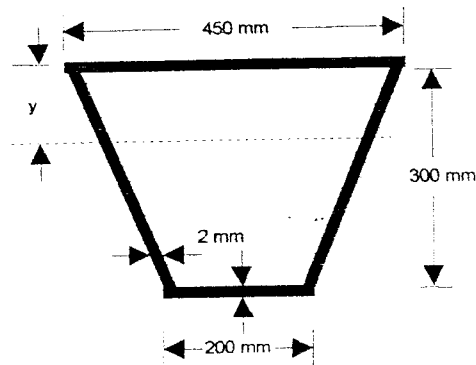
$$M_{\text{sayap a}} = C \cdot h = 14446,3004 \cdot 300 = 4333890,1099 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{sayap b}} = T \cdot h = 96000 \cdot 19261,7338 \cdot 300 = 28800000 \text{ Nmm}$$

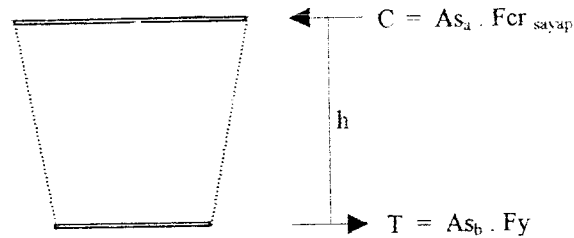
$$M_{\text{total}} = M_{\text{sayap}} + M_{\text{badan}} = 4333890,1099 + 11508885,9585 = 15842,7761 \text{ kNmm}$$

$$M_{\text{total}} = (1/6) \cdot P \cdot L$$

$$P = 6 \cdot M_{\text{total}} / L = 23,7642 \text{ kN}$$

Sampel 4 ($b/t_f = 225$)

e. Sayap



$$A_{s_a} = 2 \cdot 450 = 900 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_b} = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$k = 4$$

$$F_{cr} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \cdot (b/t)} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 200000}{12(1 - 0.3^2) \cdot (450/2)^2} = 14,2680 \text{ MPa}$$

$$C = A_{s_a} \cdot F_{cr \text{ sayap}} = 900 \cdot 14,2680 = 12841,1559$$

$$T = A_{s_b} \cdot F_y = 400 \cdot 240 = 96000$$

$$M_{\text{sayap a}} = C \cdot h = 12841,1559 \cdot 300 = 3852346,7643 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{sayap b}} = T \cdot h = 96000 \cdot 19261,7338 \cdot 300 = 28800900 \text{ Nmm}$$

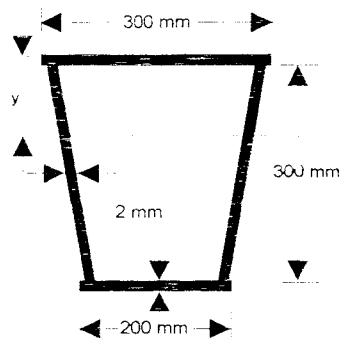
$$N_{\text{total}} = M_{\text{sayap}} + M_{\text{badan}} = 3852346,7643 + 11508885,9585 = 15361,2327 \text{ kNmm}$$

$$N_{\text{total}} = (1/6) \cdot P \cdot L$$

$$P = 6 \cdot M_{\text{total}} / L = 23,0418 \text{ kN}$$

Perhitungan Nilai Koefisien Kekakuan Pelat (k) Pengujian

Sampel 1 ($b_f/t_f = 150$)



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

$$y = 140 \text{ mm}$$

$$I = 37181898,6667 \text{ mm}^4$$

$$P_{\max} = 28,0237 \text{ kN}$$

$$M = \frac{1}{6} \times P \times L = \frac{1}{6} \times 28,0237 \times 4000 = 18682,4400 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$S_x = \frac{I}{Y} = \frac{37181898,6667}{140} = 265584,9905 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{18682,4400}{265584,9905} = 70,3445 \text{ Mpa}$$

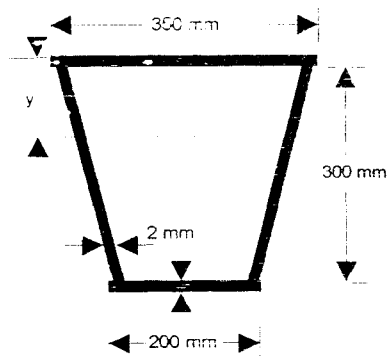
$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t} \right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$$E = 200.000 \text{ Mpa} ; \mu = 0.3$$

$$k_{\text{badan}} = \frac{70,3445(1-0,3^2) \left(\frac{300}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 8,7649$$

$$k_{\text{sayap}} = \frac{70,3445(1-0,3^2) \left(\frac{300}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 8,7649$$

Sampel 2 ($b_f/t_f = 175$)



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

$$y = 136,3636 \text{ mm}$$

$$I = 39743383,1698 \text{ mm}^4$$

$$P_{\text{max}} = 25,3547 \text{ kN}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 25,3547 \cdot 4000 = 16903,1600 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$S_x = \frac{I}{Y} = \frac{39743383,1698}{136,3636} = 291509,7785 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{25,3547}{291509,7785} = 57,9849 \text{ Mpa}$$

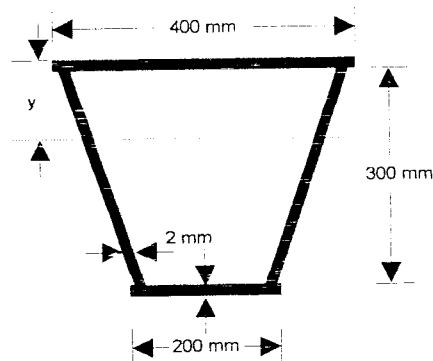
$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$$E = 200.000 \text{ Mpa} ; \mu = 0.3$$

$$k_{\text{badan}} = \frac{57,9849(1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{300}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 7,2249$$

$$k_{\text{savap}} = \frac{57,9849(1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{350}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 9,8339$$

Sampel 3 ($b/t_f = 200$)



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

$$y = 133,3333 \text{ mm}$$

$$I = 42278029,2622 \text{ mm}^4$$

$$P_{\text{max}} = 21,3514 \text{ kN}$$

$$M = \frac{1}{6} \cdot P \cdot x \cdot L = \frac{1}{6} \cdot 21,3514 \cdot 400 = 14234,2400 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$S_x = \frac{I}{Y} = \frac{42278029,2622}{133,33333} = 317164,5106 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{14234,2400}{317164,5106} = 44,8797 \text{ Mpa}$$

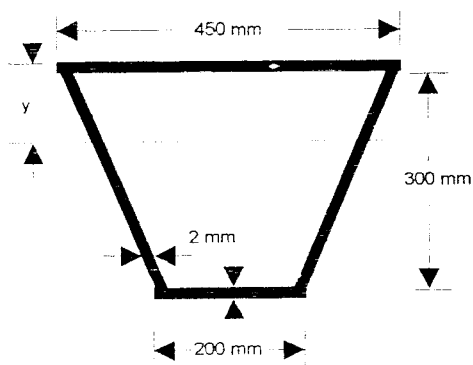
$$k = \frac{F_{cr} \cdot 12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$$E = 200.000 \text{ Mpa} ; \mu = 0,3$$

$$k_{\text{badan}} = \frac{44,8797(1 - 0,3^2) \left(\frac{300}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 5,5920$$

$$k_{\text{savap}} = \frac{44,8797(1 - 0,3^2) \left(\frac{400}{2}\right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 9,9413$$

Sampel 4 ($b/t_f = 225$)



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

$$y = 130,7692 \text{ mm}$$

$$I = 44788146,6568 \text{ mm}^4$$

$$P_{\text{max}} = 24,9099 \text{ kN}$$

$$M = \frac{1}{6} \times P \times L = \frac{1}{6} \times 24,9099 \times 4000 = 16606,6133 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$S_x = \frac{I}{Y} = \frac{44788146,6568}{130,7692} = 342598,3563 \text{ mm}^3$$

$$F_{cr} = \frac{M}{S_x} = \frac{16606,6133}{342598,3563} = 48,4725 \text{ Mpa}$$

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

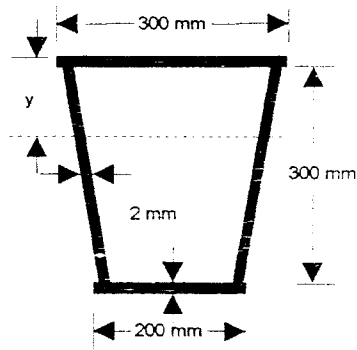
$$E = 200.000 \text{ Mpa} ; \mu = 0,3$$

$$k_{\text{badan}} = \frac{48,4725(1 - 0,3^2) \left(\frac{300}{2} \right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 6,0396$$

$$k_{\text{sayap}} = \frac{48,4725(1 - 0,3^2) \left(\frac{450}{2} \right)^2}{\pi^2 \cdot 200000} = 13,5892$$

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

Sampel 1 ($b/t = 150$)



* Kondisi Elastis

$$M = 17287,4061 \text{ k N-mm}$$

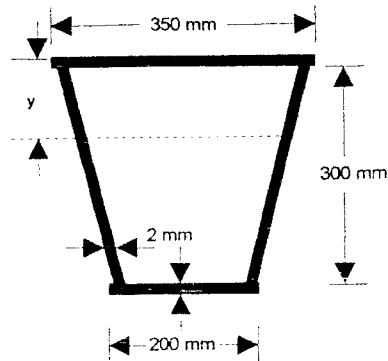
- Nilai Regangan

$$\varepsilon = \frac{F_{cr}}{E} = \frac{32,1029}{200000} = 1,6051 \cdot 10^{-4}$$

- Nilai Kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{b/2} = \frac{1,6051 \cdot 10^{-4}}{300/2} = 1,07 \cdot 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

Sampel 2 (b/t = 175)



* Kondisi Elastis

$$M = 16461,9032 \text{ kN-mm}$$

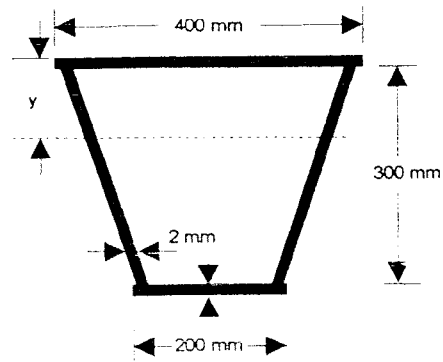
- Nilai Regangan

$$\varepsilon = \frac{F_{cr}}{E} = \frac{23,5858}{200000} = 1,150 \cdot 10^{-4}$$

- Nilai Kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{b/2} = \frac{1,150 \cdot 10^{-4}}{350/2} = 6,5714 \cdot 10^{-7} \text{ 1/mm}$$

Sampel 3 (b/t = 200)



□ Kondisi Elastis

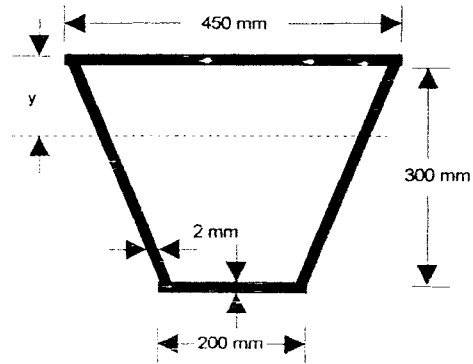
$$M = 15842,7761 \text{ kN-mm}$$

• Nilai Regangan

$$\varepsilon = \frac{F_{cr}}{E} = \frac{18,0579}{200000} = 9,0289 \cdot 10^{-5}$$

• Nilai Kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{b/2} = \frac{9,0289 \cdot 10^{-5}}{400/2} = 4,5144 \cdot 10^{-7} \text{ 1/mm}$$

Sampel 4 ($b/t = 225$)

□ Kondisi Elastis

$$M = 15361,2327 \text{ kN-mm}$$

• Nilai Regangan

$$\varepsilon = \frac{F_{cr}}{E} = \frac{14,2680}{200000} = 7,1314 \cdot 10^{-5}$$

• Nilai Kelengkungan

$$\phi = \frac{\varepsilon}{b/2} = \frac{7,1314 \cdot 10^{-5}}{450/2} = 3,1695 \cdot 10^{-7} \text{ 1/mm}$$

Foto Pelaksanaan Pengujian

