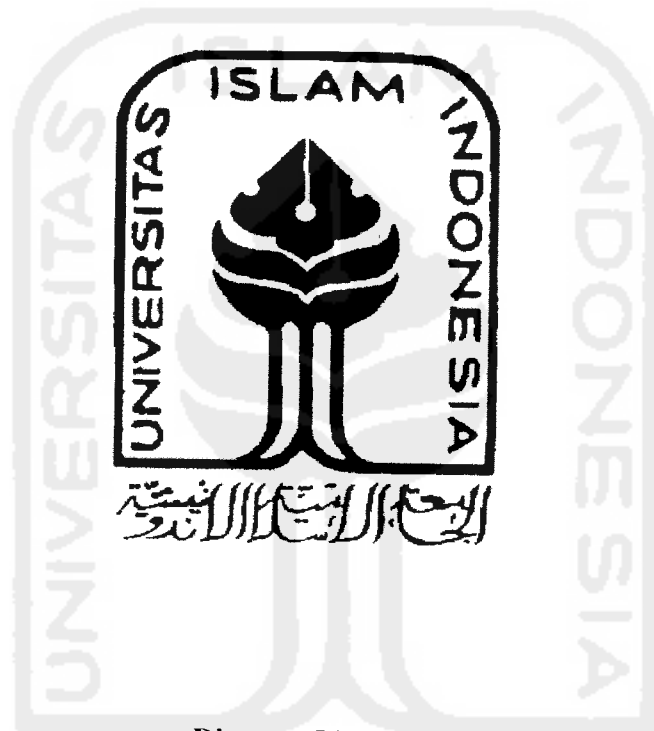


**TUGAS AKHIR
STUDI EKSPERIMENTAL**

**PERILAKU GELAGAR PLAT DENGAN VARIASI
RASIO TINGGI TERHADAP TEBAL BADAN**



Disusun Oleh :

**WAHYU TEGUH PAMBUDI
NIM : 95 310 106**

**AGUS PRASETYO
NIM : 98 511 244**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2002**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PERILAKU GELAGAR PLAT DENGAN VARIASI
RASIO TINGGI TERHADAP TEBAL BADAN**

**Diajukan Sebagai Persyaratan Memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil Pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jogjakarta**

Disusun oleh :

Nama : Wahyu Teguh Pambudi

No. Mhs : 95 310 106

Nama : Agus Prasetyo

No. Mhs : 98 511 244


Telah diperiksa dan disetujui oleh :

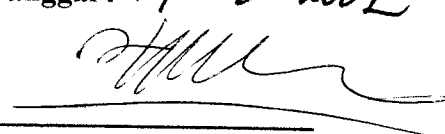
Ir. H. Susastrawan, MS

Dosen Pembimbing I

Ir. Fatkhurrohman NS, MT

Dosen Pembimbing II


Tanggal : 14 - 8 - 2002


Tanggal : 14 - 08 - 2002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini kami persembahkan untuk :

Almamater tercinta Universitas Islam Indonesia

Teman-teman Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia

Semoga tugas akhir ini bermanfaat dikemudian hari

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Puji syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, khususnya kepada kami sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa sholawat serta salam kami panjatkan kehadiran Rasulullah SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas akhir dengan judul **PERILAKU GELAGAR PLAT DENGAN VARIASI RASIO TINGGI TERHADAP TEBAL BADAN** diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari sumbangan pemikiran dari berbagai pihak yang sangat membantu, sehingga penulis dapat menyelesaikan semua hambatan yang terjadi selama penyusunan hingga selesainya tugas akhir ini. Maka pada kesempatan ini dengan penuh hormat dan kerendahan hati penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, yaitu:

1. Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
2. Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan juga selaku Kepala Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil

dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan ide-ide dasar dan bimbingannya hingga selesainya tugas akhir ini.

3. Dr. Ir. H. Luthfi Hasan, MS, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.
4. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
5. Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
6. Staf Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
7. Ibu dan Ayah tercinta yang telah membimbing sejak kecil hingga kini dan selalu memberi dorongan baik moral maupun material selama pelaksanaan pendidikan, penelitian dan penulisan tugas akhir ini.
8. Teman-teman dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu kami dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan ilmu, kemampuan dan pengalaman kami dalam penelitian dan penulisan. Untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat kami harapkan guna perbaikan dan pengembangan selanjutnya.

Tidak ada yang dapat kami berikan selain ucapan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan semoga dapat diterima sebagai amal baik disisi Allah SWT.

Akhir kata, penyusun berharap semoga tugas akhir ini bermanfaat dan memberikan tambahan ilmu bagi kita semua. Semoga Allah SWT meridhoi kita semua, amin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wubarakatuh

Jogjakarta, Juli 2002

Penulis



DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR SIMBOL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
INTISARI.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Lokasi Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5

BAB III LANDASAN TEORI	8
3.1 Umum.....	8
3.1.1 Gelagar Plat.....	8
3.1.2 Lentur Pada Gelagar Plat.....	9
3.2 Stabilitas Dan Kapasitas Gelagar Plat.....	10
3.3 Tekuk Pada Bidang Badan.....	11
3.3.1 Lentur Pada Bidang Badan.....	11
3.3.2 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni.....	13
3.3.3 Tekuk Lokal Pada Badan.....	16
3.4 Kekuatan Pada Elemen Sayap.....	18
3.4.1 Tekuk Elastis Pada Sayap.....	19
3.4.2 Tekuk Vertikal Pada Sayap.....	20
3.5 Kekuatan Lentur Batas Pada Gelagar.....	24
3.6 Kekuatan Geser Dari Medan Tarik.....	26
3.7 Hubungan Momen-Kelengkungan.....	27
3.8 Hubungan Beban-Lendutan.....	33
3.9 Daktilitas.....	35
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN	37
4.1 Metode Penelitian.....	37
4.2 Bahan Penelitian.....	38
4.3 Alat Yang Digunakan.....	38
4.4 Benda Uji.....	42

4.5	Pembuatan Benda Uji.....	43
4.6	Jumlah Benda Uji.....	43
4.7	Pengujian Benda Uji.....	44
4.7.1	Pengujian Kuat Lentur.....	45
4.7.2	Pengujian Kuat Tarik.....	46
BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	47
5.1	Hasil Penelitian.....	47
5.1.1	Kualitas Plat Baja.....	47
5.1.2	Hubungan Beban-Lendutan.....	47
1.	Hubungan Beban-Lendutan Teoritis.....	47
2.	Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian.....	48
3.	Grafik Hubungan Beban-Lendutan.....	49
4.	Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan.....	50
5.1.3	Hubungan Momen-Kelengkungan.....	51
1.	Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis.....	51
2.	Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Penelitian.....	51
3.	Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan.....	53
4.	Analisa Kerusakan Pada Benda Uji.....	53
5.2	Pembahasan.....	54
5.2.1	Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan.....	54

5.2.2	Daktilitas Simpangan Gelagar Plat Ditinjau Dari	
	Hubungan Beban-Lendutan.....	56
5.2.3	Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari	
	Hubungan Momen-Kelengkungan.....	57
5.2.4	Daktilitas Lengkung Gelagar Plat Ditinjau Dari	
	Hubungan Momen-Kelengkungan.....	59
5.2.5	Hubungan Tanpa Dimensi	
	Beban-Daktilitas Simpangan.....	60
5.2.6	Hubungan Tanpa Dimensi	
	Momen-Daktilitas Lengkung.....	61
5.2.7	Hubungan Tanpa Dimensi Antara Rasio Momen	
	Lentur Hasil Pengujian Terhadap Momen Lentur	
	Teoritis (M_u/M_y) Dengan Rasio Tinggi Terhadap	
	Tebal Badan (h/t_w) Gelagar Plat.....	63
5.2.8	Hubungan Tanpa Dimensi Antara Rasio Momen	
	Lentur Hasil Pengujian Terhadap Momen Lentur	
	Teoritis (M_u/M_y) Dengan Rasio Luas Badan Terhadap	
	Luas Sayap (A_w/A_f) Gelagar Plat.....	64
5.2.9	Tekuk Akibat Geser Pada Gelagar Plat.....	65

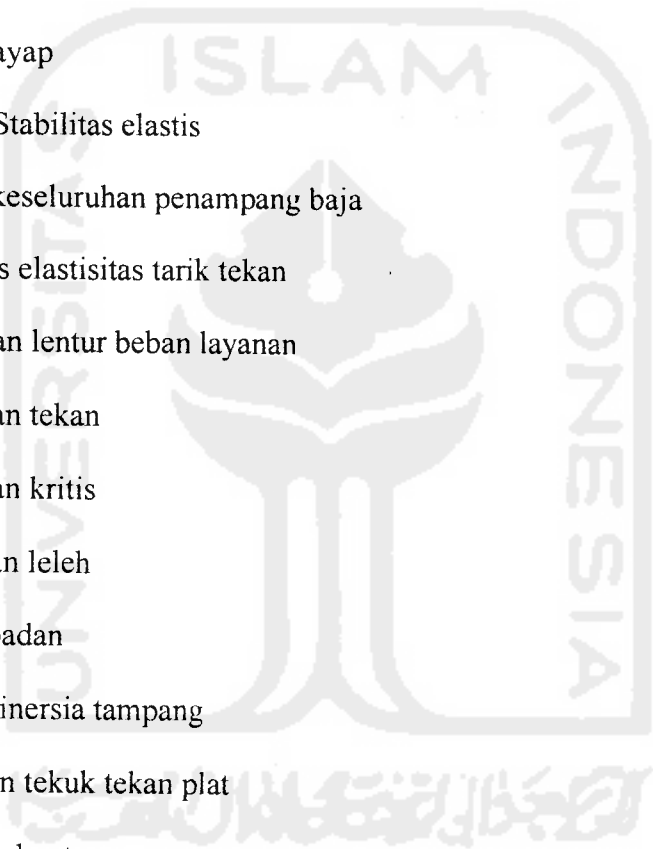
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	66
6.1 Kesimpulan.....	66
6.2 Saran.....	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR SIMBOL



a	= Jarak antar pengaku
A_f	= Luas bruto sebuah sayap
A_w	= Luas badan
b	= Lebar sayap
C_v	= τ_{cr}/τ_y = Stabilitas elastis
d	= Tinggi keseluruhan penampang baja
E	= Modulus elastisitas tarik tekan
f_b	= Tegangan lentur beban layanan
f_c	= Tegangan tekan
F_{cr}	= Tegangan kritis
F_y	= Tegangan leleh
h	= Tinggi badan
I	= Momen inersia tampang
k	= Koefisien tekuk tekan plat
L	= panjang ; bentangan
M	= Momen lentur
M_{cr}	= Kekuatan momen tekuk puntir lateral elastis
M_n	= Kekuatan momen nominal
M_u	= Momen layanan terfaktor
M_y	= Kekuatan momen nominal M_n bila serat terluar mencapai F_y
P	= Beban aksial layanan

P_y	= Beban leleh
r_y	= Radius girasi
S	= Modulus penampang elastis
S_x	= Modulus penampang elastis menurut sumbu x
t_f	= Tebal sayap
t_w	= Tebal badan
V_n	= Kekuatan geser nominal
Y	= Jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral
y	= Defleksi pada suatu lokasi z sepanjang batang
z	= Modulus plastis
ϵ_f	= Regangan sayap
ρ	= Jari-jari kelengkungan
μ	= Rasio Poisson = 0,03 ; daktilitas
σ	= Tegangan
Δ	= Defleksi
Φ	= Kelengkungan
τ	= Tegangan geser
π	= 3,14

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 3.1	Penampang gelagar plat..... 8
Gambar 3.2	Balok statis tertentu dengan beban terdistribusi merata..... 9
Gambar 3.3	Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni.....12
Gambar 3.4	Dua keadaan dari jarak pengaku antara..... 14
Gambar 3.5	Kapasitas geser yang tersedia dengan menyertakan kekuatan purna tekuk..... 16
Gambar 3.6	Tekuk horisontal pada badan (jepit-jepit)..... 17
Gambar 3.7	Tekuk vertikal pada badan (bebas-bebas)..... 17
Gambar 3.8	Perilaku elemen sayap..... 18
Gambar 3.9	Plat yang ditekan merata..... 19
Gambar 3.10	Koefisien tekuk elastis pada plat segi empat datar..... 20
Gambar 3.11	Gaya sayap akibat lengkungan gelagar..... 21
Gambar 3.12	Pengaruh komponen gaya sayap yang tegak lurus plat sayap..... 22
Gambar 3.13	Pengaruh tegangan residu..... 23
Gambar 3.14	Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi tegangan lentur pada plat badan : baja A36..... 25
Gambar 3.15	Aksi medan tarik..... 26
Gambar 3.16	Deformasi segmen balok dalam lenturan..... 28
Gambar 3.17	Momen-kelengkungan..... 30

Gambar 3.18	Grafik momen-kelengkungan.....	32
Gambar 3.19	Lendutan balok.....	33
Gambar 3.20	Diagram momen.....	33
Gambar 3.21	Diagram geser.....	33
Gambar 3.22	Hubungan beban-lendutan pada balok.....	34
Gambar 4.1	Flowchart metode penelitian.....	37
Gambar 4.2	<i>Loading Frame</i>	39
Gambar 4.3	<i>Dial Gauge</i>	40
Gambar 4.4	<i>Hydraulic Jack</i>	41
Gambar 4.5	Dukungan sendi rol.....	41
Gambar 4.6	Model benda uji.....	42
Gambar 4.7	Perletakkan benda uji.....	45
Gambar 5.1	Grafik hubungan beban-lendutan hasil penelitian dan teoritis.....	50
Gambar 5.2	Grafik hubungan momen-kelengkungan hasil penelitian dan teoritis.....	52
Gambar 5.3	Grafik tanpa dimensi beban-daktilitas simpangan.....	61
Gambar 5.4	Grafik tanpa dimensi momen-daktilitas lengkung.....	62
Gambar 5.5	Grafik tanpa dimensi $M_u/M_y-h/t_w$	63
Gambar 5.6	Grafik tanpa dimensi $M_u/M_y-A_w/A_f$	64

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 4.1 Variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w).....	42
Tabel 5.1 Hasil uji tarik baja.....	47
Tabel 5.2 Hasil perhitungan beban-lendutan secara teoritis.....	48
Tabel 5.3 Perhitungan beban-lendutan hasil penelitian dengan $h/t_w = 200$	49
Tabel 5.4 Kekuatan maksimum gelagar plat dengan berbagai variasi.....	49
Tabel 5.5 Analisa kekakuan dari data hubungan beban-lendutan.....	50
Tabel 5.6 Analisa daktilitas lendutan dari data hubungan beban-lendutan.....	51
Tabel 5.7 Analisa kekakuan dari data hubungan momen-kelengkungan.....	53
Tabel 5.8 Analisa daktilitas lengkung dari data hubungan momen-kelengkungan.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1	Perhitungan Benda Uji..... 69
Lampiran 2	Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 1 ($h/t_w = 100$)..... 77
Lampiran 3	Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 2 ($h/t_w = 150$)..... 79
Lampiran 4	Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 3 ($h/t_w = 200$)..... 81
Lampiran 5	Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 4 ($h/t_w = 250$)..... 83
Lampiran 6	Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 5 ($h/t_w = 300$)..... 85
Lampiran 7	Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 2 ($h/t_w = 150$)..... 87
Lampiran 8	Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 3 ($h/t_w = 200$)..... 88
Lampiran 9	Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 4 ($h/t_w = 250$)..... 89
Lampiran 10	Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 5 ($h/t_w = 300$)..... 90
Lampiran 11	Hubungan Tanpa Dimensi Beban-Daktilitas Simpangan..... 91
Lampiran 12	Hubungan Tanpa Dimensi Momen-Daktilitas Lengkung..... 92
Lampiran 13	Hubungan Tanpa Dimensi $M_u/M_y-h/t_w$ 93
Lampiran 14	Hubungan Tanpa Dimensi $M_u/M_y-A_w/A_f$ 94
Lampiran 15	Gambar Pelaksanaan Pengujian..... 95
Lampiran 16	Gambar Gelagar Plat..... 99

INTISARI

Gelagar plat adalah elemen struktur lentur tersusun yang didesain dan difabrikasi untuk memenuhi kebutuhan profil yang tidak dapat dipenuhi oleh penampang giras biasa. Gelagar plat yang paling sederhana penampangnya terdiri dari sayap atas, sayap bawah, dan badan. Kedua sayap berfungsi menahan momen dan gaya tekan sebagai manifestasi dari momen yang terjadi sedangkan badan berfungsi menahan gaya geser dan sebagian momen serta menghubungkan kedua sayap agar bekerja sebagai satu kesatuan. Gelagar plat yang efisien kedua sayapnya diletakkan saling berjauhan sehingga menghasilkan gelagar plat dengan badan yang langsing. Hal ini menyebabkan gelagar plat rawan akan bahaya tekuk. Untuk menghindari tekuk pada badan diperlukan pengaku antara maupun pengaku landasan sehingga dapat dihasilkan kekuatan purna tekuk. Gelagar plat mempunyai nilai momen inersia yang cukup besar sehingga diharapkan memiliki kapasitas momen lentur yang besar namun rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) gelagar yang besar akan menyebabkan penampang tidak kompak sehingga dapat mengalami keruntuhan dini di bawah tegangan leleh dan tekuk lokal pada badannya.

Ketidastabilitas batang-batang yang mengalami lentur dibatasi oleh tekuk setempat pada sayap, tekuk setempat pada badan dan tekuk puntir lateral. Pada gelagar plat elemen sayap maupun badannya relatif langsing sehingga tegangan kritisnya dipengaruhi oleh rasio kelangsingan sayap (b/t_f), rasio kelangsingan badan (h/t_w), dan jarak antar pengaku. Kapasitas momen batas gelagar plat yang tinggi merupakan fungsi dari h/t_w (menentukan ketidak-stabilan badan/tekuk lentur), L/r_y (menentukan ketidak-stabilan lateral pada sayap/tekuk puntir lateral), b/t_f (menentukan tekuk setempat/tekuk puntir pada sayap) dan A_w/A_f (menentukan pengaruh purna tekuk badan pada sayap). Dengan menganggap bahwa tekuk puntir lateral dan tekuk setempat dicegah maka variabel dari fungsi tersebut menjadi h/t_w dan A_w/A_f .

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku gelagar plat dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w), mengetahui hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) dan kekakuan gelagar (k), mengetahui hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) dan faktor kekakuan lentur (EI), mengetahui hubungan tanpa dimensi antara rasio momen lentur hasil pengujian terhadap momen lentur teoritis (M_u/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) serta mengetahui hubungan tanpa dimensi antara rasio momen lentur hasil pengujian terhadap momen lentur teoritis (M_u/M_y) dengan rasio luas badan terhadap luas sayap (A_w/A_f). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa : 1) Semakin besar h/t_w maka semakin besar kekakuan, kekuatan dan momen yang dapat ditahan oleh gelagar plat. 2) Semakin besar h/t_w maka kekakuan (k) gelagar plat semakin besar. 3) Semakin besar h/t_w maka faktor kekakuan lentur (EI) gelagar plat semakin besar. 4) Semakin besar nilai h/t_w maka nilai M_u/M_y semakin kecil. 5) Semakin besar nilai A_w/A_f maka nilai M_u/M_y semakin kecil.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja merupakan bahan bangunan yang sudah lama digunakan untuk elemen suatu struktur bangunan sipil. Seiring dengan perkembangan jaman dan kemajuan ilmu pengetahuan serta penguasaan teknologi, penggunaan baja sebagai bahan struktur telah mengalami perkembangan yang pesat.

Keterbatasan ukuran baja struktur yang tersedia menyebabkan baja struktur hanya digunakan untuk struktur lentur berbentuk pendek. Untuk struktur lentur berbentuk panjang digunakan batang-batang tersusun, salah satu diantaranya adalah gelagar plat sebagai komponen struktur tersusun yang diproporsikan untuk menahan lentur. Gelagar plat merupakan balok tinggi yang mempunyai bentang panjang dengan ukuran penampang yang cukup besar.

Gelagar plat yang paling sederhana penampangnya terdiri dari sayap atas, sayap bawah dan badan. Kedua sayap berfungsi menahan momen dan gaya tekan sebagai manifestasi dari momen yang terjadi sedangkan badan berfungsi menahan gaya geser dan sebagian momen serta menghubungkan kedua sayap agar bekerja sebagai satu kesatuan. Gelagar plat yang efisien kedua sayapnya diletakkan saling berjauhan sehingga menghasilkan gelagar plat dengan badan yang langsing. Hal ini menyebabkan gelagar plat rawan akan bahaya tekuk. Untuk menghindari tekuk

pada badan diperlukan pengaku antara maupun pengaku landasan sehingga dapat dihasilkan kekuatan purna tekuk. Gelagar plat mempunyai nilai momen inersia yang cukup besar sehingga diharapkan memiliki kapasitas momen lentur yang besar, namun rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) gelagar yang besar akan menyebabkan penampang tidak kompak sehingga dapat mengalami keruntuhan dini di bawah tegangan leleh dan tekuk lokal pada badannya.

Melihat kondisi tersebut, timbul pemikiran untuk melakukan penelitian tentang perilaku gelagar plat yang dibebani momen dengan cara memberi beban transversal pada gelagar plat tersebut sehingga dapat diketahui hubungan tanpa dimensi antara rasio momen lentur hasil pengujian terhadap momen lentur teoritis (M_u/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) dan hubungan tanpa dimensi antara rasio momen lentur hasil pengujian terhadap momen lentur teoritis (M_u/M_y) dengan rasio luas badan terhadap luas sayap (A_w/A_f).

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tujuan :

1. Mengetahui perilaku gelagar plat dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w).
2. Mengetahui hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) dan kekakuan gelagar (k).
3. Mengetahui hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) dan faktor kekakuan lentur (EI).

4. Mengetahui hubungan tanpa dimensi antara rasio momen lentur hasil pengujian terhadap momen lentur teoritis (M_u/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w).
5. Mengetahui hubungan tanpa dimensi antara rasio momen lentur hasil pengujian terhadap momen lentur teoritis (M_u/M_y) dengan rasio luas badan terhadap luas sayap (A_w/A_f).

1.3 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui :

1. Momen kritis (M_{cr}) gelagar plat dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w).
2. Memberikan alternatif lain sebagai bahan pertimbangan, jika ditemukan permasalahan-permasalahan yang identik dengan penelitian ini, sehingga kebijaksanaan yang diambil dapat lebih optimal.
3. Memberikan masukan kepada pembaca sebagai pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan bangunan struktur baja.

1.4 Batasan Masalah

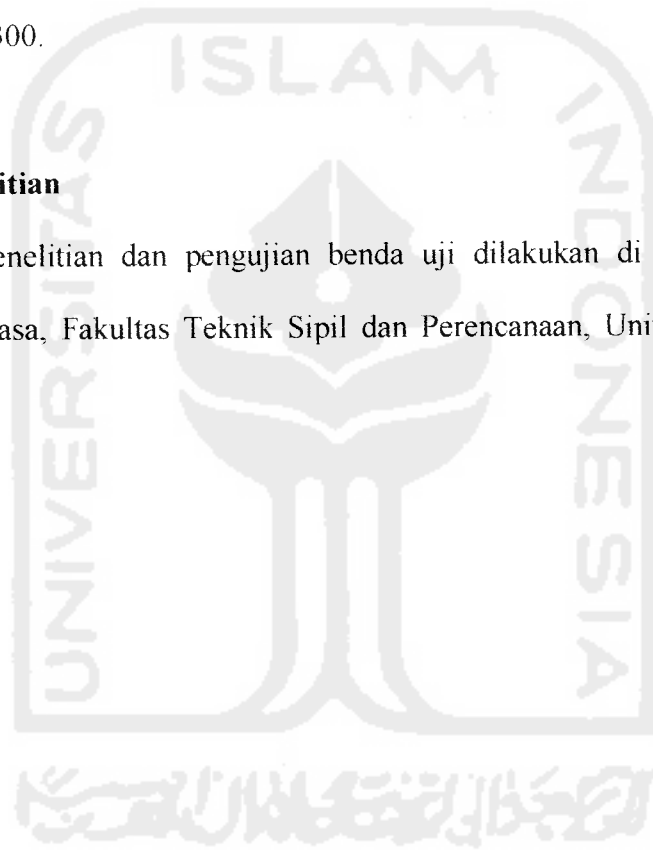
Agar penelitian dapat terarah sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian maka perlu adanya batasan sebagai berikut :

1. Baja yang digunakan penampang I .
2. Pengujian hanya pada kuat lentur gelagar plat dengan pembebanan statis secara bertahap.

3. Alat sambung yang digunakan adalah alat sambung baut.
4. Jumlah baut yang digunakan pada pengaku sebanyak lima buah.
5. Benda uji hanya menggunakan pengaku landasan.
6. Bentang gelagar plat (L) konstan yaitu 4500 mm.
7. Rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) bervariasi yaitu 100, 150, 200, 250, dan 300.

1.5 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Gelagar plat adalah elemen struktur lentur tersusun yang didesain dan difabrikasi untuk memenuhi kebutuhan profil yang tidak dapat dipenuhi oleh penampang gilasa biasa (Leonard Spiegel dan George F. Limbrunner, 1991).

Bagian konstruksi yang mengangkut beban transversal yang menghasilkan momen lentur dan gaya lintang dengan tahanan lentur sebagai parameter desain sering dijumpai pada balok atau gelagar (Joseph E. Bowles, 1980).

Kuat geser dan lentur gelagar plat umumnya berkaitan dengan badan balok. Badan balok yang ramping dapat menyebabkan instabilitas, yaitu :

1. Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan balok tersebut untuk memikul bagian elastis dan momen lentur.
2. Tekuk sayap tekan dalam arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah tekuk sedemikian rupa.
3. Tekuk karena geser (Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1996).

Tegangan kritis pada gelagar plat dipengaruhi oleh nilai konstanta (k), modulus elastisitas bahan (E) dan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) (Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1996).

Jika plat bisa dianggap terjepit sempurna (pengekangan sempurna terhadap rotasi tepi) sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan (yakni di tepi yang

disambung dengan sayap), maka harga k minimum untuk sembarang rasio a/h menjadi 39,6. Jika sayap dianggap tidak mengekang rotasi tepi, maka harga k minimum menjadi 23,9 (Timoshenko dan Woinowski-Kriger, 1959).

Lengkungan gelagar menimbulkan komponen gaya sayap yang mengakibatkan tegangan tekan pada tepi-tepi badan yang berhubungan dengan sayap. Bila badan stabil terhadap tegangan tekan akibat komponen transversal dari gaya sayap tersebut, sayap tidak dapat tertekuk vertikal (Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1996).

Penelitian yang dilakukan oleh Konrad Basler (1961) mengungkapkan bahwa gelagar plat dengan pengaku yang jaraknya dinyatakan dengan tepat memiliki kelakuan (setelah ketidak-stabilan terjadi) hampir mirip seperti rangka batang, dengan badan sebagai pemikul gaya tarik diagonal dan pengaku sebagai pemikul gaya tekan.

Leonard Spiegel dan George F. Limbrunner (1991), Joseph E. Bowles (1980), Charles G. Salmon dan John E. Johnson (1996) mengemukakan bahwa sesudah panel badan tipis yang diperkaku menekuk dalam geser, panel tersebut masih dapat menahan beban, jika ini terjadi badan yang menekuk mengalami tarik diagonal dan pengaku mengalami gaya tekan, perilaku ini disebut aksi medan tarik.

Pengaku antara dengan jarak yang teratur mampu memperbesar kekuatan badan balok untuk memikul geser. Parameter stabilitas yang berpengaruh adalah rasio kelangsingan elemen badan (h/t_w) dan rasio jarak antar pengaku (a/h) (Timoshenko dan Woinowski-Kriger, 1959).

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. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga semakin besar.



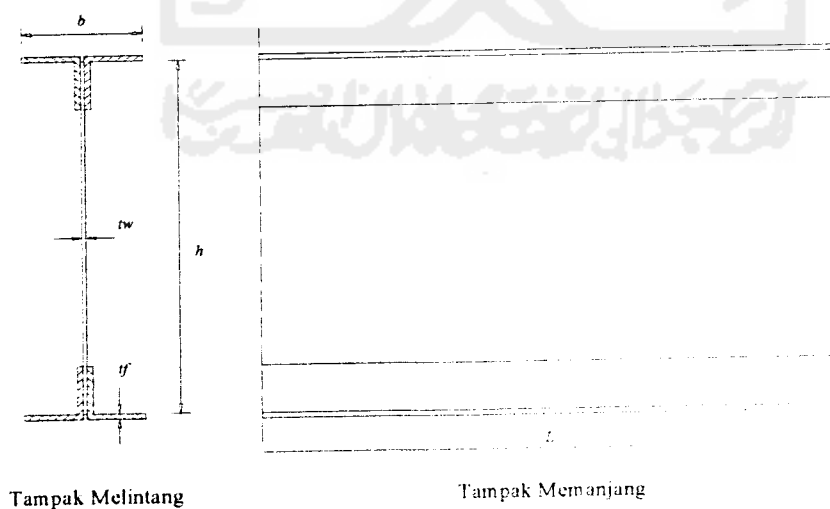
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

3.1.1 Gelagar Plat

Gelagar plat adalah elemen struktur lentur tersusun yang didesain dan difabrikasi untuk memenuhi kebutuhan profil yang tidak dapat dipenuhi oleh penampang giras biasa. Gelagar plat umumnya didesain dengan dua sayap yang dilas pada plat web yang relatif tipis (Gambar 3.1). Kedua sayap berfungsi menahan momen dan gaya tekan sebagai manifestasi dari momen yang terjadi sedangkan badan berfungsi menahan gaya geser dan sebagian momen serta menghubungkan kedua sayap agar bekerja sebagai satu kesatuan.

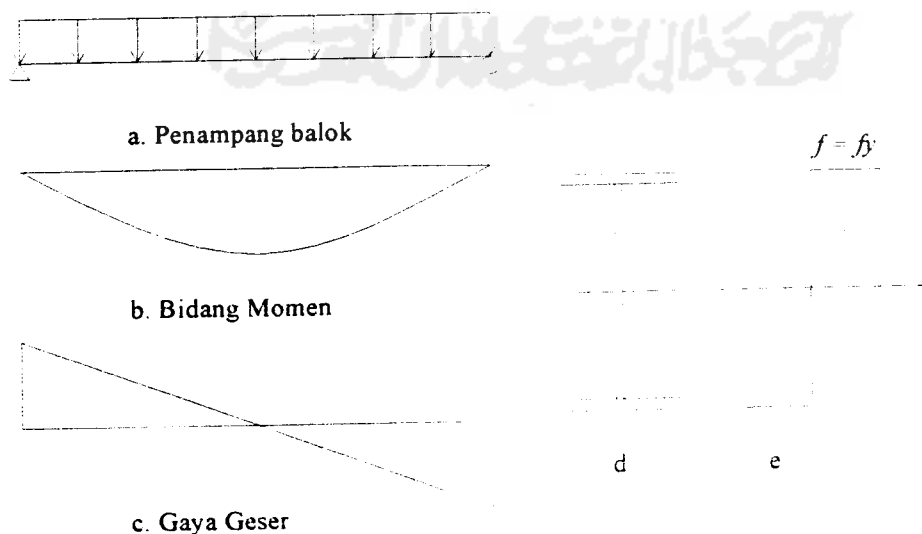


Gambar 3.1 Penampang gelagar plat

Tebal plat web biasanya konstan sedangkan tinggi plat web dapat konstan atau menjadi lebih tinggi di daerah yang momennya besar. Gelagar plat yang tingginya tidak konstan biasanya digunakan hanya pada struktur bentang panjang. Untuk mendapatkan desain yang ekonomis, perbandingan tinggi dan panjang bentang suatu gelagar adalah pada selang $1/8$ sampai $1/12$ (Leonard Spiegel dan George F. Limbrunner, 1991).

3.1.2 Lentur Pada Gelagar Plat

Menurut Joseph E. Bowles (1980) komponen struktur yang mengalami lentur banyak dijumpai sebagai balok maupun gelagar. Salah satu contoh struktur yang mengalami lentur adalah balok sederhana (*simple beam*) yang penampangnya berbentuk I menerima beban terdistribusi (Gambar 3.2a), akibat beban tersebut balok menerima momen lentur (Gambar 3.2b) dan gaya geser (Gambar 3.2c).



Gambar 3.2 Balok statis tertentu dengan beban terdistribusi merata

Akibat momen, penampang balok mengalami tegangan lentur (*bending stress*) (Gambar 3.2e), sedangkan gaya geser menimbulkan tegangan geser. Dalam keadaan penampang masih elastis, distribusi tegangan lentur pada penampang balok linear. Tegangan pada serat yang letaknya y dari sumbu netral adalah :

$$f_b = \pm \frac{M \cdot y}{I} \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan : M = momen pada penampang yang ditinjau, y = jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral, I = momen inersia.

Tegangan maksimum akibat momen terjadi pada serat terluar yaitu serat yang letaknya terjauh dari sumbu netral. Jika penampang balok simetris dan jarak serat terluar ke sumbu netral dinyatakan dengan C , maka tegangan maksimumnya adalah :

$$f_b = \pm \frac{M \cdot C}{I} \dots\dots\dots (3.2)$$

Karena $\frac{I}{C} = S$, Persamaan 3.2 dapat ditulis kembali dalam bentuk :

$$f_b = \pm \frac{M}{S} \dots\dots\dots (3.3)$$

dengan S adalah modulus potongan (*section modulus*). Dengan memperbesar momen inersia penampang balok maka tegangan di serat terluar pada penampang balok (f_b) menjadi kecil.

3.2 Stabilitas Dan Kapasitas Gelagar Plat

Ketidakstabilitas batang-batang yang mengalami lentur dibatasi oleh tekuk setempat pada sayap, tekuk setempat pada badan dan tekuk puntir lateral. Pada

gelagar plat elemen sayap maupun badannya relatif langsing sehingga tegangan kritisnya dipengaruhi oleh rasio kelangsingan sayap (b/t_f), rasio kelangsingan badan (h/t_w), dan jarak antar pengaku. Tegangan kritis gelagar plat dari baja merupakan fungsi dari :

$$F_{cr} = f \left\{ \frac{b}{2t_f}, \frac{h}{t_w}, \frac{a}{h} \right\} \dots \dots \dots (3.4)$$

dengan : F_{cr} = tegangan kritis, f = tegangan yang terjadi, b = lebar sayap, t_f = tebal sayap, h = tinggi badan, t_w = tebal badan, a = jarak antar pengaku.

Dalam penelitian ini, b/t_f telah memenuhi syarat penampang kompak dan a/h mempunyai nilai tak terhingga dikarenakan gelagar plat tanpa menggunakan pengaku antara sedangkan h/t_w bervariasi.

3.3 Tekuk Pada Bidang Badan

3.3.1 Lentur Pada Bidang Badan

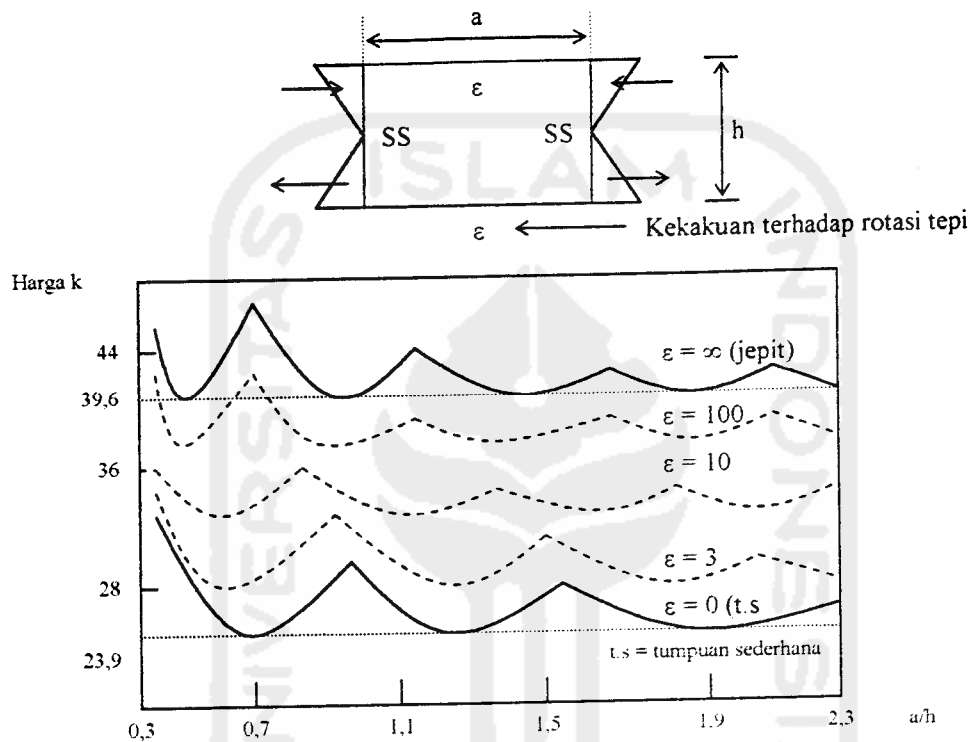
Menurut Charles G. Salmon dan John E. Johnson (1996), tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritis plat yang tertekan dapat dinyatakan sebagai :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \dots \dots \dots (3.5)$$

dengan : F_{cr} = tegangan kritis, k = koefisien tekuk, $\pi = 3,14$, E = modulus elastis, μ = rasio Poisson = 0,30, b = lebar sayap, t = tebal sayap, yang dalam hal ini $b = h$.

Penurunan harga k secara teoritis untuk lentur pada bidang plat dijabarkan oleh Timoshenko dan Woinowski-Kriger (1959). Untuk sembarang jenis

pembebanan nilai, k bergantung pada rasio bentuk a/h dan kondisi tumpuan sepanjang tepi. Variasi nilai k terhadap rasio a/h ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Koefisien tekuk untuk plat yang mengalami lentur murni

Untuk tumpuan sederhana, $k_{min} = 23,9$ dan untuk jepit penuh, $k_{min} = 39,6$.

Substitusi ke Persamaan 3.5 maka tegangan kritis (dengan $E = 200.000$ MPa) bisa dikatakan terletak antara :

$$F_{cr} = \frac{4323000}{(h/t_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 23,9 \text{ (tumpuan sederhana di sayap)}$$

$$F_{cr} = \frac{7160000}{(h/t_w)^2} MPa \text{ untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna di sayap)}$$

Dalam penelitian ini digunakan nilai $k = 23,9$ yaitu dianggap tumpuan sederhana dan $h/t_w = 100, 150, 200, 250, 300$, sehingga didapat $F_{cr} = 432 \text{ MPa}, 192 \text{ MPa}, 108 \text{ MPa}, 69,152 \text{ MPa}, 48 \text{ MPa}$.

3.3.2 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

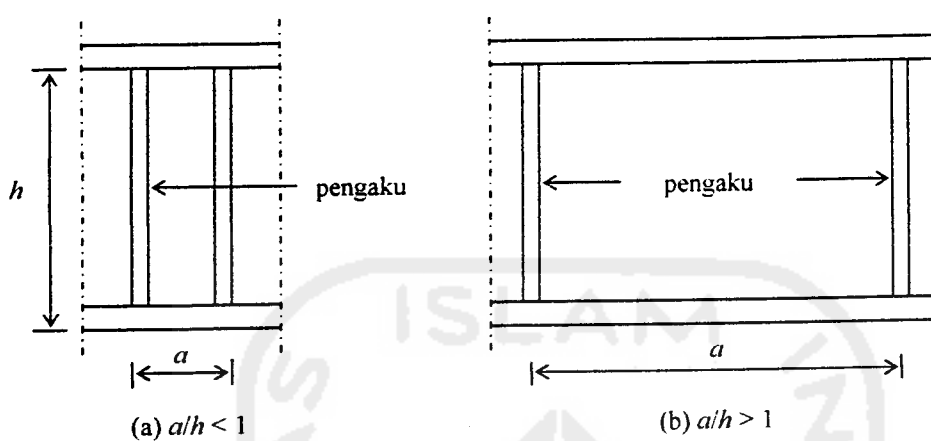
Selain menahan lentur, elemen badan juga menahan sebagian besar gaya geser. Karena gelagar plat memiliki tebal plat badan yang tipis maka stabilitas gelagar plat merupakan hal utama yang harus diperhatikan. Persamaan tegangan tekuk elastis seperti yang diberikan pada Persamaan 3.5, dimana untuk kasus geser murni, Persamaan 3.5 dapat ditulis dengan menggunakan τ sebagai ganti F untuk tegangan geser.

Menurut Timoshenko dan Woinowski-Krieger (1959) bahwa tipikal untuk kasus geser murni :

$$\tau_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(\text{sisi.pendek}/t)^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

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

$$k = 5,34 + 4,0 \left(\frac{\text{sisi.pendek}}{\text{sisi.panjang}} \right)^2 \dots\dots\dots (3.7)$$



Gambar 3.4 Dua keadaan dari jarak pengaku antara

Untuk perencanaan, Persamaan 3.6 dan 3.7 biasanya dinyatakan dalam h (tinggi badan tanpa sokongan) dan a (jarak antara pengaku). Bila hal ini dilakukan maka ada dua kasus yang harus ditinjau :

1. Jika $a/h \leq 1$ (lihat Gambar 3.4a), maka Persamaan 3.6 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(a/h)^2] (h/a)^2}{12(1 - \mu^2)(a/t)^2 (h/a)^2} \dots \dots \dots (3.8)$$

2. Jika $a/h \geq 1$ (lihat Gambar 3.4b), maka Persamaan 3.6 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(h/a)^2]}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \dots \dots \dots (3.9)$$

Jelaslah dari Persamaan 3.8 dan 3.9 bahwa jika kita hendak memakai rasio kelangsingan badan h/t_w sebagai rasio stabilitas pada penyebut, maka dua persamaan untuk k diperlukan. Untuk semua harga a/h , persamaan tegangan kritisnya dapat dituliskan sebagai :

$$\tau_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h/t_w)^2} \dots \dots \dots (3.10)$$

dengan :

$$k = 4,0 + 5,34/(a/h)^2, \text{ untuk } a/h \leq 1 \dots\dots\dots (3.11)$$

$$k = 4,0/(a/h)^2 + 5,34, \text{ untuk } a/h \geq 1 \dots\dots\dots (3.12)$$

Dari Persamaan 3.11 dan 3.12, tampak bahwa semakin kecil nilai a/h akan memperbesar nilai k sehingga meningkatkan tegangan geser kritis (τ_{cr}).

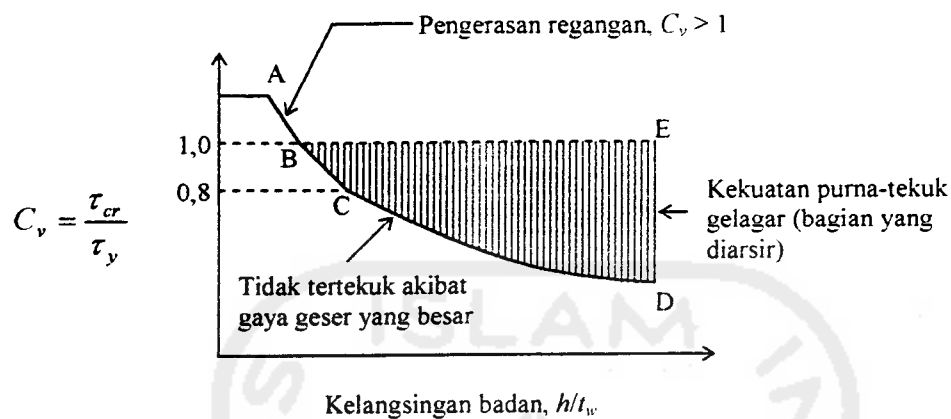
Dalam AISC-1.10.5, Persamaan 3.10 ditulis dalam bentuk tanpa dimensi, dengan mendefinisikan koefisien C_v sebagai rasio antara tegangan geser pada saat tertekuk dan tegangan leleh geser,

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{k\pi^2 E}{\tau_y(12)(1-\mu^2)(h/t_w)^2} \dots\dots\dots (3.13)$$

C_v merupakan stabilitas elastis. Substitusi dari $E = 200000$ MPa, $\mu = 0,30$, $\tau_y = 0,6.F_y$ maka Persamaan 3.13 menjadi :

$$C_v = \frac{310000k}{(h/t)^2 F_y} \dots\dots\dots (3.14)$$

Tampak pada Gambar 3.5 bahwa nilai C_v semakin kecil pada nilai h/t_w yang semakin besar. Tekuk plat akibat geser murni, baik elastis maupun inelastis menimbulkan tegangan kritis seperti yang ditunjukkan oleh garis $ABCD$ pada Gambar 3.5. Plat yang diperkuat oleh sayap dan pengaku memiliki kekuatan purna tekuk yang cukup besar. Agar pemakaian bahan plat badan pada gelagar plat efisien, badan harus tipis sehingga tekuk terjadi pada tegangan geser yang ada. Dengan adanya pengaku kekuatan geser dapat dinaikkan dari kekuatan berdasarkan tekuk ($ABCD$ pada Gambar 3.5) mendekati kondisi yang selaras dengan leleh geser pada balok klasik (ABE Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Kapasitas geser yang tersedia dengan menyertakan kekuatan purna tekuk

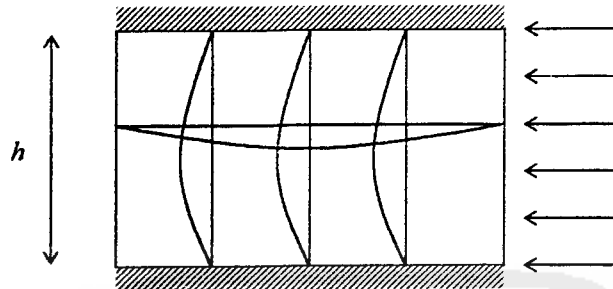
3.3.3 Tekuk Lokal Pada Badan

Stabilitas badan gelagar dengan kondisi tumpuan tepi jepit-jepit sebelum mengalami tekuk seperti pada Gambar 3.6 dinyatakan dalam Persamaan 3.15 sebagai berikut :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h/t_w)^2} \dots \dots \dots (3.15)$$

dengan nilai k untuk kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 diambil nilai $k =$

4. Dari Persamaan 3.15 untuk $F_y = F_{cr} = 240$ Mpa diperoleh $h/t_w = 54,888$.

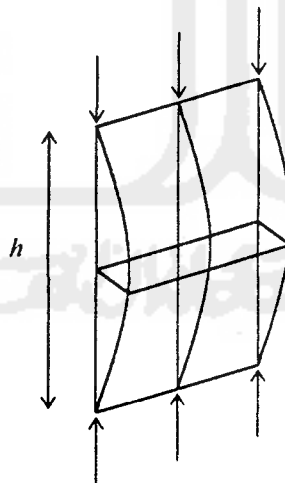


Gambar 3.6 Tekuk horisontal pada badan (jepit-jepit)

Stabilitas pada badan dengan kondisi tumpuan tepi bebas-bebas sesuai dengan Gambar 3.7, sebelum mengalami tekuk dinyatakan Persamaan 3.16.

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h/t_w)^2} \dots\dots\dots (3.16)$$

Dari Persamaan 3.16 untuk $F_y = F_{cr} = 240 \text{ Mpa}$ diperoleh $h/t_w = 27,444$.



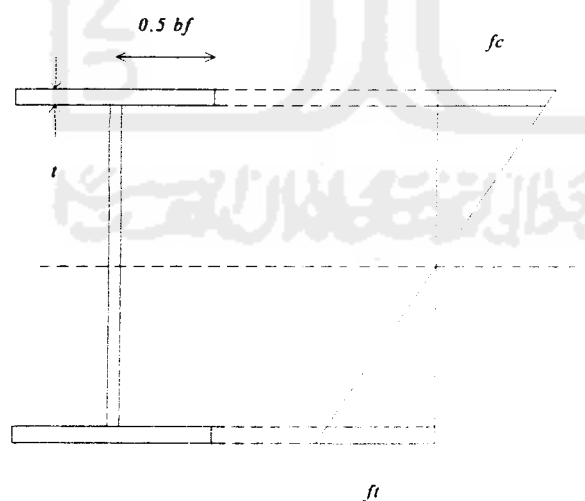
Gambar 3.7 Tekuk vertikal pada badan (bebas-bebas)

Dari persamaan-persamaan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar h/t_w maka tegangan kritis (F_{cr}) semakin rendah. Untuk meningkatkan nilai tegangan yang terjadi dengan mengubah jenis tumpuan pada

tepi-tepi plat, misalnya dari kondisi jepit-bebas dengan nilai k mendekati 0,425 dirubah menjadi kondisi jepit-jepit dengan nilai k mendekati 4 sehingga tegangan yang terjadi dapat dinaikkan hampir 10 kali lipat.

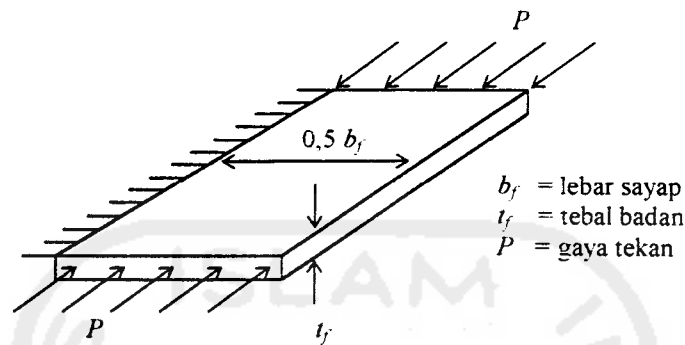
3.4 Kekuatan Pada Elemen Sayap

Elemen sayap yang terbuat dari plat pada komponen gelagar plat dengan penampang I terdiri dari dua elemen sayap yaitu sayap atas yang menahan tekan dan sayap bawah yang menahan tarik (Gambar 3.8). Pada elemen sayap terlihat bahwa tumpuannya terletak ditengah sayap, sehingga dalam perhitungannya nanti, lebar dari sayap (b) dihitung setengahnya. Untuk mencegah tekuk lokal sayap tekan perbandingan lebar setengah sayap terhadap tebal sayap ($b_f/2t_f$) tidak boleh melampaui $250/\sqrt{F_y}$ (Mpa) apabila flens akan dianggap efektif penuh.



Gambar 3.8 Perilaku elemen sayap

3.4.1 Tekuk Elastis Pada Plat Sayap

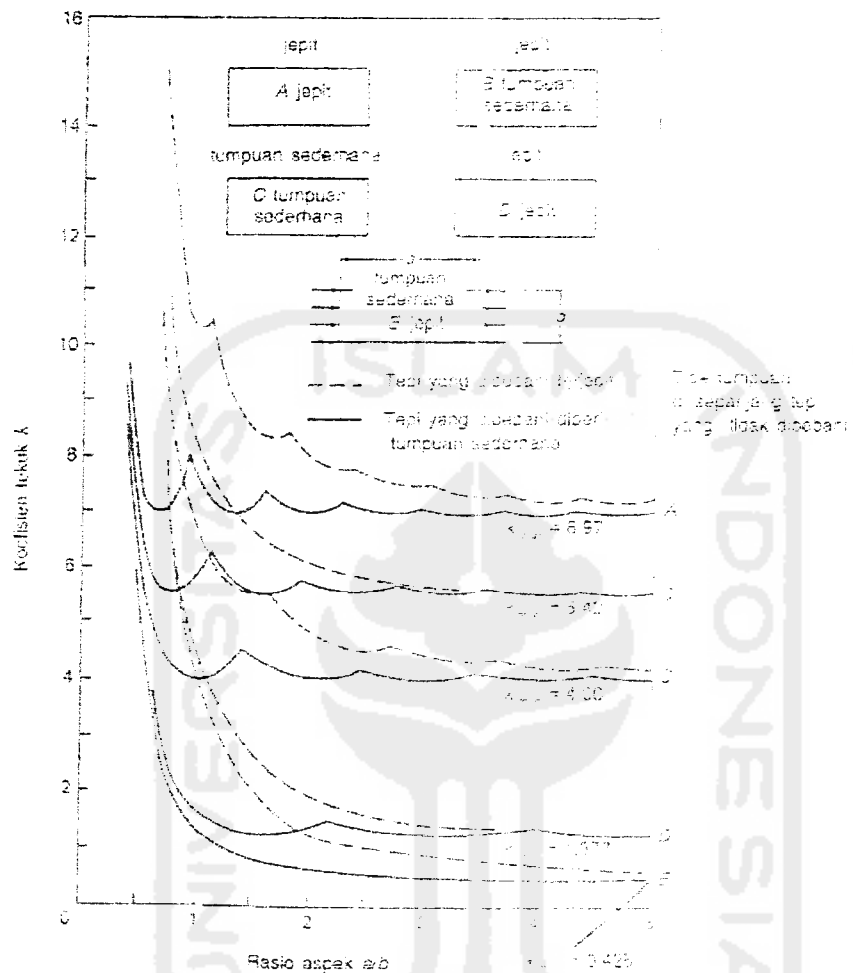


Gambar 3.9 Plat yang ditekan merata

Pada dasarnya, plat yang mengalami tekanan, seperti pada elemen sayap tekan, perilakunya sama dengan kolom. Tekuk plat yang mengalami tekanan merata ditunjukkan pada Gambar 3.9. Tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritis plat yang tertekan dinyatakan pada Persamaan 3.5.

Nilai k tergantung pada tipe tegangan, kondisi tumpuan tepi, dan rasio panjang terhadap lebar (rasio aspek) dari plat yang bersangkutan. Gambar 3.10 menunjukkan variasi k terhadap rasio aspek a/b untuk berbagai kondisi tumpuan tepi ideal (Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1996).

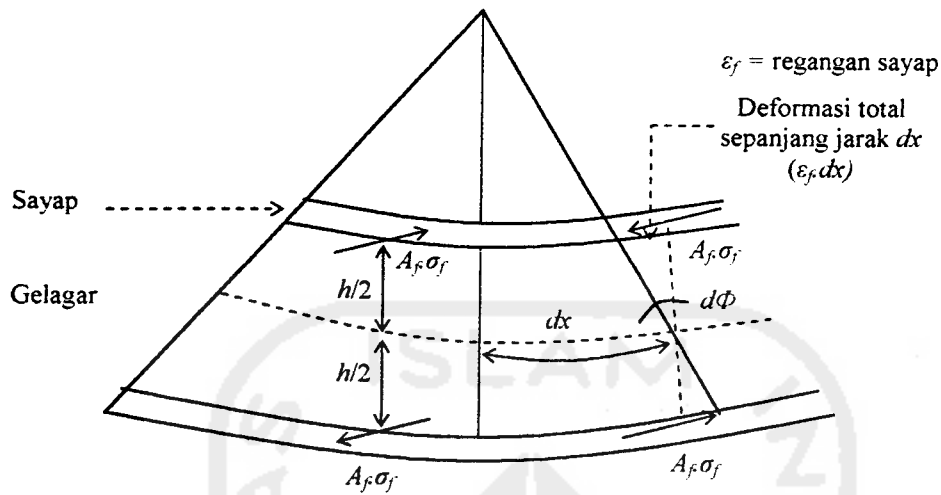
Tampak bahwa untuk plat dengan kondisi tumpuan jepit-jepit (A) nilai $k_{min} = 6,97$. Untuk plat dengan tumpuan sederhana-jepit (B) nilai $k_{min} = 5,42$. Sedangkan plat dengan tumpuan sederhana-sederhana, nilai $k_{min} = 4$. Dan untuk plat dengan tumpuan jepit-bebas, nilai $k_{min} = 1,277$, serta untuk plat dengan tumpuan sederhana-bebas $k_{min} = 0,425$. Dalam penelitian ini dipakai plat dengan tumpuan jepit-bebas dengan nilai $k_{min} = 1,277$.



Gambar 3.10 Koefisien tekuk elastis untuk tekuk pada plat segi empat datar (Diambil dari George Gerard dan Herbert Becker, 1957)

3.4.2 Tekuk Vertikal Pada Plat Sayap

Batas maksimum pada kerampingan plat badan h/t_w akan didasarkan pada kekakuan yang dibutuhkan oleh plat badan untuk mencegah sayap tekan mengalami tekuk secara vertikal. Dalam hal ini diasumsikan plat sayap merupakan batang tekan yang independent dari badan gelagar lainnya.



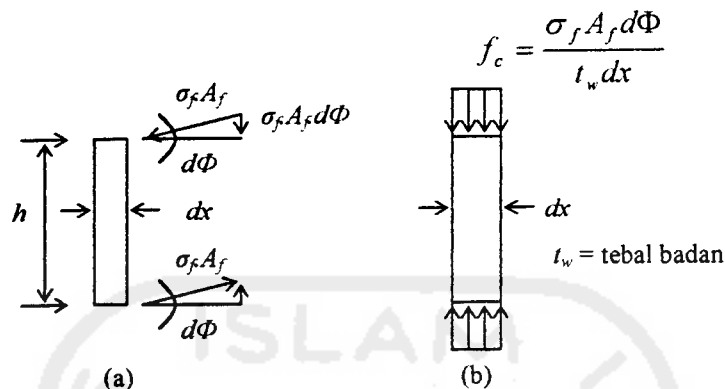
Gambar 3.11 Gaya sayap akibat lengkungan gelagar

Gelagar yang melengkung, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 menimbulkan komponen gaya sayap yang mengakibatkan tegangan tekan pada tepi-tepi badan yang berhubungan dengan sayap. Bila badan tetap stabil terhadap tegangan tekan akibat komponen transversal dari gaya sayap tersebut, sayap tidak dapat tertekuk vertikal. Dalam penjabaran berikut, sayap dianggap tidak memiliki kekakuan untuk menahan tekuk vertikal (Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1996).

Berdasarkan Gambar 3.11 deformasi total $\epsilon_f dx$ sepanjang jarak dx adalah :

$$\epsilon_f dx = d\Phi \frac{h}{2} \dots\dots\dots (3.17)$$

$$d\Phi = \frac{2 \epsilon_f}{h} dx \dots\dots\dots (3.18)$$



Gambar 3.12 Pengaruh komponen gaya sayap yang tegak lurus plat sayap

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12a komponen vertikal yang menimbulkan tegangan tekan adalah $\sigma_f A_f d\Phi$. Setelah dibagi dengan $t_w dx$ untuk memperoleh tegangan tekan f_c yang diperlihatkan Gambar 3.12b, Persamaan 3.18 untuk $d\Phi$ dimasukkan sehingga :

$$f_c = \frac{\sigma_f A_f d\Phi}{t_w dx} = \frac{2\sigma_f A_f \epsilon_f}{t_w h} \dots \dots \dots (3.19)$$

Tegangan tekuk elastis untuk suatu plat menurut **Charles G. Salmon dan John E. Johnson (1996)** dinyatakan pada Persamaan 3.5, dengan $b = h$, $t = t_w$, dan $k = 1$ untuk kasus plat Euler yang diasumsikan bebas di sepanjang pinggi-pinggir yang sejajar dengan pembebanan dan dijepit pada atas dan bawahnya. Dengan demikian Persamaan 3.5 menjadi:

$$F_{\sigma} = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h/t_w)^2} \dots \dots \dots (3.20)$$

Bila tegangan yang dikenakan, Persamaan 3.19, disamakan dengan tegangan kritis, Persamaan 3.20, akan diperoleh :

$$\frac{2\sigma_f A_f \epsilon_f}{t_w h} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t_w)^2} \dots\dots\dots (3.21)$$

dengan memisalkan $t_w h = A_w$ akan memberikan :

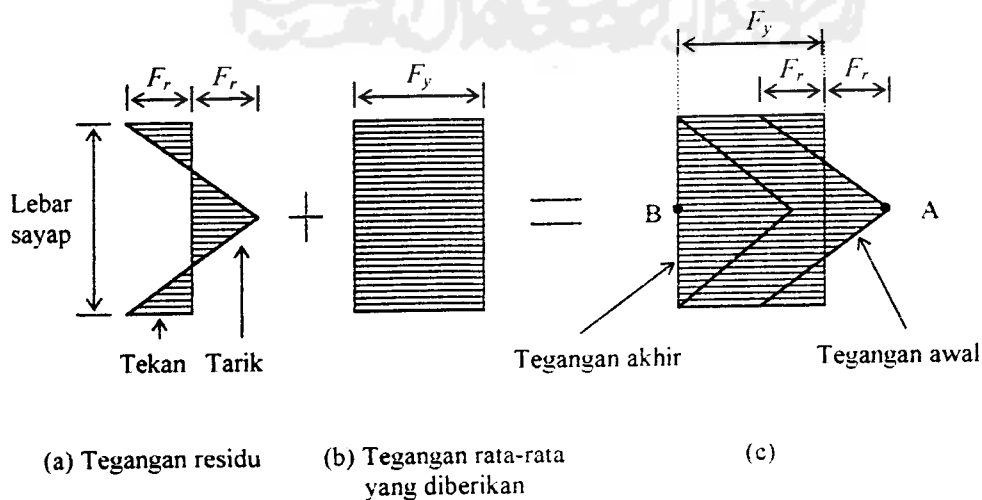
$$\frac{h}{t_w} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{24(1-\mu^2)} \left(\frac{A_w}{A_f}\right) \left(\frac{1}{\sigma_f \epsilon_f}\right)} \dots\dots\dots (3.22)$$

Untuk mencegah terjadinya tekuk maka nilai $f_c < F_{cr}$.

σ_f secara konservatif dianggap harus mencapai tegangan leleh F_y agar kapasitas batas sayap tercapai. Jika tegangan residu F_r bekerja pada sayap dengan distribusi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.13, maka regangan sayap total akan sama dengan jumlah tegangan residu ditambah tegangan leleh dengan demikian :

$$\epsilon = (F_r + F_y) / E \dots\dots\dots (3.23)$$

Regangan ini adalah regangan sayap di dekat badan yang diperlukan. Pada Gambar 3.13c regangan berubah dari F_r yang bersifat tarik (titik A) ke F_y yang bersifat tekan (titik B).



Gambar 3.13 Pengaruh tegangan residu

Substitusi $\sigma_y = F_y$, $\epsilon_f =$ Persamaan 3.23, $E = 200.000$ MPa, dan $\mu = 0,3$ sehingga

Persamaan 3.22 menghasilkan :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{135.000 \sqrt{A_w / A_f}}{\sqrt{F_y (F_y + F_r)}} \dots\dots\dots (3.24)$$

yang merupakan harga h/t_w maksimum yang konservatif untuk mencegah tekuk vertikal. A_w/A_f jarang sekali kurang dari 0,5 dan $F_r = 114$ MPa merupakan nilai yang realistis. Jika nilai-nilai tersebut dimasukkan, maka :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{96500}{\sqrt{F_y (F_y + 114)}} \dots\dots\dots (3.25)$$

bila a/h tidak melebihi 1,5 maka Persamaan 3.25 menjadi :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{5250}{\sqrt{F_y}} \dots\dots\dots (3.26)$$

3.5 Kekuatan Lentur Batas Pada Gelagar

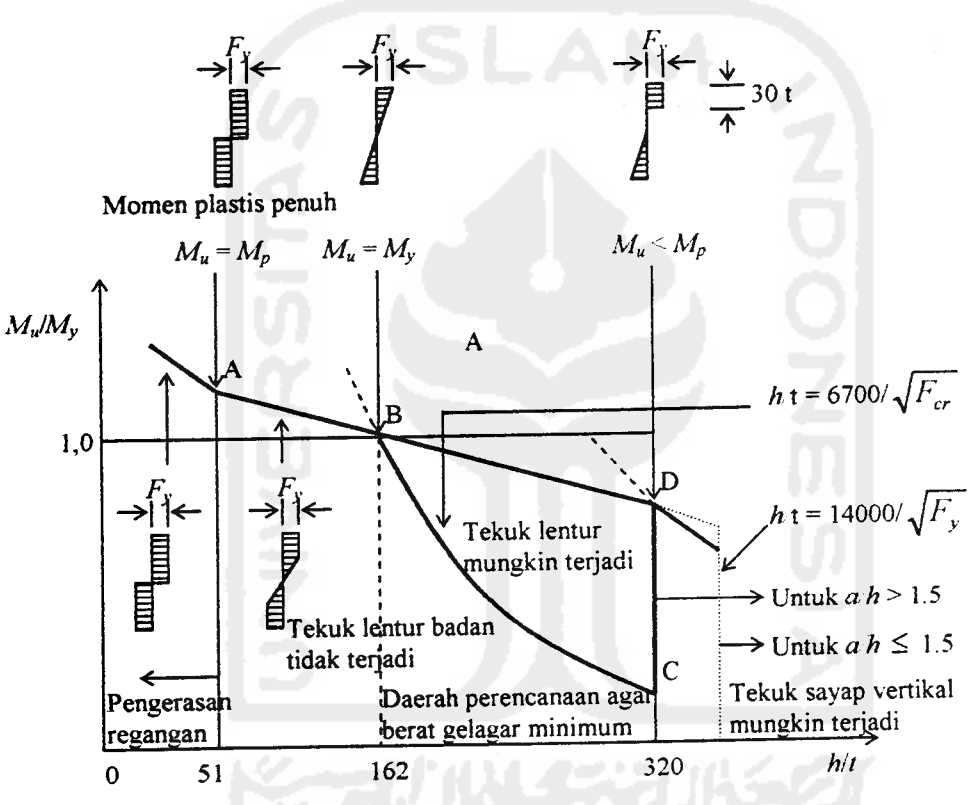
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh **Charles G. Salmon dan John E. Johnson (1996)** dengan bahan penelitiannya adalah baja profil *I* dengan mutu baja A36, badan akan tertekuk akibat adanya tegangan lentur.

Seperti telah dijabarkan sebelumnya, tekuk seperti ini tidak menyebabkan gelagar kehilangan daya gunanya. Kapasitas momen batas gelagar yang tinggi merupakan fungsi dari :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t_w}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \dots\dots\dots (3.27)$$

dengan :

- h/t_w = menentukan ketidak-stabilan badan (tekuk lentur)
- L/r_y = menentukan ketidak-stabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral)
- b/t_f = menentukan tekuk setempat (tekuk puntir) pada sayap
- A_w/A_f = menentukan pengaruh puna tekuk badan pada sayap



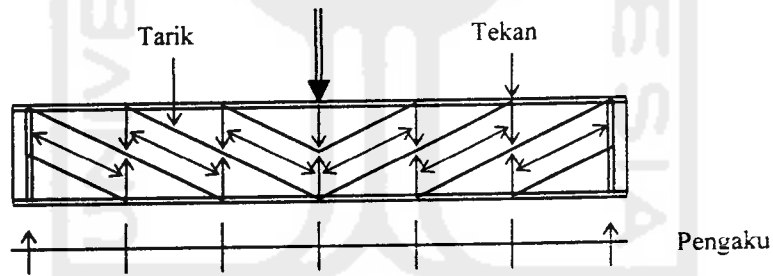
Gambar 3.14 Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan : baja A36

Gambar 3.14 memperlihatkan hubungan antara kekuatan momen nominal M_n dan h/t_w . Gambar ini mengasumsikan bahwa keadaan batas tekuk puntir lateral dan tekuk lokal sayap tidak menentukan. Dengan menganggap bahwa tekuk puntir lateral dan tekuk setempat dicegah seperti anggapan yang digunakan pada Gambar 3.14, variabel dari fungsi diatas menjadi :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t_w}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \dots\dots\dots (3.28)$$

3.6 Kekuatan Geser dari Aksi Medan Tarik

Jika h/t_w cukup kecil, maka tekukan badan tidak akan terjadi di bawah gaya geser sebelum terjadi luluh gaya geser. Sebenarnya badan balok sebagai bagian dari konstruksi lentur dipengaruhi oleh sebuah momen lentur pengangkut gaya geser yang berada di dalam sebuah ragam “medan tarik” di mana pengaku adalah bagian konstruksi desak dan segmen badan di antara pengaku adalah elemen tarik.



Gambar 3.15 Aksi medan tarik

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

$$V_n = V_{cr} + V_{tf} \dots\dots\dots (3.29)$$

Kekuatan tekuk nominal dengan $V_n = V_{cr}$, maka :

$$V_{cr} = C_v \tau_v A_w \dots\dots\dots (3.30)$$

dengan $C_v = \tau_{cr} / \tau_v$.

Kekuatan geser V_{gf} yang berasal dari aksi medan tarik dalam badan gelagar menimbulkan suatu pita gaya-gaya tarik yang terjadi setelah badan itu mengalami tekuk akibat tekuk diagonal.

Menurut **Charles G. Salmon dan John E. Johnson (1996)** pada aksi medan tarik arah optimum, kontribusi ΔV_{gf} maksimum dari aksi medan tarik sebesar :

$$\Delta V_{gf} = \sigma_1 \frac{h_{rw}}{2} \left[\sqrt{1 + (a/h)^2} - a/h \right] \dots \dots \dots (3.31)$$

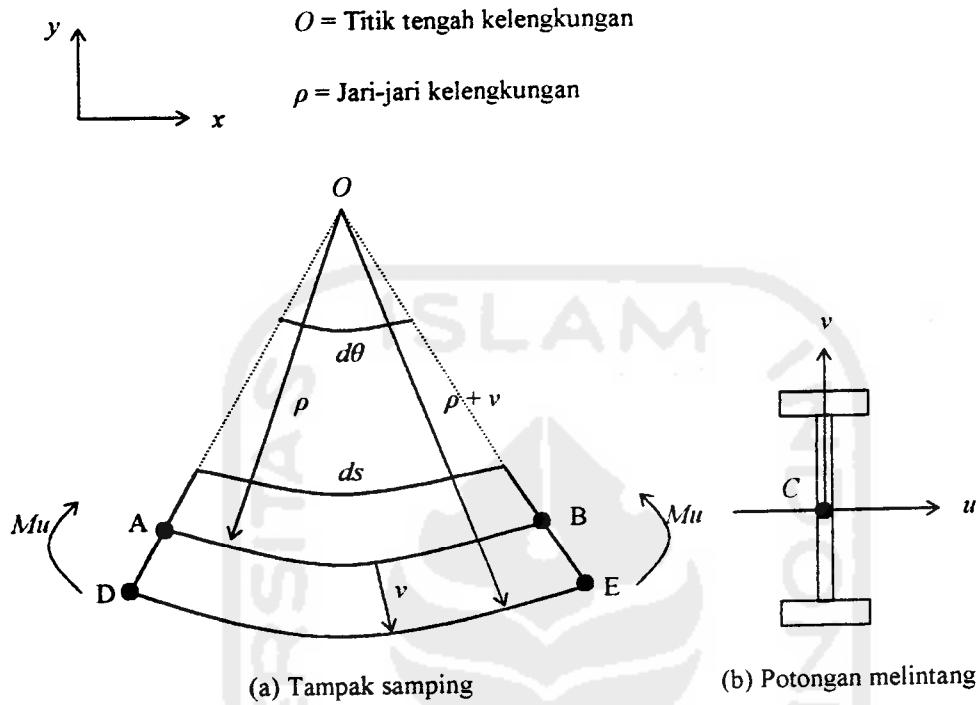
Sedangkan penyelesaian untuk V_{gf} pada kekuatan geser dari aksi medan tarik diberikan :

$$V_{gf} = \sigma_1 \frac{h_{rw}}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \dots \dots \dots (3.32)$$

3.7 Hubungan Momen-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 3.16 adalah sebuah balok sederhana dengan penampang I yang menerima beban terpusat P .

Teori defleksi balok dipengaruhi oleh geometri atau kinematika dari sebuah elemen balok. Kinematika dasar yang menghipotesa bahwa irisan-irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap merupakan bidang datar selama berdeformasi.



Gambar 3.16 Deformasi segmen balok dalam lenturan

Elemen differensial balok untuk lentur murni ditunjukkan pada Gambar 3.16. Sumbu u dan v pada potongan melintang, adalah sumbu utama yang ditunjukkan pada Gambar 3.16b. AB adalah garis netral, pada garis netral ini garis tidak memendek ataupun memanjang. Regangan pada garis netral didapatkan dari persamaan :

$$\epsilon_x = \frac{\text{panjang akhir} - \text{panjang awal}}{\text{panjang awal}} \dots\dots\dots (3.33)$$

dengan substitusi didapat :

$$\epsilon_x = \frac{(\rho + v)d\theta - \rho.d\theta}{\rho.d\theta} = \frac{v}{\rho} \dots\dots\dots (3.34)$$

Hubungan dasar antara kurva elastis dengan regangan linier, didapat :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\varepsilon_x}{v} \dots\dots\dots (3.35)$$

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

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x \dots\dots\dots (3.36)$$

sehingga :

$$\varepsilon_x = \frac{Muv}{Elu} \dots\dots\dots (3.37)$$

Substitusi Persamaan 3.35 ke Persamaan 3.37 akan diperoleh :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{Mu}{Elu} \dots\dots\dots (3.38)$$

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\pm d^2v/dx^2}{[1 + (dv/dx)^2]^{3/2}} \dots\dots\dots (3.39)$$

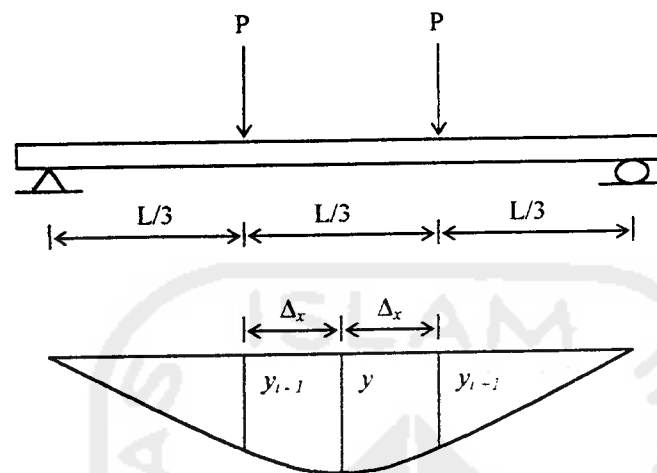
karena kemiringan dv/dx dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka :

$$(dv/dx)^2 \approx 0 \dots\dots\dots (3.40)$$

Persamaan 3.39 disubstitusi dengan Persamaan 3.40 menjadi :

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{El_u} \dots\dots\dots (3.41)$$

$$El_u = \frac{M}{(d^2v/dx^2)} \dots\dots\dots (3.42)$$



Gambar 3.17 Momen-kelengkungan

Dari pengujian kuat lentur diperoleh defleksi pada titik-titik distrik. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Difference*. Mengacu pada Gambar 3.17 d_y/d_x didekati dengan Persamaan 3.43.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta_x} \dots\dots\dots (3.43)$$

turunan kedua dari Persamaan 3.43 adalah :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots (3.44)$$

karena $(2\Delta_x)$ adalah konstanta maka :

$$\frac{d}{dx}(2\Delta_x) = 0 \dots\dots\dots (3.45)$$

sehingga Persamaan 3.44 menjadi :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots (3.46)$$

selanjutnya dari Persamaan 3.46 didapatkan :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i - y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots (3.47)$$

kemudian persamaan 3.47 disederhanakan menjadi :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i - y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \dots\dots\dots (3.48)$$

dengan :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots (3.49)$$

$$M = EI \cdot \Phi \dots\dots\dots (3.50)$$

Mengacu kepada Gambar 3.17 didapat momen (M) :

$$M = \frac{1}{3} PL \dots\dots\dots (3.51)$$

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 3.2. 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 :

$$M_y = F_y \cdot S_x \dots\dots\dots (3.52)$$

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 :

$$M_p = f_b \int y.dA \dots\dots\dots (3.53)$$

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

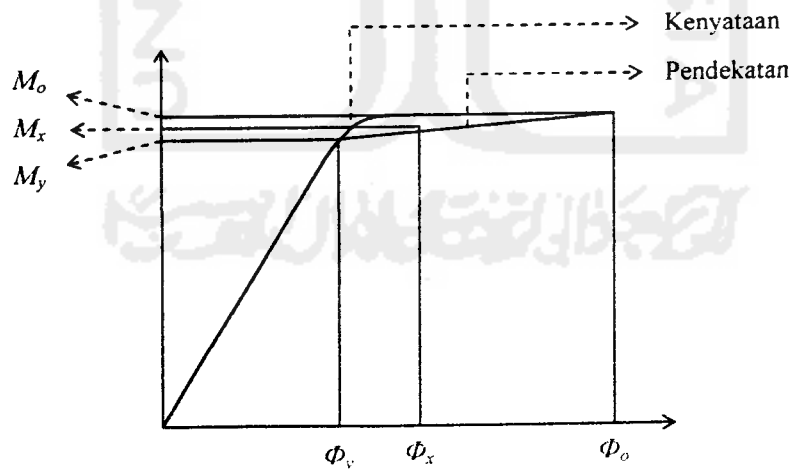
$$M_p = f_b.z \dots\dots\dots (3.54)$$

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 .

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{z}{S} \dots\dots\dots (3.55)$$

Hubungan Momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) ditunjukkan pada Gambar 3.18.

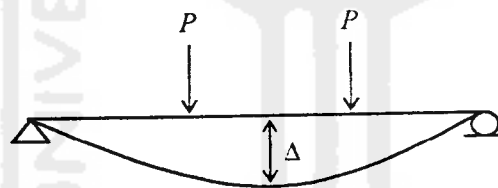


Gambar 3.18 Grafik momen-kelengkungan

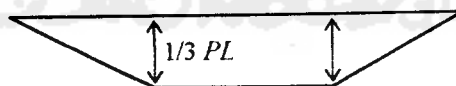
3.8 Hubungan Beban-Lendutan

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

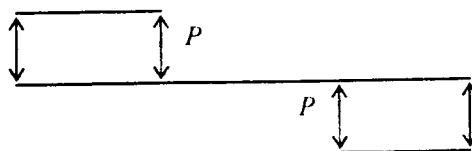
Lynn S. Beedle (1958) menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga semakin besar.



Gambar 3.19 Lendutan balok



Gambar 3.20 Diagram Momen



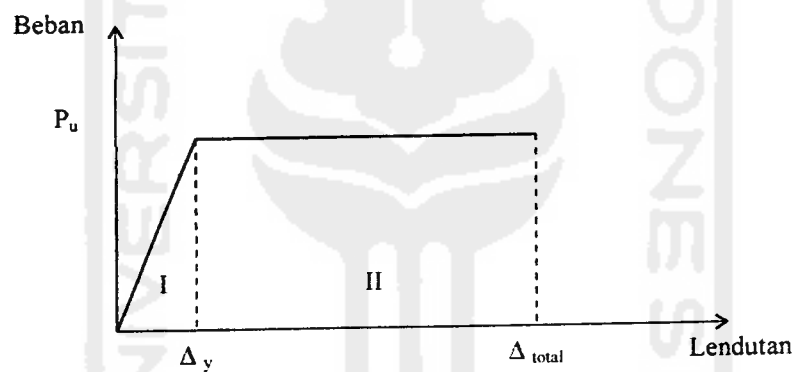
Gambar 3.21 Diagram geser

Hubungan beban-lendutan ditunjukkan :

$$\Delta = \frac{23P.L^3}{648EI} \dots\dots\dots (3.56)$$

dengan : Δ = defleksi balok, P = beban balok, E = modulus elastis bahan, L = panjang bentang balok, I = momen inersia penampang.

Hubungan beban-lendutan pada balok yang dibebani lentur dapat disederhanakan menjadi bentuk bi-linier seperti pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Hubungan beban-lendutan pada balok

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

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

3.9 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 :

$$\text{Daktilitas} = \frac{\epsilon_{tot}}{\epsilon_y} \dots\dots\dots (3.57)$$

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 :

$$\mu_{simpangan} = \frac{\Delta_{tot}}{\Delta_y} \dots\dots\dots (3.58)$$

dengan : $\mu_{simpangan}$ = daktilitas simpangan, Δ_{tot} = lendutan total, Δ_y = lendutan pada beban maksimum.

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

$$\mu_{lengkung} = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi_y} \dots\dots\dots (3.59)$$

dengan : $\mu_{lengkung}$ = daktilitas lengkung, Φ_{tot} = kelengkungan total, Φ_y = kelengkungan pada momen maksimum.

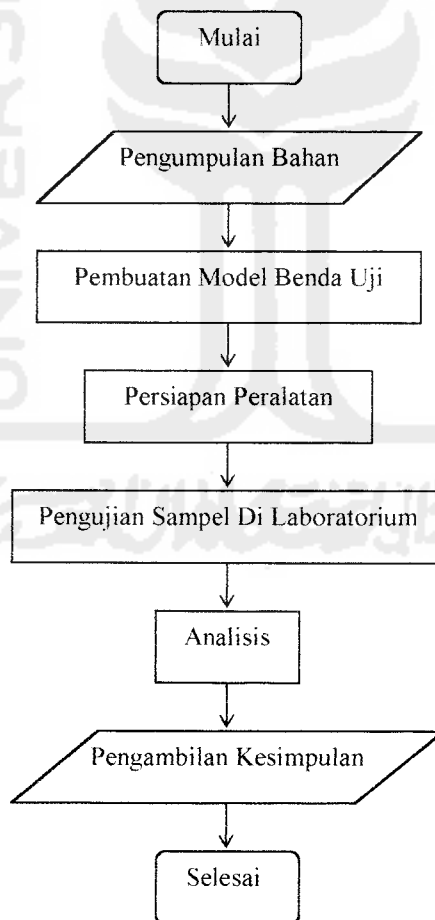


BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah suatu cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan penelitian yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir. Jalannya penelitian dapat dilihat pada flowchart (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Flowchart metode penelitian

4.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Plateser

Plat badan dan plat sambung dalam penelitian ini menggunakan plateser dengan ukuran (2400×1200×2) mm.

2. Plat Siku

Plat sayap dalam penelitian ini menggunakan plat siku dengan ukuran (30×30×3×6000) mm.

3. Baut

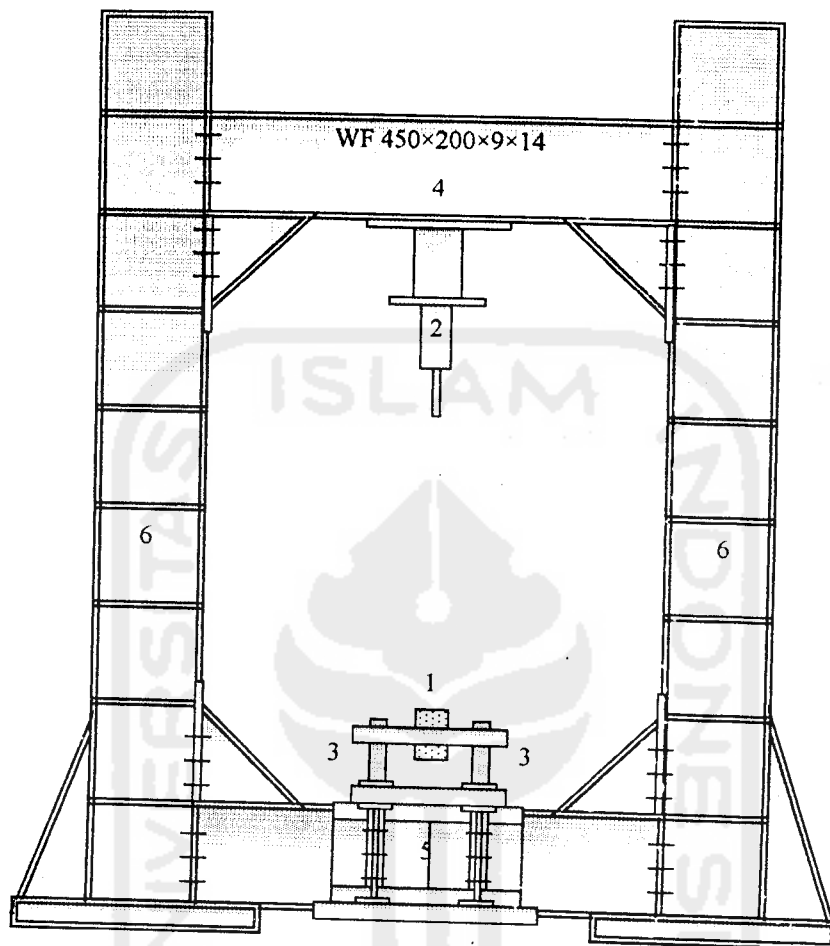
Alat sambung yang digunakan dalam penelitian ini adalah baut dengan diameter 5 mm dan panjang 20 mm.

4.3 Alat Yang Digunakan

Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa peralatan yang akan digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian. Adapun alat-alat yang dipergunakan adalah :

1. *Loading Frame*

Untuk keperluan penelitian ini telah dibuat *Loading Frame* dari bahan baja profil WF 450×200×9×14 mm (Gambar 4.2).



Keterangan :

1. Model Balok
2. Hydraulic Jack
3. Dukungan
4. Balok Portal (bisa digeser)
5. Balok Lintang
6. Kolom

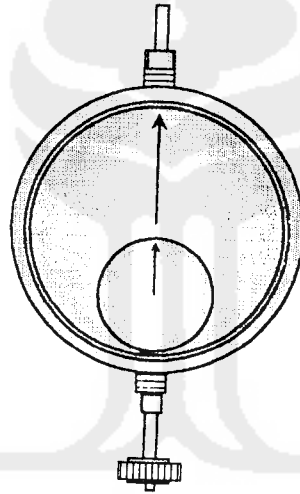
Gambar 4.2 *Loading Frame*

Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton (*rigid floor*) dengan perantara plat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap stabil, plat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450×200×9×14 mm.

Posisi balok portal dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut.

2. *Dial Gauge*

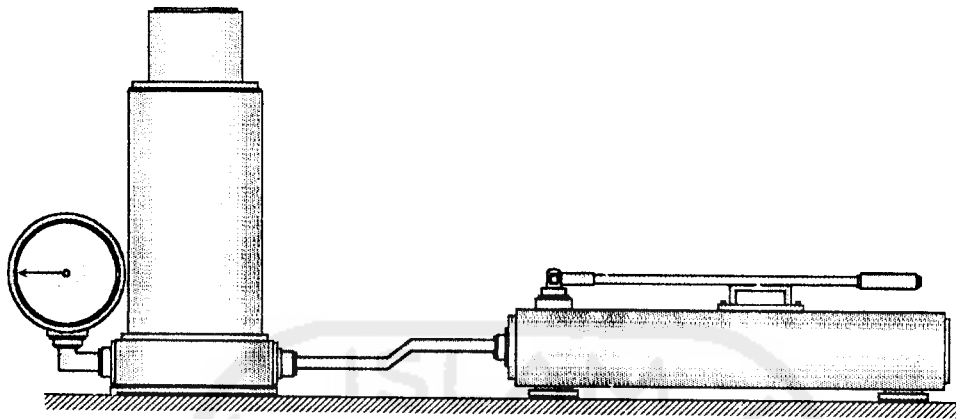
Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi (Gambar 4.3). Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm.



Gambar 4.3 *Dial Gauge*

3. *Hydraulic Jack*

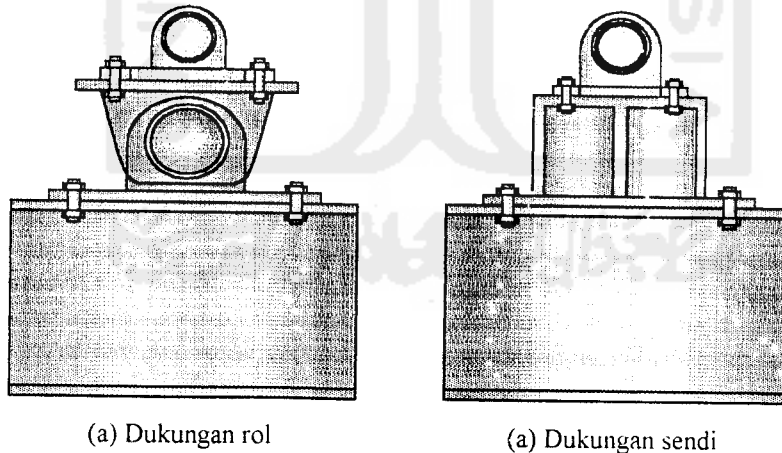
Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur balok skala penuh (Gambar 4.4). Dalam penelitian ini digunakan *hydraulic jack* dengan kapasitas maksimum yang dimiliki adalah 25 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0.5 ton.



Gambar 4.4 *Hydraulic Jack*

4. Dukungan Sendi dan Rol

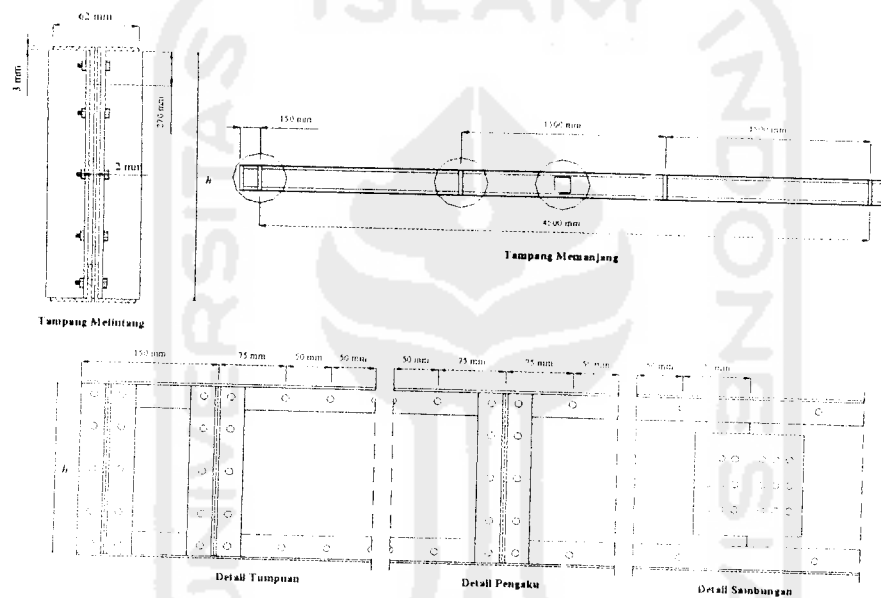
Untuk membuat model balok mendekati balok sederhana (*simple beam*), maka pada salah satu ujung model balok dipasang dukungan rol, sedangkan pada ujung yang lain dipasang dukungan sendi (Gambar 4.5).



Gambar 4.5 Dukungan sendi dan rol

4.4 Benda Uji

Benda uji berupa gelagar plat dengan bentuk penampang I dengan dimensi lebar sayap (b) = 62 mm, tebal sayap (t_f) = 3 mm, tebal badan (t_w) = 2 mm, variasi tinggi badan (h) = 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm, 600 mm dan panjang benda uji (L) = 4500 mm.



Gambar 4.6 Model benda uji

Tabel 4.1 Variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w)

Variasi	Rasio Tinggi Terhadap Tebal Badan (h/t)
1	100
2	150
3	200
4	250
5	300

4.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik, Sekolah Teknik Menengah Muhammadiyah Mlati, Sleman. Setelah perhitungan proporsi dimensi badan, sayap dan panjang benda uji didapat, maka selanjutnya pembuatan benda uji melalui tahapan-tahapan berikut ini :

1. Bahan-bahan disiapkan dan diukur dengan proporsi yang telah ditentukan sesuai dengan rencana. Pada tahap ini dilakukan pemotongan plateser untuk badan dan plat sambung serta plat siku untuk plat sayap dan pengaku sesuai dengan ukuran yang telah direncanakan. Pemotongan bahan uji dilakukan secara manual menggunakan gergaji besi.
2. Plateser untuk plat badan disambung lebih dahulu menggunakan plat sambung dengan alat sambung baut kemudian disatukan dengan plat siku untuk plat sayap. Setelah plat badan dan plat sayap disatukan, dipasang pengaku dukungan dengan jarak antara pengaku sebesar 1500 mm.

4.6 Jumlah Benda Uji

Setelah gelagar benda uji telah selesai dibuat, maka dilakukan pengujian lentur di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Banyaknya benda uji yang dibuat dalam penelitian ini adalah :

1. Variasi 1 : 1 buah gelagar plat dengan panjang (L) = 4500 mm, tebal sayap (t_f) = 3 mm, lebar sayap (b) = 62 mm, tebal badan (t_w) = 2 mm, tinggi badan (h) = 200 mm.
2. Variasi 2 : 1 buah gelagar plat dengan panjang (L) = 4500 mm, tebal sayap (t_f) = 3 mm, lebar sayap (b) = 62 mm, tebal badan (t_w) = 2 mm, tinggi badan (h) = 300 mm.
3. Variasi 3 : 1 buah gelagar plat dengan panjang (L) = 4500 mm, tebal sayap (t_f) = 3 mm, lebar sayap (b) = 62 mm, tebal badan (t_w) = 2 mm, tinggi badan (h) = 400 mm.
4. Variasi 4 : 1 buah gelagar plat dengan panjang (L) = 4500 mm, tebal sayap (t_f) = 3 mm, lebar sayap (b) = 62 mm, tebal badan (t_w) = 2 mm, tinggi badan (h) = 500 mm.
5. Variasi 5 : 1 buah gelagar plat dengan panjang (L) = 4500 mm, tebal sayap (t_f) = 3 mm, lebar sayap (b) = 62 mm, tebal badan (t_w) = 2 mm, tinggi badan (h) = 600 mm.

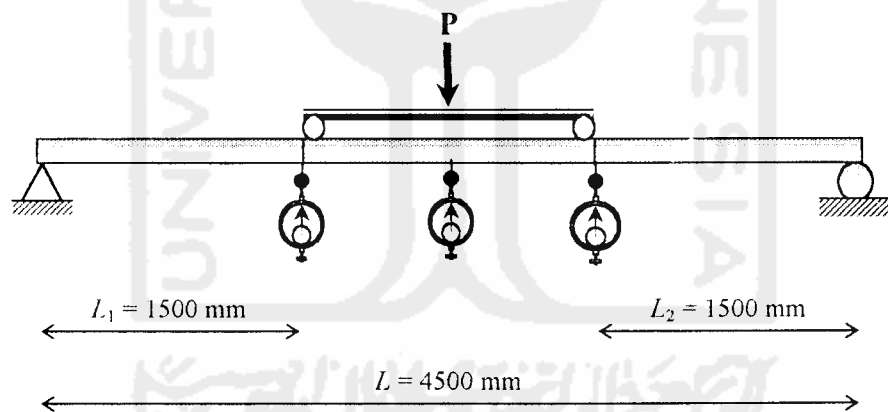
4.7 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilakukan secara bertahap sesuai dengan banyaknya benda uji.

4.7.1 Pengujian Kuat Lentur

Pelaksanaan pengujian kuat lentur dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa dengan cara sebagai berikut :

1. Sebelum pengujian dilakukan, benda uji diberi tanda sebagai titik pembebanan pada benda uji, kemudian diletakkan pada tumpuan sesuai dengan tanda yang telah diberikan serta letak bebannya. Di bawah benda uji dipasang *dial* (alat pengukur lendutan) untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada waktu dilaksanakan pengujian kuat lentur, posisi benda uji dan letak *dial* terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Perletakkan benda uji

2. Benda uji siap diuji. *Hiraulic Jack* dipompa guna melakukan pembebanan secara perlahan-lahan, beban konstan dan dinaikkan secara berangsur-angsur sampai beban maksimum sehingga benda uji akan mengalami tekuk.



BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Kualitas Plat Baja

Untuk mengetahui kualitas plat baja yang dipakai untuk benda uji, dilakukan uji tarik baja, hasilnya disajikan dalam lampiran, rangkuman uji tarik baja ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil uji tarik baja

P Luluh (kg)	P Maks (kg)	P Patah (kg)	Fy (kg/cm ²)	Fx (kg/cm ²)
525	560	25	2625	280
420	510	50	2100	255
480	515	0	2400	257,5

Kuat tarik rata-rata dari ketiga sampel uji tarik baja adalah sebesar 240 Mpa.

5.1.2 Hubungan Beban-Lendutan

1. Hubungan Beban-Lendutan Teoritis

Nilai hasil perhitungan beban-lendutan secara teori ditampilkan dalam Tabel 5.2. Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian sedangkan besar lendutannya dihitung dengan Persamaan 3.56.

Tabel 5.2 Perhitungan beban-lendutan secara teoritis

P (KN)	EI (KNmm ²)	L (mm)	Δ (mm)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	5178571429	4500	0	0	0
3	5178571429	4500	187,371	2250	4,345E-07
6	5178571429	4500	374,741	4500	8,690E-07
9	5178571429	4500	562,112	6750	1,303E-06
12	5178571429	4500	749,483	9000	1,738E-06
15	5178571429	4500	936,853	11250	2,172E-06
18	5178571429	4500	1124,224	13500	2,607E-06
21	5178571429	4500	1311,595	15750	3,041E-06
24	5178571429	4500	1498,966	18000	3,476E-06
27	5178571429	4500	1686,336	20250	3,910E-06
29	5178571429	4500	1811,250	21750	4,200E-06

2. Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian

Pengujian lentur gelagar plat dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada sampel gelagar plat tersebut diberi pembebanan di dua titik secara bertahap dengan interval pembebanan 3 KN pada setiap tahap pembebanan, kemudian dipasang *dial gauge* sebanyak tiga buah yang diletakkan di bawah model benda uji untuk mengetahui lendutannya. Lendutan yang terjadi dicatat, yang hasilnya disajikan pada Tabel 5.3. Untuk hasil selengkapnya disajikan dalam Lampiran 2 sampai Lampiran 6. Selain itu Tabel 5.4 menunjukkan beban maksimum yang dicapai untuk model uji gelagar plat dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) yang diuji dalam penelitian ini.

Tabel 5.3 Perhitungan beban-lendutan hasil penelitian dengan $h/t_w = 200$

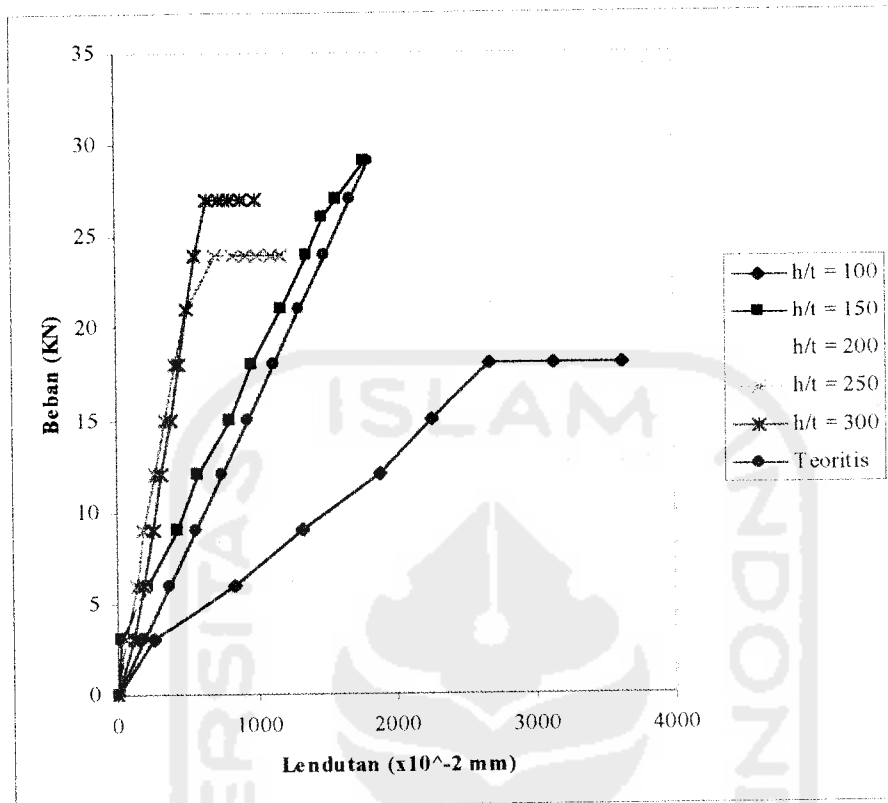
Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Behan (KN)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
46	65	52	3	2250	5,689E-07
132	185	165	6	4500	1,298E-06
245	295	246	9	6750	0,176E-05
346	417	356	12	9000	2,347E-06
433	512	445	15	11250	2,596E-06
506	593	512	18	13500	2,987E-06
611	705	610	21	15750	0,336E-05
708	810	705	24	18000	0,368E-05
851	965	840	27	20250	4,249E-06
1075	1170	961	29	21750	5,404E-06

Tabel 5.4 Kekuatan maksimum gelagar plat dengan berbagai variasi

No	Variasi Rasio Tinggi Terhadap Tebal Badan	P max (KN)	P max (%)
1	$h/t = 100$	18	100
2	$h/t = 150$	29	161,111
3	$h/t = 200$	29	161,111
4	$h/t = 250$	24	133,333
5	$h/t = 300$	27	150

3. Grafik Hubungan Beban-Lendutan

Dari hasil perhitungan secara teoritis dan hasil pengujian kelima sampel gelagar plat dengan variasi h/t_w maka dapat dibuat grafik hubungan beban-lendutan. Dari grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 5.1, mulai titik awal pembebanan sampai terjadi kerusakan (tekuk), balok gelagar uji berperilaku elastis dan berbentuk linear. Setelah mengalami sedikit kerusakan, gelagar uji memasuki fase inelastik dimana terjadi peningkatan lendutan yang cukup besar. Kekakuan adalah gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit lendutan, semakin kaku suatu elemen struktur maka semakin besar kemiringannya.



Gambar 5.1 Grafik hubungan beban-lendutan hasil penelitian dan teoritis

4. Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan

Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan pada Gambar 5.1 dapat disimpulkan tentang kekakuan gelagar pada beban ultimit disajikan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Analisa kekakuan dari data hubungan beban-lendutan

Nama Gelagar	P (KN)	Lendutan ($\times 10^{-2}$ mm)	Kekakuan (KN/mm)	Kekakuan (%)
h/t = 100	18	2678	0,672	100
h/t = 150	29	1480	1,959	291,524
h/t = 200	29	965	3,005	447,104
h/t = 250	24	710	3,380	502,911
h/t = 300	27	652	4,141	616,104

Dari Tabel 5.5 dapat diamati dan diteliti pengaruh rasio tinggi terhadap tebal badan pada kekuatan lentur gelagar plat dan perilaku lendutan yang terjadi pada benda uji. Selain itu, dari Gambar 5.1 dapat disimpulkan tentang daktilitas lendutan yang disajikan dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Analisa daktilitas lendutan dari data hubungan beban-lendutan

Nama Gelagar	P (KN)	Δy ($\times 10^{-2}$ mm)	Δ_{total} ($\times 10^{-2}$ mm)	Daktilitas	Daktilitas (%)
h/t = 100	18	2678	3625	1,354	100
h/t = 150	29	1480	1785	1,206	89,100
h/t = 200	29	965	1170	1,212	89,570
h/t = 250	24	710	1174	1,654	122,155
h/t = 300	27	652	993	1,523	112,513

5.1.3 Hubungan Momen-Kelengkungan

1. Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

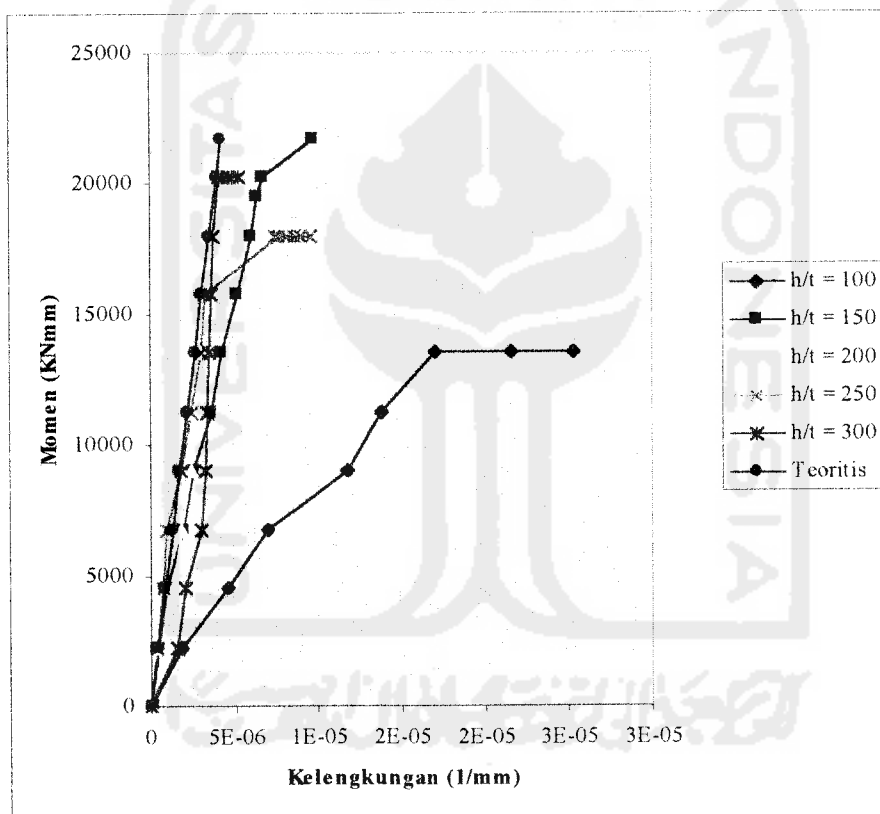
Mengacu pada tulisan Park-Pauley, nilai momen dan kelengkungan dapat dicari. Tabel hasil perhitungan momen kelengkungan secara teoritis disajikan pada Tabel 5.2 dan grafiknya pada Gambar 5.2.

Dari data perhitungan momen-kelengkungan teoritis dapat digambarkan grafiknya. Grafik tersebut akan dibandingkan dengan grafik hasil pengamatan yang diperoleh dari hasil pengujian model uji gelagar plat dengan lima variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w).

2. Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Penelitian

Dari hasil uji lentur didapat data berupa beban dan lendutan, dari data tersebut dapat diketahui momen dan kelengkungan. Hubungan momen-kelengkungan dapat dilihat pada Persamaan 3.48.

Peningkatan kelengkungan terjadi bila momen bertambah besar atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat lentur gelagar. Kelengkungan gelagar diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan metode *Central Difference*, dari data pembacaan dial dapat dicari momen dan kelengkungan seperti yang terlihat pada Tabel 5.3, untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2 sampai Lampiran 6.



Gambar 5.2 Grafik hubungan momen-kelengkungan hasil penelitian dan teoritis

Dari Tabel 5.3 dapat digambarkan grafik momen-kelengkungan yang terlihat pada Gambar 5.2, dan untuk hasil selengkapnya disajikan dalam Lampiran 2 sampai Lampiran 6.

3. Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

Hubungan momen-kelengkungan menunjukkan kekakuan. Dalam hal ini didapat dari M/Φ , faktor kekakuan pada gelagar plat secara umum mempunyai perilaku yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik M/Φ yang diperoleh dari data laboratorium. Dari grafik yang terlihat dalam Gambar 5.2 maka dapat dibuat analisa data.

Tabel 5.7 Analisa kekakuan dari data hubungan momen-kelengkungan

Nama Gelagar	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)	EI ($\times 10^3$ KN.mm ²)	Momen (%)	EI (%)
h/t = 100	13500	0,017E-03	794117,647	100	100
h/t = 150	21750	0,064E-04	3398437,500	161,111	427,951
h/t = 200	21750	0,042E-04	5178571,429	161,111	652,116
h/t = 250	18000	0,076E-04	2368421,053	133,333	298,246
h/t = 300	20250	0,041E-04	4939024,390	150	621,951

Dari Gambar 5.2 juga bisa diamati pengaruh rasio tinggi dan tebal badan (h/t_w) terhadap daktilitas lengkung gelagar yang disajikan dalam Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Analisa daktilitas lengkung dari data hubungan momen-kelengkungan

Nama Gelagar	Momen (KNmm)	Φ_y (1/mm)	Φ_{tot} (1/mm)	Daktilitas Φ_{tot}/Φ_y	Daktilitas (%)
h/t = 100	13500	0,017E-03	0,253E-04	1,488	100
h/t = 150	21750	0,064E-04	0,097E-04	1,516	101,840
h/t = 200	21750	0,042E-04	0,054E-04	1,286	86,392
h/t = 250	18000	0,076E-04	0,011E-03	1,447	97,254
h/t = 300	20250	0,041E-04	0,052E-04	1,268	85,221

4. Analisa Kerusakan Pada Benda Uji

Kerusakan yang terjadi pada kelima benda uji penelitian ini adalah terjadi tekuk arah lateral pada plat sayap dan lengkungan pada plat badan. Kerusakan pada sayap merupakan kerusakan akibat gaya tekan sebagai manifestasi momen

yang diterima sedangkan pada plat badan mengalami kerusakan yang diakibatkan tegangan geser yang terjadi. Letak kerusakan pada sampel uji rata-rata terletak di bawah beban terpusat.

5.2 Pembahasan

5.2.1 Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan

Dengan mengamati gambar-gambar pada lampiran, yaitu grafik hubungan beban-lendutan sebelum diidealisir dapat dilihat bahwa gelagar memiliki kecenderungan kuat lentur yang sama. Mulai dari kuat lentur awal sampai kuat lentur ultimit, kurva melengkung tetapi mendekati linear. Setelah mencapai kuat lentur ultimit, gelagar mengalami kerusakan dan terjadi penurunan kuat lentur.

Gelagar masih bisa mengalami peningkatan kuat lentur setelah mengalami sedikit kerusakan sampai gelagar mengalami kuat lentur ultimit yang kedua. Setelah mengalami kuat lentur yang kedua, kuat lentur gelagar cenderung linear yaitu gelagar mempunyai kuat lentur yang sama dengan kuat lentur ultimit kedua. Pada fase ini beban gelagar tetap sedangkan lendutannya mengalami peningkatan. Kuat lentur paling besar dialami oleh gelagar dengan $h/t_w = 150$ dan $h/t_w = 200$ pada beban 29 KN sedangkan kuat lentur yang paling kecil dialami oleh gelagar dengan $h/t_w = 100$ pada beban 18 KN.

Dari hasil penelitian didapatkan hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$), dalam hal ini adalah nilai kekakuan dari masing-masing gelagar. Nilai kekakuan didapat dari P/Δ , kekakuan pada gelagar secara umum mempunyai perilaku yang berbeda.

Hal ini dapat dilihat pada pola grafik beban-lendutan yang diperoleh dari data laboratorium.

Dari analisa beban-lendutan dapat diperoleh perbandingan kurva lendutan gelagar dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w). Sebagai pembanding atau standar kekakuan dipakai gelagar dengan $h/t_w = 100$, dengan menganggap besar kekakuannya yaitu 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai kekakuan dari gelagar plat.

Untuk gelagar variasi 1 dengan $h/t_w = 100$, rata-rata beban maksimumnya adalah 18 KN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 0,672 KN/mm. Gelagar variasi 2 dengan $h/t_w = 150$, rata-rata beban maksimumnya adalah 29 KN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 1,959 KN/mm. Gelagar variasi 3 dengan $h/t_w = 200$, rata-rata beban maksimumnya adalah 29 KN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 3,0 KN/mm. Gelagar variasi 4 dengan $h/t_w = 250$, rata-rata beban maksimumnya adalah 24 KN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 3,380 KN/mm. Gelagar variasi 5 dengan $h/t_w = 300$, rata-rata beban maksimumnya adalah 27 KN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 4.141 KN/mm.

Beban maksimum gelagar plat mengalami kenaikan sebesar 61,111 % dan nilai kekakuan mengalami kenaikan sebesar 191,524 % terhadap gelagar dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 150. Beban maksimum gelagar plat mengalami kenaikan sebesar 61,111 % dan nilai kekakuan mengalami kenaikan sebesar 347,104 % terhadap gelagar dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 200. Beban maksimum gelagar plat mengalami kenaikan sebesar 33,333 % dan nilai kekakuan mengalami kenaikan sebesar 402,911 % terhadap

gelagar dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 250. Beban maksimum gelagar plat mengalami kenaikan sebesar 50 % dan nilai kekakuan mengalami kenaikan sebesar 516,104 % terhadap gelagar dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 300.

5.2.2 Daktilitas Simpangan Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan

Besarnya lendutan pada beban maksimum dan lendutan maksimum pada gelagar merupakan dasar untuk mencari daktilitas gelagar. Daktilitas simpangan merupakan perbandingan dari Δ_{tot}/Δ_y . Berdasarkan pengamatan pada grafik hubungan beban-lendutan yang kemudian dianalisa seperti ditampilkan pada Tabel 5.6, dapat dilihat daktilitas dari masing-masing gelagar dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) dan dapat dibandingkan dengan gelagar yang $h/t_w = 100$ sebagai pembandingnya dengan menganggap daktilitas dan beban ultimitnya sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai daktilitas.

Pada gelagar dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 100, gelagar mempunyai nilai daktilitas sebesar 100 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 18 KN. Gelagar dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 150, gelagar mengalami penurunan daktilitas sebesar 10,9 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 29 KN. Gelagar dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 200, gelagar mengalami penurunan daktilitas sebesar 10,431 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 29 KN. Gelagar dengan rasio tinggi

terhadap tebal badan (h/t_w) = 250, gelagar mengalami kenaikan daktilitas sebesar 22,145 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 24 KN. Gelagar dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 300, gelagar mengalami kenaikan daktilitas sebesar 12,513 % pada saat menerima beban maksimum sebesar 27 KN.

5.2.3 Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Momen-Kelengkungan

Grafik hubungan momen-kelengkungan memiliki perilaku yang tidak jauh berbeda dengan kuat lentur dari grafik hubungan beban lendutan. Mulai dari kuat lentur awal akibat momen sampai kuat lentur ultimit, kurva melengkung tetapi mendekati linier, setelah mencapai kuat lentur ultimit gelagar mulai mengalami kerusakan yaitu melengkung kearah samping yang cukup signifikan sehingga terjadi penurunan kuat lentur sedikit.

Gelagar masih bisa mengalami peningkatan kuat lentur setelah mengalami sedikit tekuk, sampai gelagar mengalami kuat lentur ultimit yang kedua gelagar tidak mengalami peningkatan kuat lentur lagi. Setelah mengalami kuat lentur ultimit yang kedua, kuat lentur gelagar cenderung linier yaitu gelagar mempunyai kuat lentur yang sama dengan kuat lentur ultimit kedua, yang mengalami peningkatan hanyalah kelengkungan gelagar, sedangkan momen gelagar tidak mengalami peningkatan.

Kuat lentur paling besar dialami oleh gelagar dengan $h/t_w = 150$ dan $h/t_w = 200$ yaitu pada momen sebesar 21750 KNmm, sedangkan kuat lentur paling kecil dialami oleh gelagar dengan $h/t_w = 100$ yaitu pada momen sebesar 13500 KNmm.

Kelengkungan paling panjang terjadi pada gelagar dengan $h/t_w = 100$ dan kelengkungan paling pendek terjadi pada gelagar dengan $h/t_w = 300$.

Hubungan momen-kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan, seperti yang terdapat pada tabel 5.7 maka dapat dilakukan analisa data momen dengan kelengkungan sehingga dapat diperoleh perbandingan grafik momen-kelengkungan gelagar plat dengan lima variasi rasio tinggi terhadap tebal badan.

Sebagai pembanding atau standar kekakuan gelagar plat dipakai gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan $(h/t_w) = 100$ dengan menganggap besar faktor kekakuannya sebesar 100 % dan besarnya momen beban maksimum pertama sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh besarnya kenaikan atau penurunan nilai faktor kekakuan atau besarnya momen dari gelagar.

Pada gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan $(h/t_w) = 100$ mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 794117647 KNmm² pada saat gelagar menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 13500 KNmm. Pada gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan $(h/t_w) = 150$ mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 3398437500 KNmm² pada saat gelagar menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 21750 KNmm dan gelagar plat mengalami kenaikan kekakuan sebesar 327,951 % dan nilai momen sebesar 61,111 %. Pada gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan $(h/t_w) = 200$ mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 5178571429 KNmm² pada saat gelagar menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 21750 KNmm dan gelagar plat mengalami kenaikan kekakuan

sebesar 552,116 % dan nilai momen sebesar 61,111 %. Pada gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 250 mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 2368421053 KNmm² pada saat gelagar menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 18000 KNmm dan gelagar plat mengalami kenaikan kekakuan sebesar 198,246 % dan nilai momen sebesar 33,333 %. Pada gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 300 mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 4939024390 KN mm² pada saat gelagar menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 20250 KN.mm dan gelagar plat mengalami kenaikan kekakuan sebesar 521,951 % dan nilai momen sebesar 50 %.

5.2.4 Daktilitas Lengkung Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Momen-Kelengkungan

Besarnya kelengkungan pada momen maksimum dan kelengkungan maksimum merupakan dasar untuk mencari daktilitas gelagar. Daktilitas kelengkungan didapat dari perbandingan Φ_{tol}/Φ_y . Dari tabel Tabel 5.8 yang diperoleh dari pengamatan perbandingan kurva kelengkungan gelagar dengan berbagai variasi rasio tinggi terhadap tebal badan.

Sebagai pembanding atau standar daktilitas gelagar, dipakai gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 100, dengan menganggap daktilitas dan momen maksimumnya sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh kenaikan atau penurunan nilai daktilitas.

Pada gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 100 mempunyai nilai daktilitas sebesar 1,488 pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 13500 KNmm.

Gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 150 mempunyai nilai daktilitas sebesar 1,52 pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 21750 KNmm. Gelagar mengalami kenaikan daktilitas sebesar 1,84 %.

Gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 200 mempunyai nilai daktilitas sebesar 1,286 pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 21750 KNmm. Gelagar mengalami penurunan daktilitas sebesar 13,61 %.

Gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 250 mempunyai nilai daktilitas sebesar 1,447 pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 18000 KNmm. Gelagar mengalami penurunan daktilitas sebesar 2,75 %.

Gelagar plat dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 300 mempunyai nilai daktilitas sebesar 1,268 pada saat gelagar menerima beban maksimum dengan nilai momennya sebesar 20250 KNmm. Gelagar mengalami penurunan daktilitas sebesar 14,88 %.

5.2.5 Hubungan Tanpa Dimensi Beban-Daktilitas Simpangan

Setelah data hasil penelitian dianalisa didapatkan hubungan tanpa dimensi beban-daktilitas simpangan yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.3.

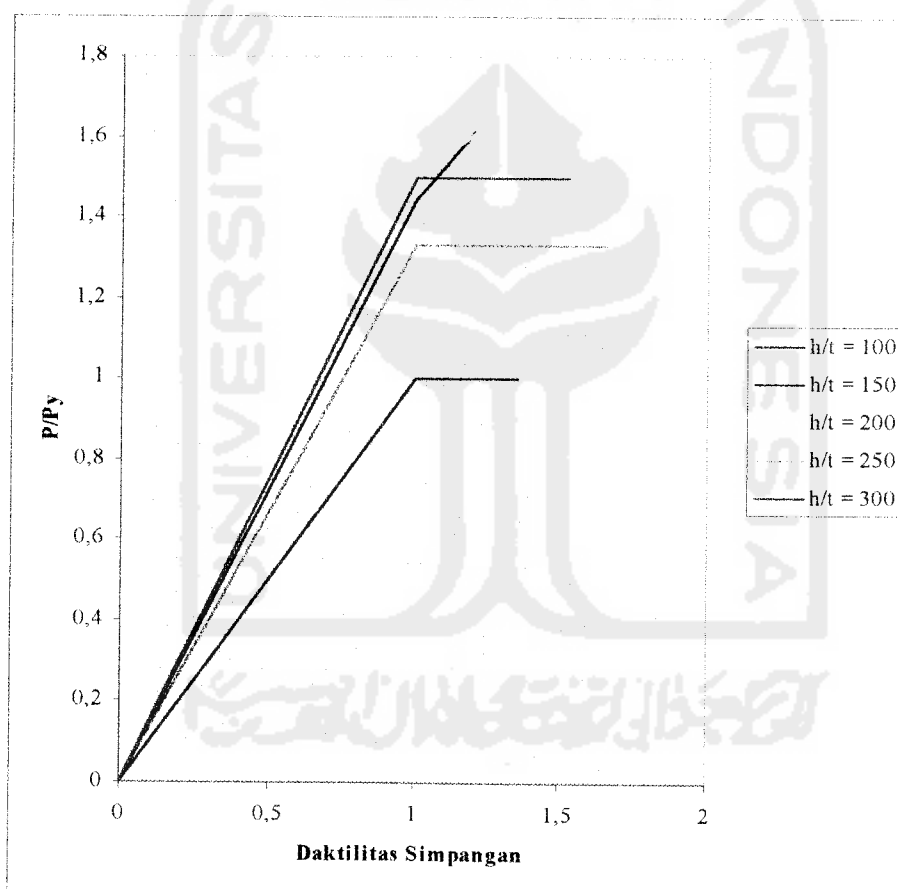
4.7.2 Pengujian Kuat Tarik baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian tarik baja adalah beban maksimum. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan membagi beban maksimum dengan luas rata-rata. Dalam pengujian tarik baja digunakan benda uji sebanyak tiga buah.



Hubungan ini ditampilkan dalam bentuk grafik tanpa dimensi untuk lima jenis variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) pada gelagar plat.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) maka semakin besar daya dukung bebannya dan semakin besar pula daktilitas simpangannya, namun pada $h/t_w = 150$ dan 200 nilai daktilitas simpangannya semakin kecil.



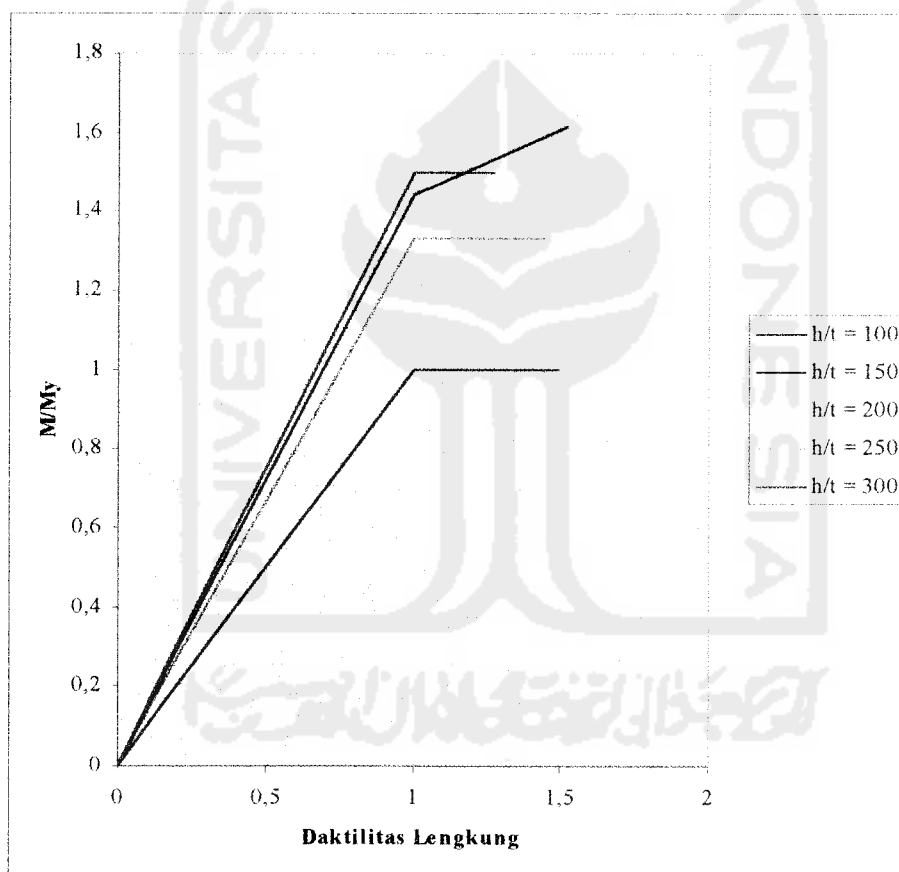
Gambar 5.3 Grafik tanpa dimensi beban-daktilitas simpangan

5.2.6 Hubungan Tanpa Dimensi Momen-Daktilitas Lengkung

Setelah data hasil penelitian dianalisa didapatkan hubungan tanpa dimensi momen-daktilitas lengkung yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Hubungan ini ditampilkan dalam bentuk grafik tanpa dimensi untuk lima jenis variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) pada gelagar plat.

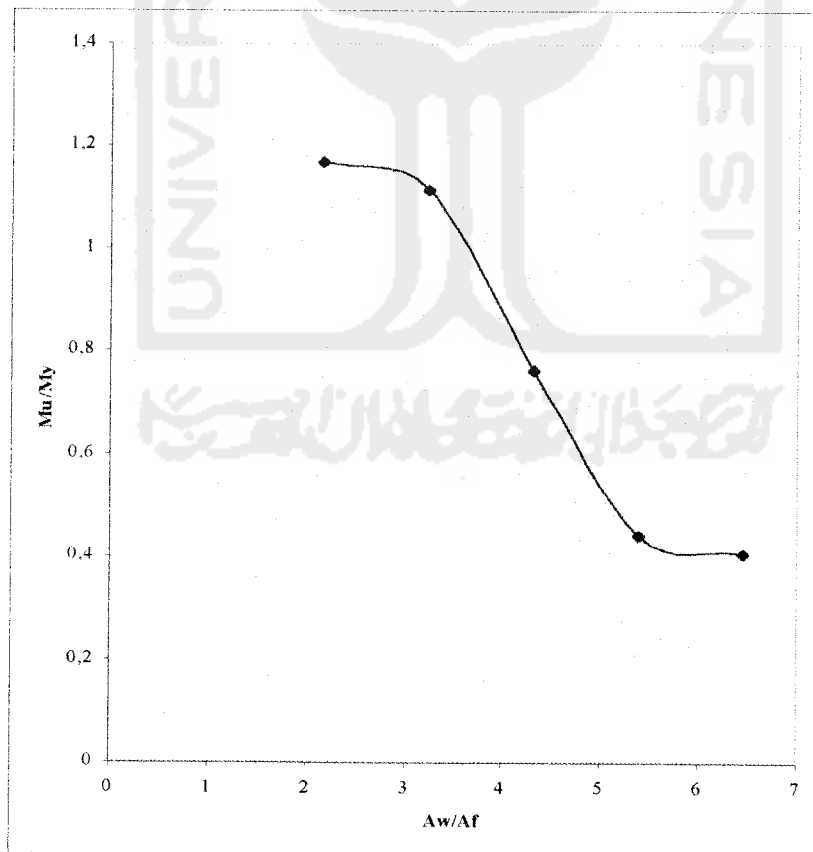
Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) maka semakin besar kapasitas momennya dan daktilitas lengkungnya, namun pada $h/t_w = 300$ nilai daktilitas lengkung semakin kecil.



Gambar 5.4 Grafik tanpa dimensi momen-daktilitas lengkung

5.2.8 Hubungan Tanpa Dimensi Antara Rasio Momen Lentur Hasil Pengujian Terhadap Momen Lentur Teoritis (M_u/M_y) Dengan Rasio Luas Badan Terhadap Luas Sayap (A_w/A_f) Gelagar Plat

Dari hasil penelitian didapat bahwa rasio luas badan terhadap luas sayap (A_w/A_f) pada gelagar plat berpengaruh besar terhadap kuat lentur gelagar plat. Dari lima variasi yang diuji menunjukkan bahwa semakin besar nilai rasio luas badan terhadap luas sayap (A_w/A_f) maka semakin besar nilai kuat lenturnya namun kuat lentur yang optimal didapatkan pada $h/t_w = 150$. Nilai kuat lentur tersebut diwakili oleh nilai beban-lendutan, momen-kelengkungan, kekakuan dan daktilitasnya. Hasilnya tampak pada Gambar 5.6 berikut ini :



Gambar 5.6 Grafik tanpa dimensi M_u/M_y - A_w/A_f

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan mengenai perilaku gelagar plat dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w), yaitu sebagai berikut :

1. Rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) sangat berpengaruh terhadap kekakuan dan kekuatan gelagar plat. Semakin besar rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) maka semakin besar kekakuan gelagar plat dan semakin tinggi nilai h/t_w maka semakin besar kekuatan yang mampu ditahannya serta semakin besar nilai h/t_w maka semakin besar momen yang dapat ditahan.
2. Grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) menunjukkan bahwa semakin besar rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) maka kekakuan (k) gelagar plat semakin besar.
3. Grafik hubungan antara momen-kelengkungan ($M-\Phi$) menunjukkan bahwa semakin besar rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) maka faktor kekakuan lentur (EI) gelagar plat semakin besar.
4. Grafik hubungan tanpa dimensi antara rasio momen lentur hasil pengujian terhadap momen lentur teoritis (M_u/M_y) dengan rasio tinggi terhadap tebal

badan (h/t_w) menunjukkan bahwa semakin besar nilai h/t_w maka nilai M_u/M_y semakin kecil.

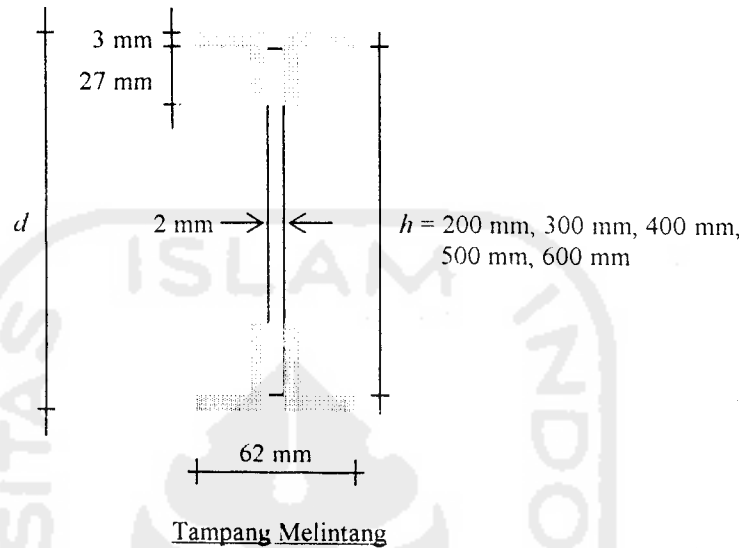
5. Grafik hubungan tanpa dimensi antara rasio momen lentur hasil pengujian terhadap momen lentur teoritis (M_u/M_y) dengan rasio luas badan terhadap luas sayap (A_w/A_f) menunjukkan bahwa semakin besar nilai A_w/A_f maka nilai M_u/M_y semakin kecil.

6.2 Saran

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut tentang gelagar plat dengan variasi rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) dengan pengaku, baik pengaku transversal maupun pengaku longitudinal.
2. Perlu dicari pemecahan untuk mengatasi kerusakan akibat tekuk lateral pada plat sayap tekan serta tekuk akibat gaya geser pada plat badan yaitu dengan memberi pengaku atau dukungan lateral pada plat sayap tekan serta pengaku antara pada plat badan.
3. Pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pengamatan dalam membaca alat uji dan kerusakan yang terjadi pada benda uji sehingga dapat diperoleh data yang lebih valid dan akurat.
4. Perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pada saat pembuatan benda uji, terutama pada saat penyambungan antara plat sayap dengan plat badan serta perletakan pengaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1990, **STRUKTUR BAJA**, Erlangga, Jakarta.
- George Gerard dan Herbert Becker, 1957, **HANBOOK OF STRUCTURAL STABILITY, PART I – BUCKLING OF FLAT PLATE**, National Advisory Committee for Aeronautics, Washington, D. C.
- Joseph E. Bowles, 1980, **STRUKTUR STEEL DESIGN**, McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Leonard Spiegel, George F. Limbrunner, Bambang Suryoatmono, 1991, **DESAIN BAJA STRUKTURAL TERAPAN**, PT. ERESKO, Bandung.
- Lynn S. Beedle, 1958, **PLASTIC DESIGN OF STEEL FRAMES**, Johns Willey & Sons, Inc.
- Timoshenko dan Woinowski-Kriger, 1959, **THEORY OF PLATES AND SHELLS**, McGraw-Hill Book Company, Inc, New York.

Perhitungan Benda Uji**1. $h = 200 \text{ mm}$**

$$f_b = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{M}{S_x}$$

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

$$I_{badan} = \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 200^3 = 1333333,330 \text{ mm}^4$$

$$I_{sayap} = \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 30^3 + 3 \cdot 30 \cdot 8,605^2 + \frac{1}{12} \cdot 27 \cdot 3^3 + 27 \cdot 3 \cdot 8,605^2 = 19472,62 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} I_{total} &= \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 200^3 + 4 \cdot I_{sayap} + 4 \cdot A \cdot jarak^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 200^3 + 4 \cdot 19472,62 + 4 \cdot 171.94,395^2 = 7505948,376 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$y = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 206 = 103 \text{ mm}$$

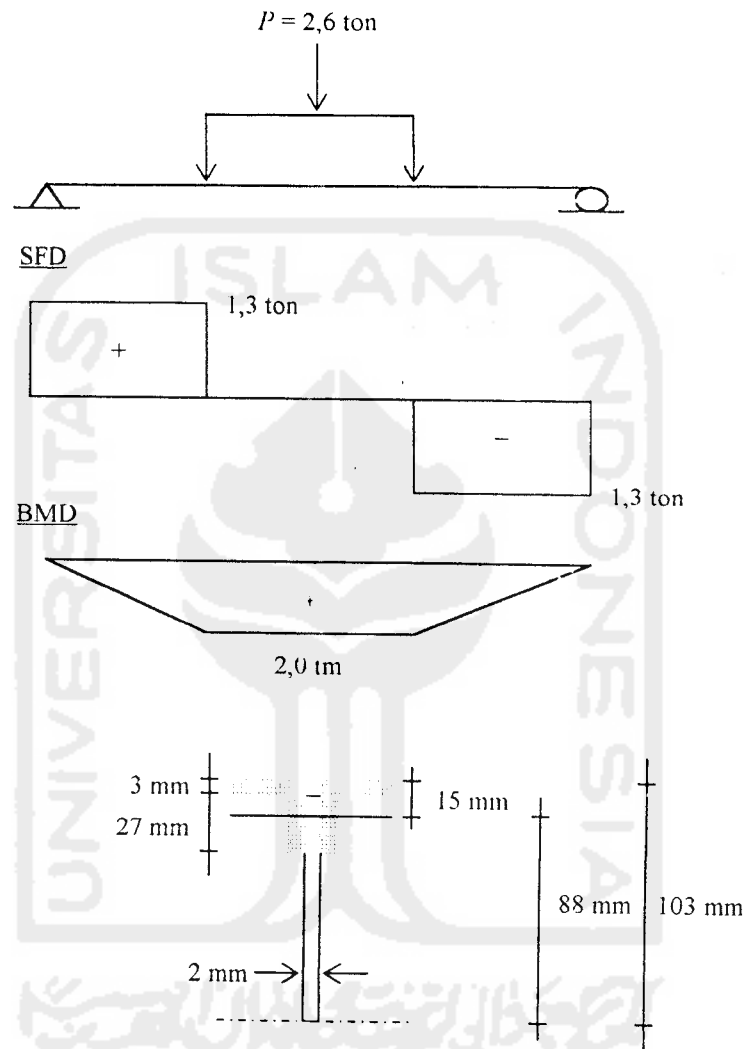
$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{7505948,376}{103} = 72873,285 \text{ mm}^3$$

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

$$M = F_y \cdot z_x = F_y \cdot S_x \cdot f_b = 240 \cdot 72873,285 \cdot 1,15 = 20113026,66 \text{ N.mm} = 2 \text{ tm}$$

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

$$P = \frac{6.M}{L} = \frac{6.2}{4.5} = 2,6 \text{ ton}$$



$$S = 2(30.3.101,5 + 3.12.94) + (2.12.94) = 27858 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{D.S}{I.b} = \frac{1330.27858}{7505948,376.8} = 0,62 \text{ kg/mm}^2 < 0,4 F_y$$

$$P = \tau.b.L = 0,62.8.1500 = 7440 \text{ kg}$$

Kekuatan untuk satu baut :

$$P = d.t.F_u = 5.8.360 = 14400 \text{ N}$$

$$P = \frac{1}{4}.\pi.d^2.F_v = \frac{1}{4}.\pi.5^2.145 = 2847 \text{ N}$$

$$\text{Dipakai } P_{\text{baut}} = 2847 \text{ N} = 284,7 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah baut } (n) = \frac{P}{P_{\text{baut}}} = \frac{7440}{284,7} = 26,13 \approx 28 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$$

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

$$f_b = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{M}{S_x}$$

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

$$\begin{aligned} I_{\text{total}} &= \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 300^3 + 4 \cdot I_{\text{sayap}} + 4 \cdot A \cdot \text{jarak}^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 300^3 + 4 \cdot 19472,6203 + 4 \cdot 171.144,395^2 = 18839233,04 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$y = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 306 = 153 \text{ mm}$$

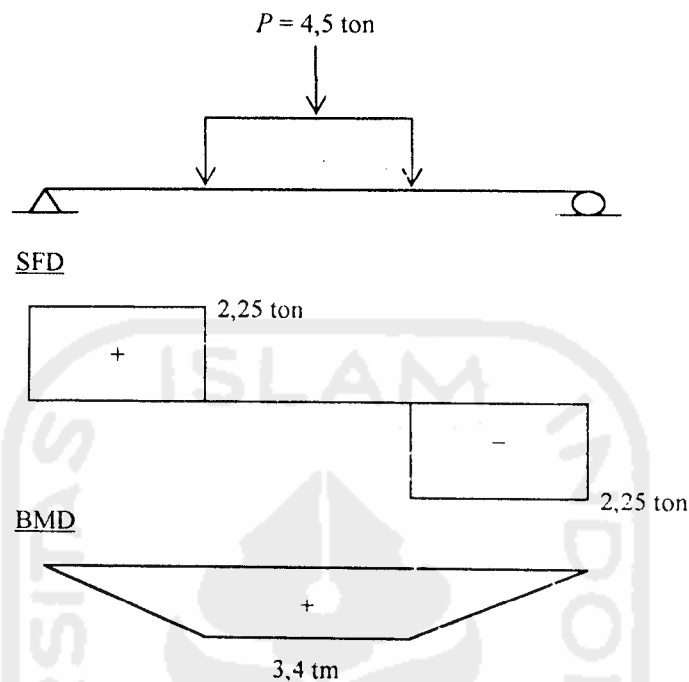
$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{18839233,04}{153} = 123132,24 \text{ mm}^3$$

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

$$M = F_y \cdot z_x = F_y \cdot S_x \cdot f_b = 240 \cdot 123132,24 \cdot 1,15 = 33984498 \text{ N} \cdot \text{mm} = 3,4 \text{ tm}$$

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

$$P = \frac{6 \cdot M}{L} = \frac{6 \cdot 3,4}{4,5} = 4,5 \text{ ton}, D = 2,25 \text{ ton} = 2250 \text{ kg}$$



$$S = 2(30 \cdot 3.151,5 + 3.12.144) + (2.12.144) = 41094 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{D \cdot S}{l \cdot b} = \frac{2250 \cdot 41094}{18839233,04 \cdot 8} = 0,62 \text{ kg/mm}^2 < 0,4 F_y$$

$$P = \tau \cdot b \cdot l = 0,62 \cdot 8 \cdot 1500 = 7440 \text{ kg}$$

Kekuatan untuk satu baut :

$$P = d \cdot t \cdot F_u = 5 \cdot 8 \cdot 360 = 14400 \text{ N}$$

$$P = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot F_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 5^2 \cdot 145 = 2847 \text{ N}$$

$$\text{Dipakai } P_{\text{baut}} = 2847 \text{ N} = 284,7 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah baut } (n) = \frac{P}{P_{\text{baut}}} = \frac{7440}{284,7} = 26,13 = 28 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$f_b = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{M}{S_x}$$

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

$$I_{total} = \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 400^3 + 4 \cdot I_{sayap} + 4 \cdot A \cdot jarak^2$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 300^3 + 4 \cdot 19472,6203 + 4 \cdot 171.194,395^2 = 36592517,71 \text{ mm}^4$$

$$y = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 406 = 203 \text{ mm}$$

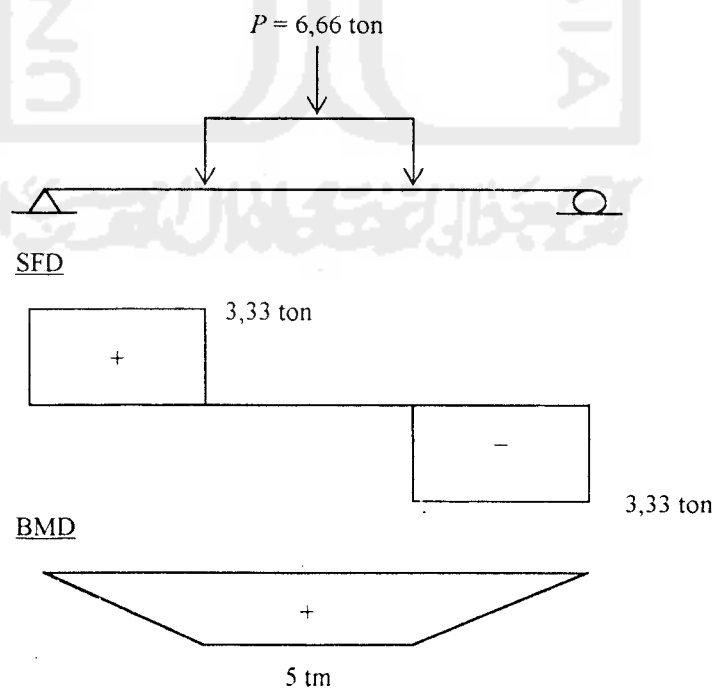
$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{36592517,71}{203} = 180258,7079 \text{ mm}^3$$

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

$$M = f_y \cdot z_x = f_y \cdot S_x \cdot f_b = 240 \cdot 180258,7079 \cdot 1,15 = 49751403,38 \text{ N} \cdot \text{mm} = 5 \text{ tm}$$

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

$$P = \frac{6 \cdot M}{L} = \frac{6 \cdot 5}{4,5} = 6,66 \text{ ton}, D = 3,33 \text{ ton} = 3330 \text{ kg}$$



$$S = 2(30 \cdot 3 \cdot 201,5 + 3 \cdot 12 \cdot 194) + (2 \cdot 12 \cdot 194) = 54894 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{D.S}{l.b} = \frac{3330.54894}{36592517,71.8} = 0,62 \text{ kg/mm}^2 < 0,4 F_y$$

$$P = \tau.b.l = 0,62.8.1500 = 7440 \text{ kg}$$

Kekuatan untuk satu baut :

$$P = d.t.F_u = 5.8.360 = 14400 \text{ N}$$

$$P = \frac{1}{4}.\pi.d^2.F_v = \frac{1}{4}.\pi.5^2.145 = 2847 \text{ N}$$

$$\text{Dipakai } P_{\text{baut}} = 2847 \text{ N} = 284,7 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah baut } (n) = \frac{P}{P_{\text{baut}}} = \frac{7440}{284,7} = 26,13 \approx 28 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$$

$$\mathbf{h = 500 \text{ mm}}$$

$$f_b = \frac{M.y}{I} = \frac{M}{S_x}$$

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

$$\begin{aligned} I_{\text{total}} &= \frac{1}{12} . 2.500^3 + 4.I_{\text{sayap}} + 4.A.jarak^2 \\ &= \frac{1}{12} . 2.500^3 + 4.19472,6203 + 4.171.244,395^2 = 65177525,98 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$y = 0,5.d = 0,5.506 = 253 \text{ mm}$$

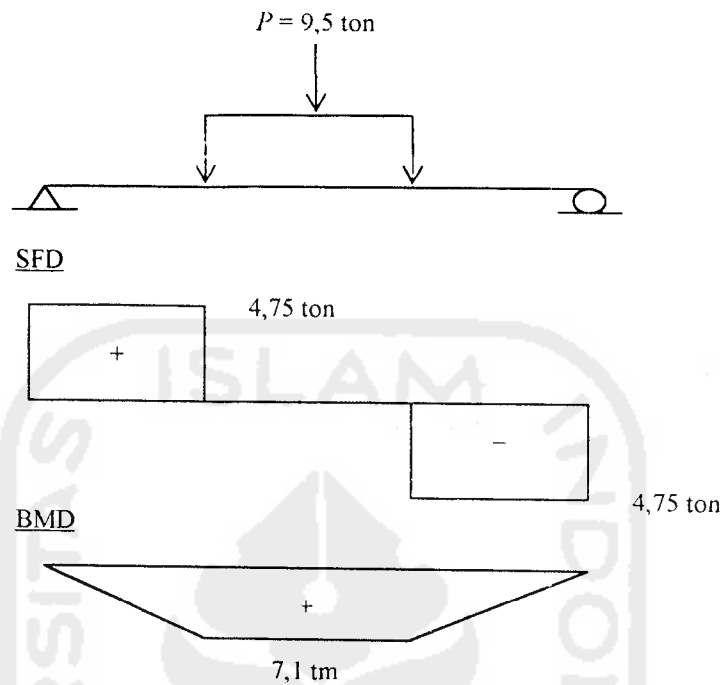
$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{65177525,98}{253} = 257618,6797 \text{ mm}^3$$

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

$$M = F_y . z_x = F_y . S_x . f_b = 240.257618,6797.1,15 = 71102755,6 \text{ N.mm} = 7,1 \text{ tm}$$

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

$$P = \frac{6.M}{L} = \frac{6.7,1}{4,5} = 9,5 \text{ ton}, D = 4,75 \text{ ton} = 4750 \text{ kg}$$



$$S = 2(30 \cdot 3.251,5 + 3 \cdot 12.244) + (2 \cdot 12.244) = 226806 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{D \cdot S}{I \cdot b} = \frac{4750 \cdot 226806}{65177525,98 \cdot 8} = 1,85 \text{ kg/mm}^2 < 0,4 F_y$$

$$\underline{h = 600 \text{ mm}}$$

$$f_b = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{M}{S_x}$$

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

$$\begin{aligned} I_{total} &= \frac{1}{12} \cdot 2.600^3 + 4 \cdot I_{sayap} + 4 \cdot A \cdot jarak^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 2.600^3 + 4 \cdot 19472,6203 + 4 \cdot 171.294,395^2 = 95359087,04 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$y = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 606 = 303 \text{ mm}$$

$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{95259087,04}{303} = 314716,4589 \text{ mm}^3$$

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

$$M = F_y \cdot z_x = F_y \cdot S_x \cdot f_b = 240 \cdot 314716,4589 \cdot 1,15 = 86870022,66 \text{ N} \cdot \text{mm} = 8,7 \text{ tm}$$

Gelag

ada g

ekuk :

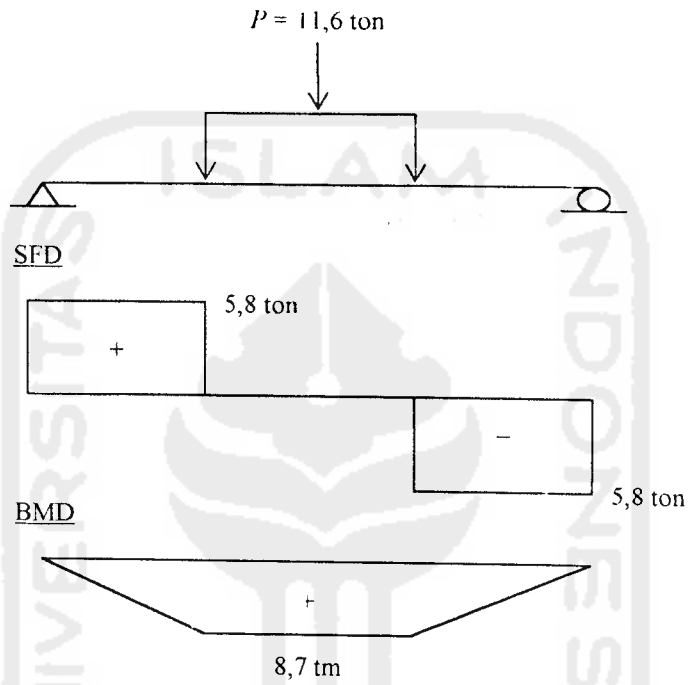
uan t

ersebi

nberi :

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

$$P = \frac{6.M}{L} = \frac{6.8,7}{4.5} = 11,6 \text{ ton}, D = 5,8 \text{ ton} = 5800 \text{ kg}$$



$$S = 2(30.3.301,5 + 3.12.294) + (2.12.294) = 273006 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{D.S}{I.b} = \frac{5800.273006}{95359087,04.8} = 2,08 \text{ kg/mm}^2 < 0,4 F_y$$

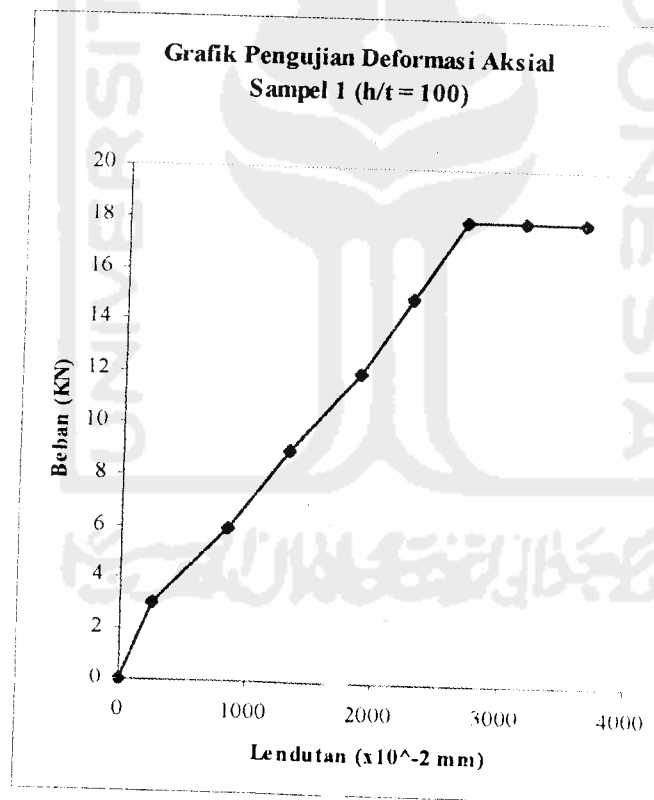
5.2.9 Tekuk Akibat Geser Pada Gelagar Plat

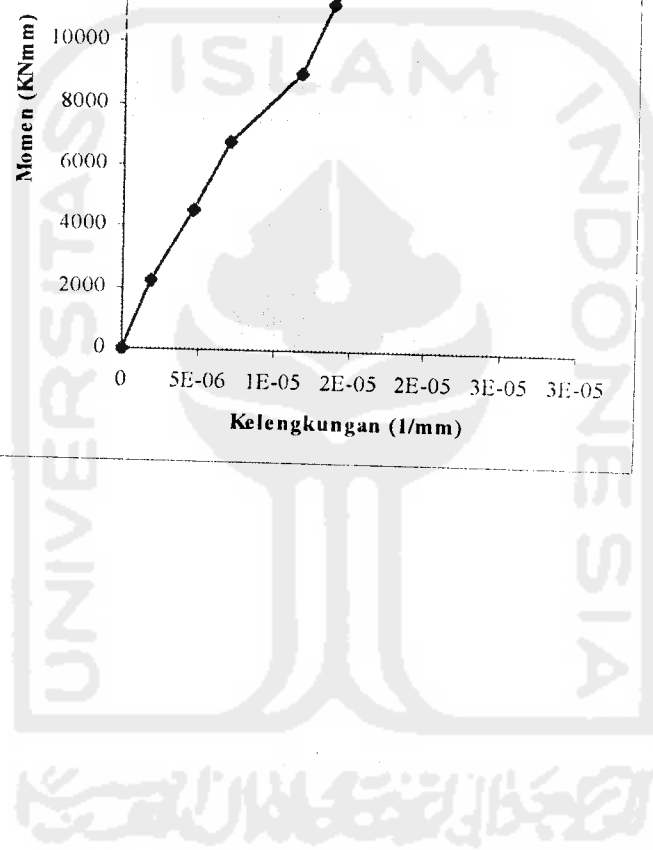
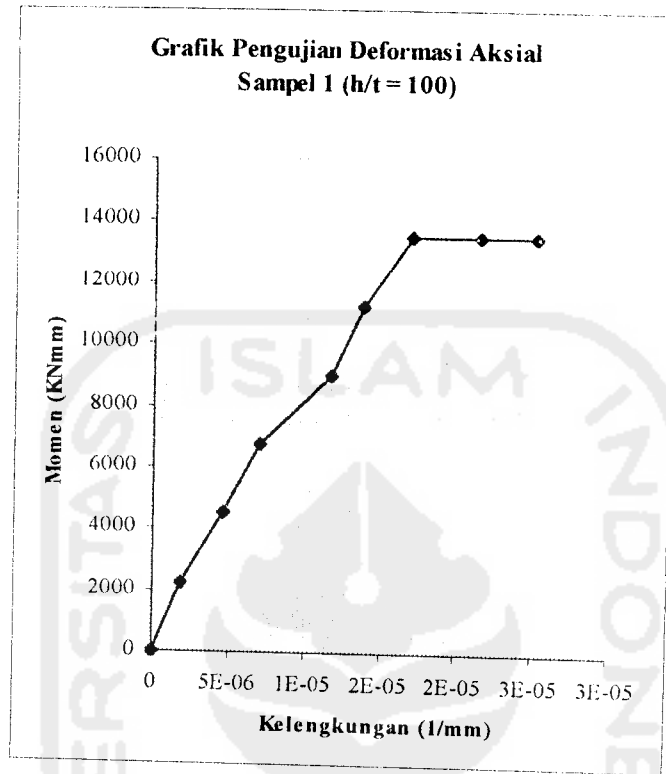
Kerusakan yang terjadi pada gelagar plat tanpa pengaku adalah tekuk lateral pada plat sayap tekan dan tekuk yang terjadi pada badan akibat gaya geser. Hal ini disebabkan karena kemampuan tahanan geser dari plat relatif sangat kecil. Untuk mencegah terjadinya tekuk tersebut maka perlu dicari solusinya. Salah satu pemecahannya adalah dengan memberi pengaku pada gelagar plat baik pengaku dukung maupun pengaku antara.



Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 1 ($h/t_w = 100$)

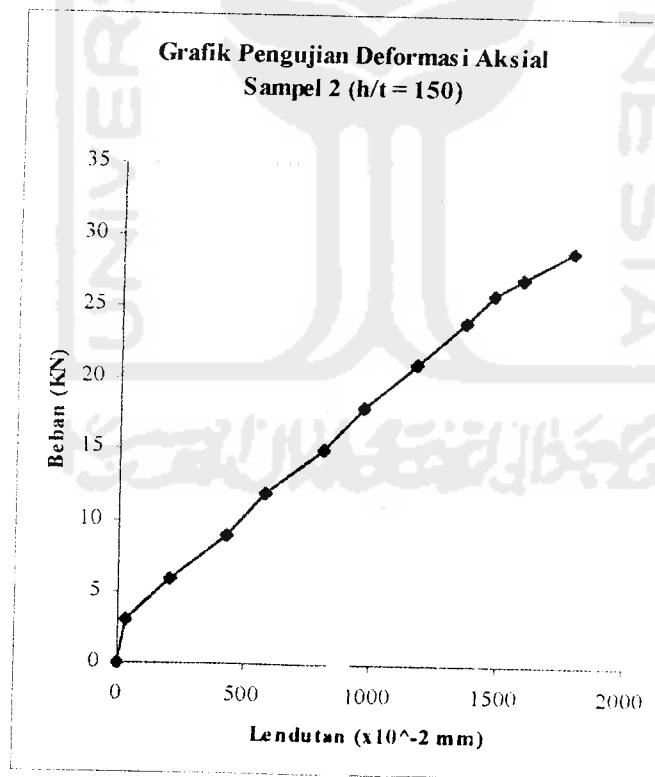
Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (KN)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
225	260	194	3	2250	1,796E-06
720	835	691	6	4500	4,604E-06
1135	1325	1124	9	6750	6,951E-06
1585	1878	1510	12	9000	1,175E-05
1875	2265	1878	15	11250	1,381E-05
2243	2678	2156	18	13500	1,701E-05
2562	3135	2495	18	13500	2,156E-05
2936	3625	2893	18	13500	2,526E-05

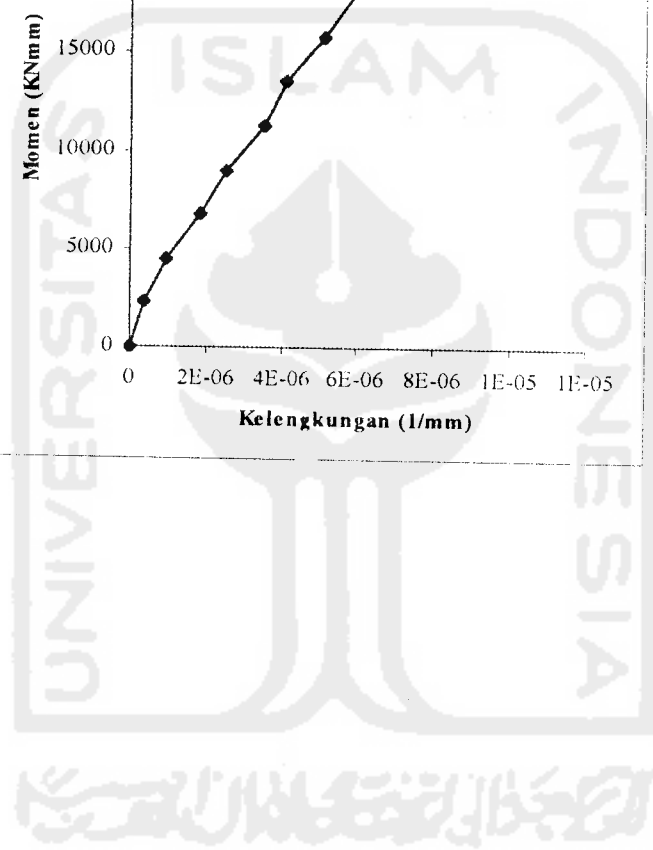
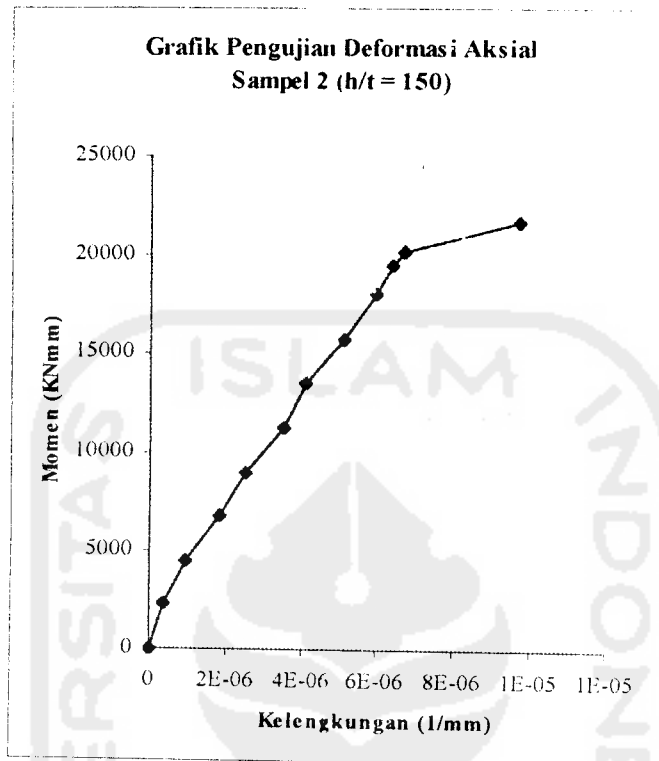




Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 2 ($h/t_w = 150$)

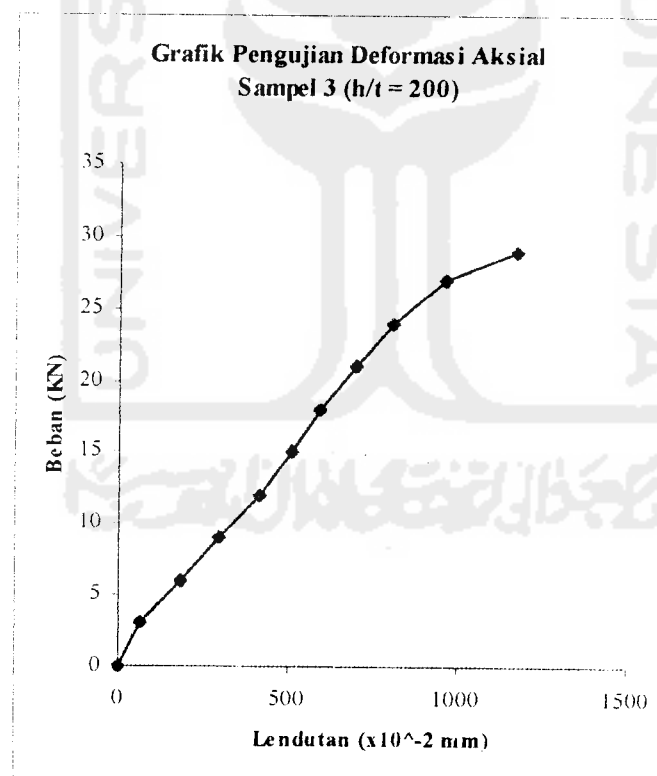
Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (KN)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
11	28	25	3	2250	3,556E-07
179	210	187	6	4500	0,096E-05
370	425	375	9	6750	1,867E-06
506	580	512	12	9000	2,524E-06
707	807	707	15	11250	3,556E-06
850	970	857	18	13500	4,142E-06
1031	1176	1033	21	15750	0,512E-05
1206	1364	1185	24	18000	5,991E-06
1321	1480	1278	26	19500	6,418E-06
1426	1589	1375	27	20250	6,702E-06
1495	1785	1528	29	21750	9,724E-06





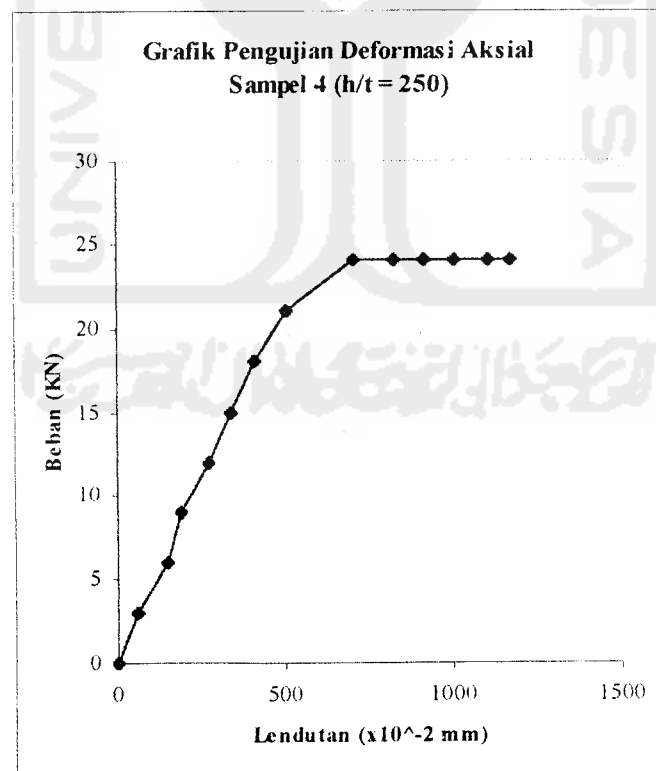
Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 3 ($h/t_w = 200$)

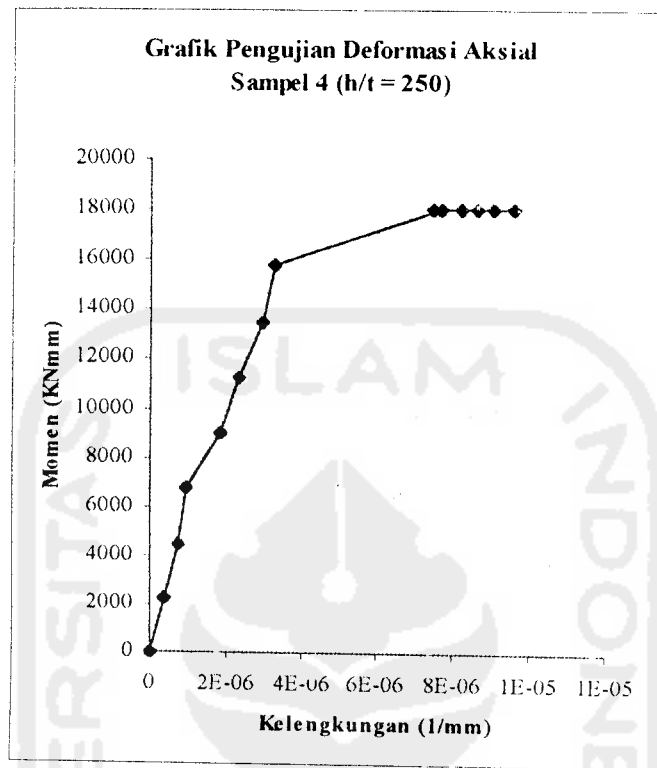
Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (KN)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
46	65	52	3	2250	5,689E-07
132	185	165	6	4500	1,298E-06
245	295	246	9	6750	0,176E-05
346	417	356	12	9000	2,347E-06
433	512	445	15	11250	2,596E-06
506	593	512	18	13500	2,987E-06
611	705	610	21	15750	0,336E-05
708	810	705	24	18000	0,368E-05
851	965	840	27	20250	4,249E-06
1075	1170	961	29	21750	5,404E-06



Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 4 ($h/t_w = 250$)

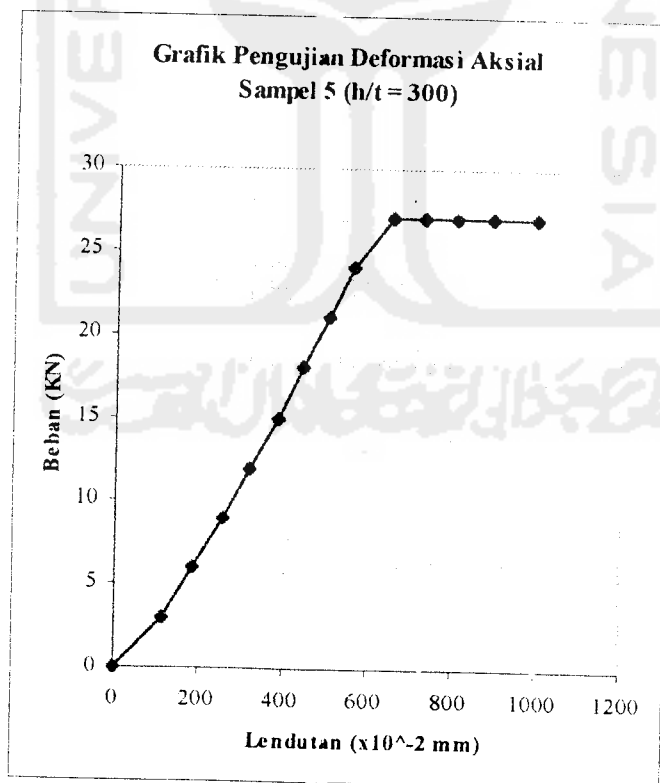
Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (KN)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
58	61	44	3	2250	3,556E-07
133	150	124	6	4500	7,644E-07
177	192	154	9	6750	9,422E-07
242	274	203	12	9000	1,831E-06
303	342	249	15	11250	2,347E-06
377	413	282	18	13500	2,969E-06
443	506	385	21	15750	3,271E-06
580	710	410	24	18000	7,644E-06
661	830	539	24	18000	8,178E-06
720	918	630	24	18000	0,864E-05
781	1008	726	24	18000	9,049E-06
846	1109	834	24	18000	9,564E-06
940	1174	990	24	18000	7,431E-06

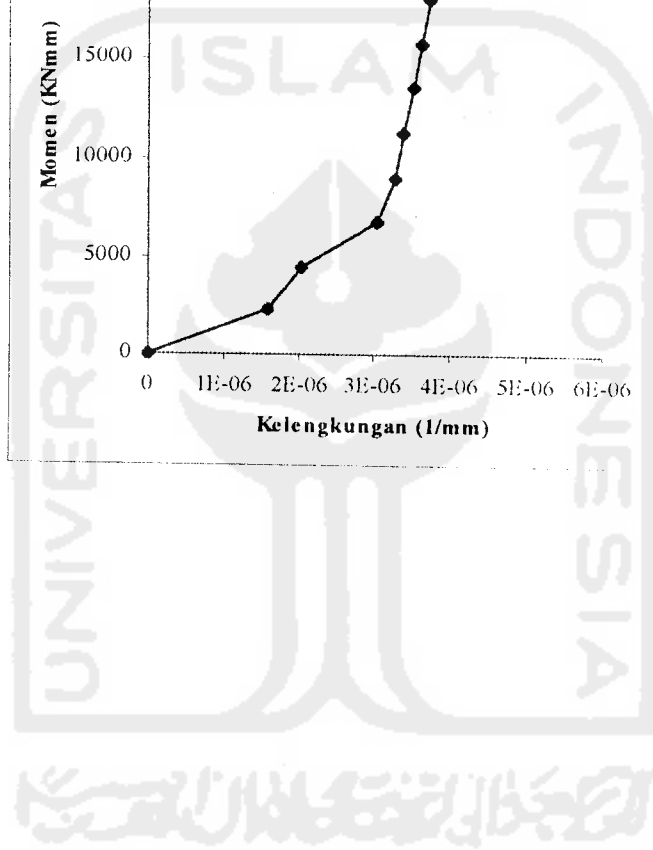
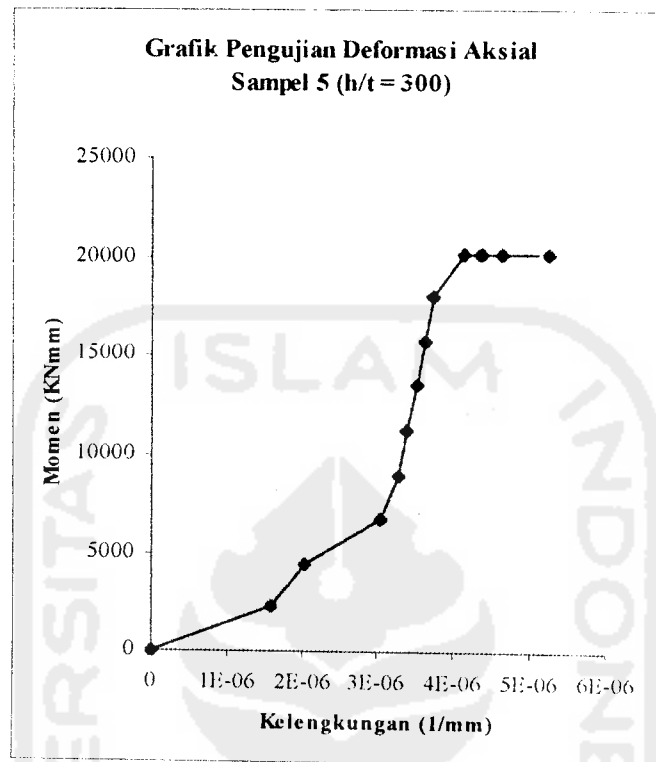




Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 5 ($h/t_w = 300$)

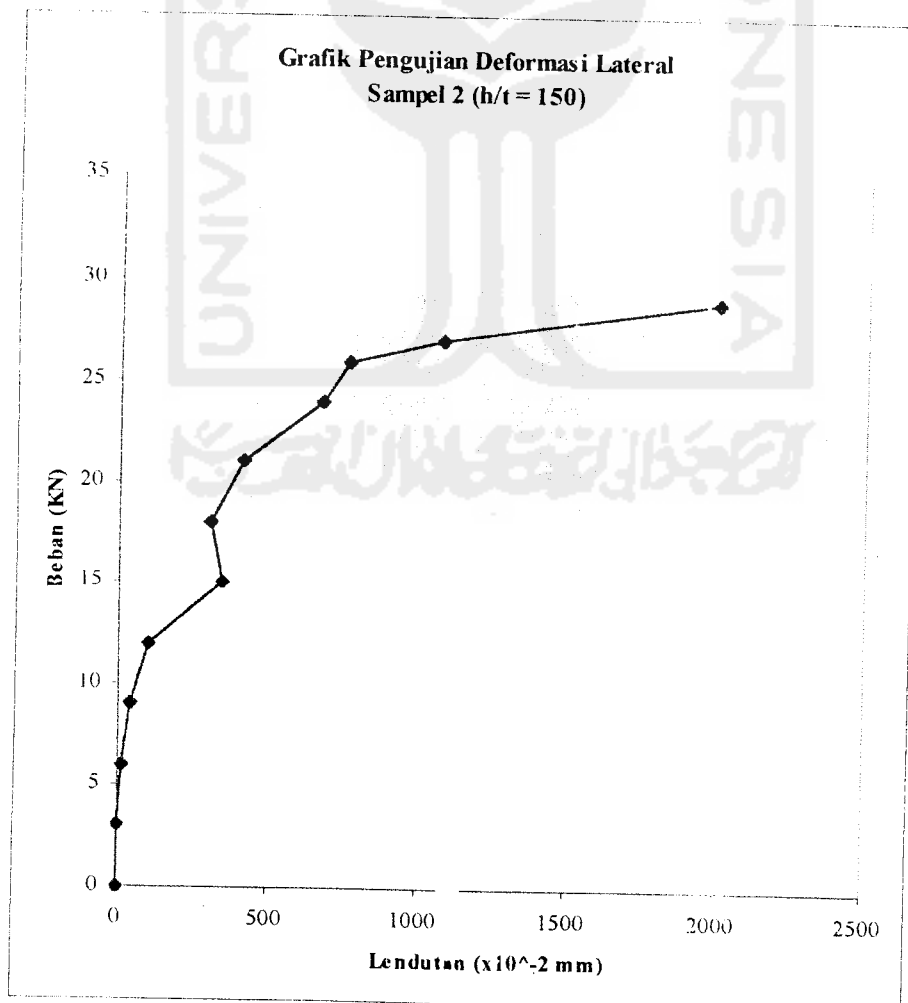
Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (KN)	Momen (KNmm)	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
41	113	96	3	2250	1,582E-06
104	185	152	6	4500	2,027E-06
149	258	196	9	6750	0,304E-05
208	320	248	12	9000	3,271E-06
274	386	308	15	11250	3,378E-06
330	443	358	18	13500	0,352E-05
393	507	418	21	15750	3,609E-06
444	563	473	24	18000	3,716E-06
513	652	559	27	20250	4,124E-06
572	728	638	27	20250	4,373E-06
618	805	748	27	20250	4,338E-06
665	892	859	27	20250	4,622E-06
728	993	963	27	20250	5,244E-06





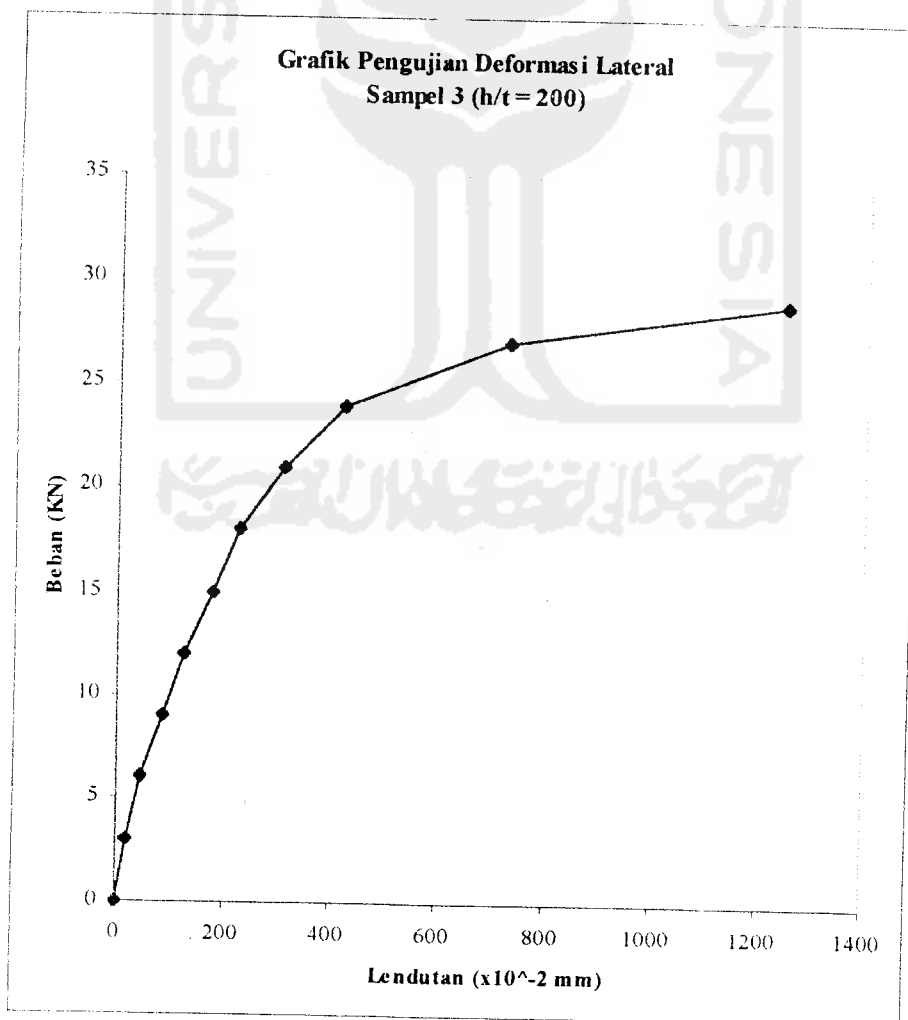
Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 2 ($h/t_w = 150$)

Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 4 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 5 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (KN)
0	0	0	0	0	0
8	-5	-9	2	0	3
-98	-74	-15	11	0	6
-49	-152	-106	40	-5	9
-113	-251	-48	98	-9	12
-154	-375	98	345	-82	15
-179	-366	229	305	-98	18
-115	-618	283	408	-122	21
-262	-627	330	675	-216	24
-308	-627	428	758	-289	26
-319	-627	395	1075	-289	27
-153	-1368	-607	2000	-289	29



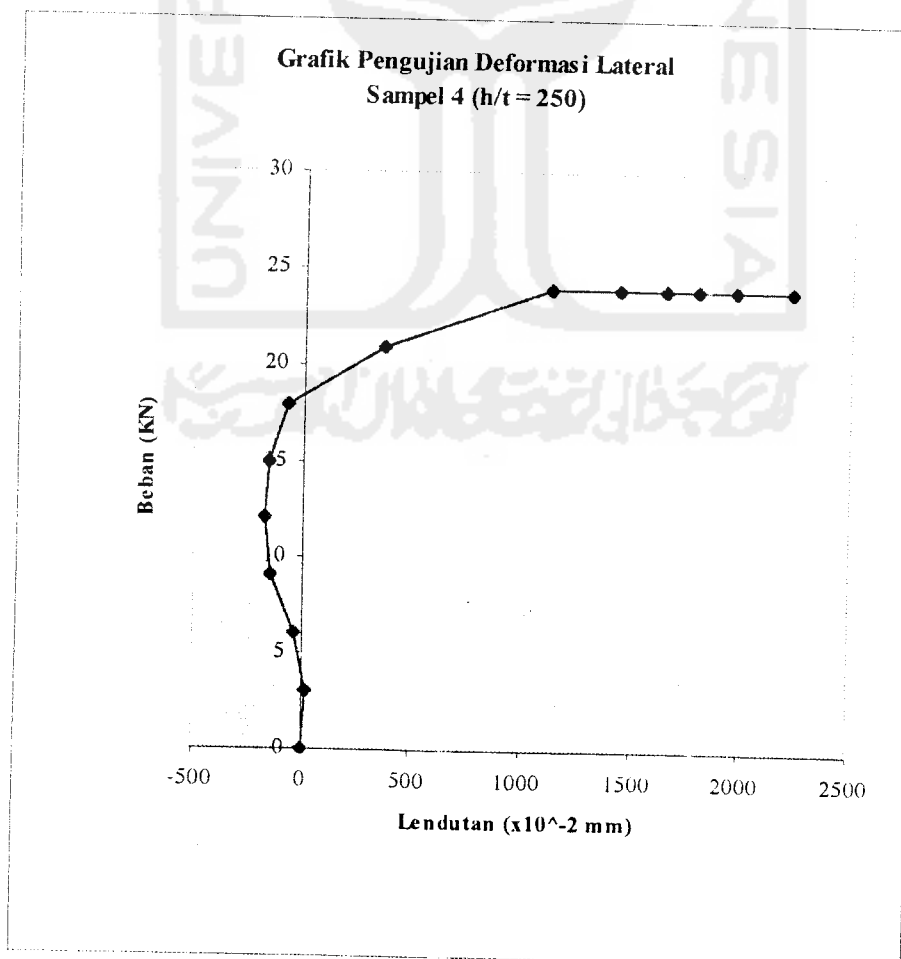
Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 3 ($h/t_w = 200$)

Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 4 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 5 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (KN)
0	0	0	0	0	0
-19	20	-499	-10	25	3
21	46	-474	0	47	6
39	86	53	31	68	9
2	126	82	185	175	12
-44	176	114	258	169	15
-95	225	113	250	155	18
-155	309	163	468	34	21
-126	422	173	532	13	24
-204	729	138	651	70	27
-725	1250	-475	-695	59	29



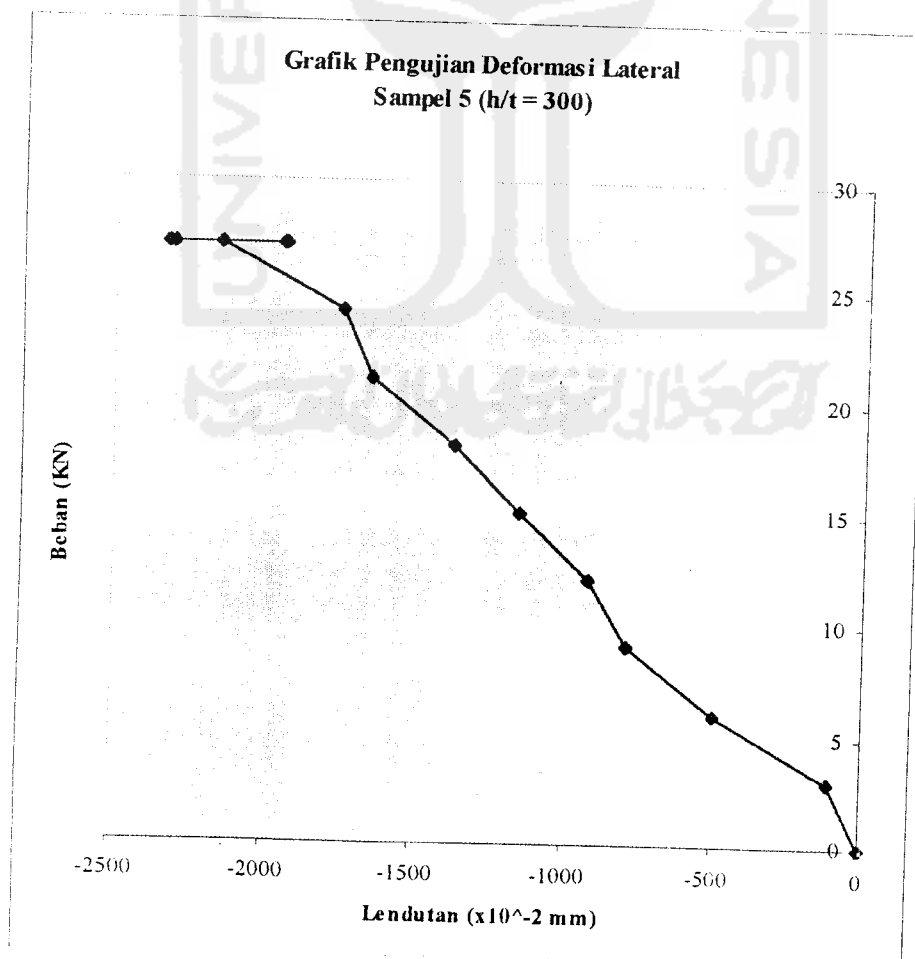
Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 4 ($h/t_w = 250$)

Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 4 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 5 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (KN)
0	0	0	0	0	0
-1	21	-144	-28	-25	3
176	-32	-388	-136	-30	6
-22	-144	-458	-170	-34	9
-22	-168	636	-261	-42	12
-21	-152	496	-395	-70	15
-21	-66	419	-485	-96	18
108	369	375	-937	-83	21
137	1130	780	-1275	-260	24
117	1440	925	-1312	-310	24
198	1646	1034	-2050	-480	24
92	1800	1145	-1610	-405	24
92	1971	1350	-1827	-415	24
86	2230	1665	-2136	-426	24



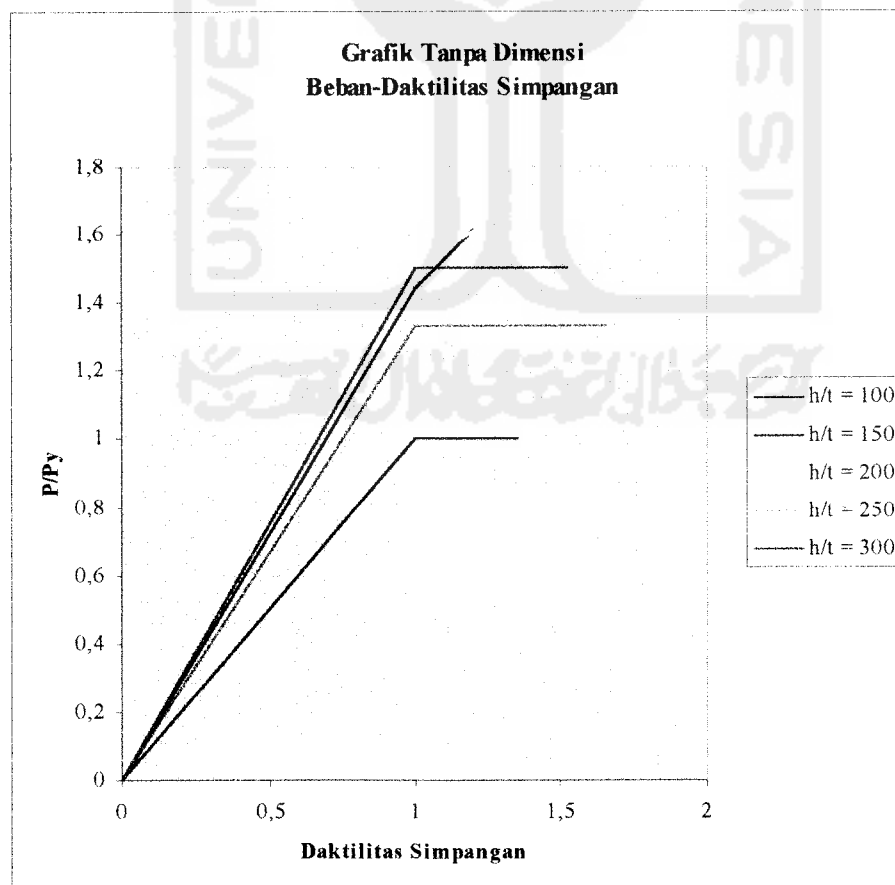
Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 5 ($h/t_w = 300$)

Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 4 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 5 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (KN)
0	0	0	0	0	0
29	-146	-105	-68	76	3
229	-205	-491	-699	78	6
245	-450	-785	-707	83	9
265	-452	-915	-450	89	12
308	-528	-1147	-505	153	15
367	-710	-1370	-661	159	18
328	-769	-1647	-1634	246	21
528	-852	-1746	-686	261	24
889	-352	-2153	-967	307	27
1008	378	-2329	-1431	468	27
1142	548	-2310	-1155	283	27
1180	-902	-1948	-1548	360	27
1074	-752	-1939	-1595	362	27



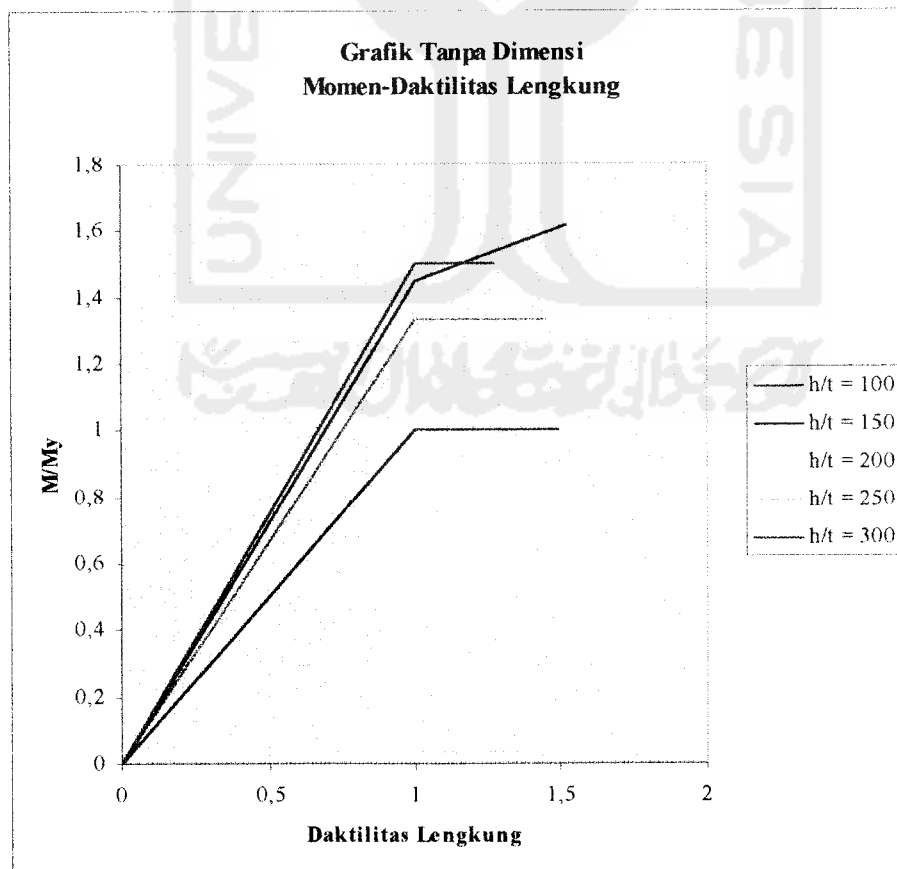
Hubungan Tanpa Dimensi Beban-Daktilitas Simpangan

P (KN)	Py (KN)	Δy ($\times 10^{-2}$ mm)	Δ_{tot} ($\times 10^{-2}$ mm)	Daktilitas Simpangan	P/Py
0	18	0	3625	0	0
18	18	3625	3625	1	1
18	18	2678	3625	1,354	1
0	18	0	1785	0	0
26	18	1785	1785	1	1,444
29	18	1480	1785	1,206	1,611
0	18	0	1170	0	0
27	18	1170	1170	1	1,5
29	18	965	1170	1,212	1,611
0	18	0	1174	0	0
24	18	1174	1174	1	1,333
24	18	710	1174	1,654	1,333
0	18	0	993	0	0
27	18	993	993	1	1,5
27	18	652	993	1,523	1,5



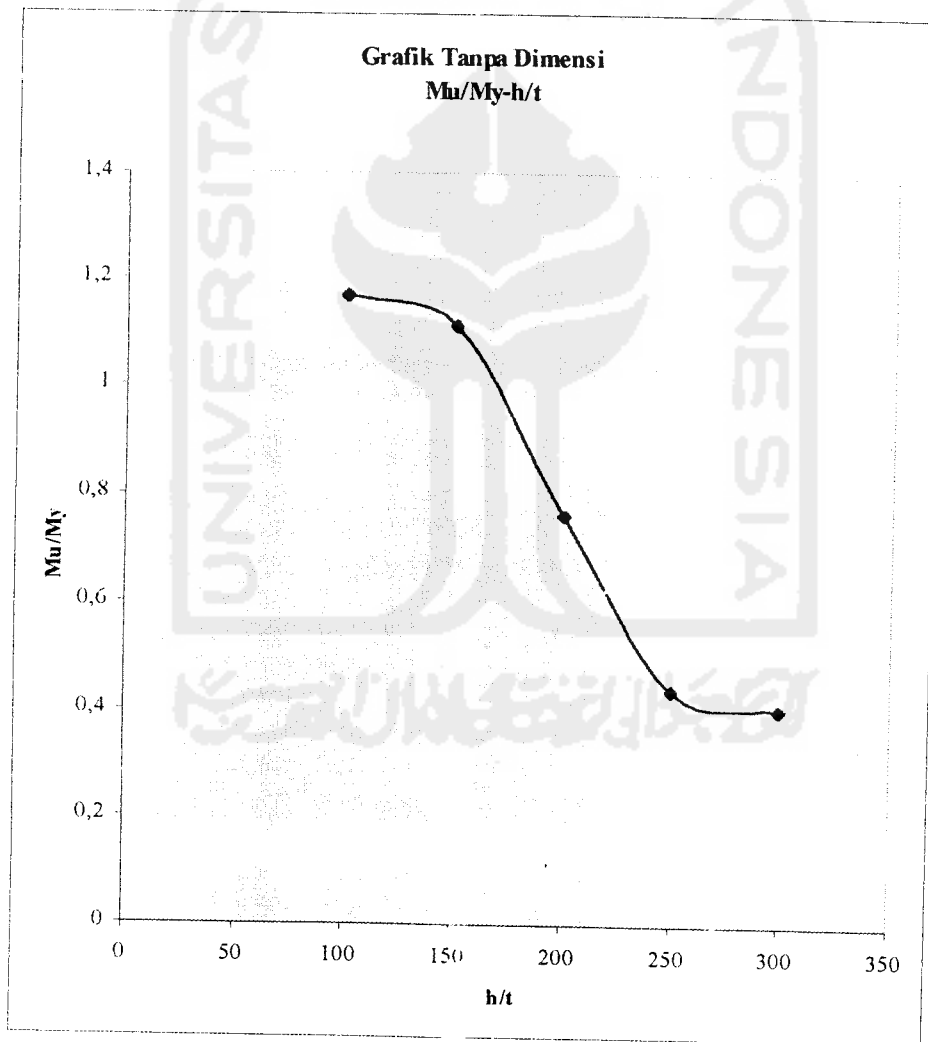
Hubungan Tanpa Dimensi Momen-Daktilitas Lengkung

M (KNmm)	My (KNmm)	Φ_y (1/mm)	Φ_{tot} (1/mm)	Daktilitas Kelengkungan	M/My
0	13500	0	0,253E-04	0	0
13500	13500	0,253E-04	0,253E-04	1	1
13500	13500	0,017E-03	0,253E-04	1,488	1
0	13500	0	0,097E-04	0	0
19500	13500	0,097E-04	0,097E-04	1	1,444
21750	13500	0,064E-04	0,097E-04	1,516	1,611
0	13500	0	0,054E-04	0	0
20250	13500	0,054E-04	0,054E-04	1	1,5
21750	13500	0,042E-04	0,054E-04	1,286	1,611
0	13500	0	0,011E-03	0	0
18000	13500	0,011E-03	0,011E-03	1	1,333
18000	13500	0,076E-04	0,011E-03	1,447	1,333
0	13500	0	0,052E-04	0	0
20250	13500	0,052E-04	0,052E-04	1	1,5
20250	13500	0,041E-04	0,052E-04	1,268	1,5



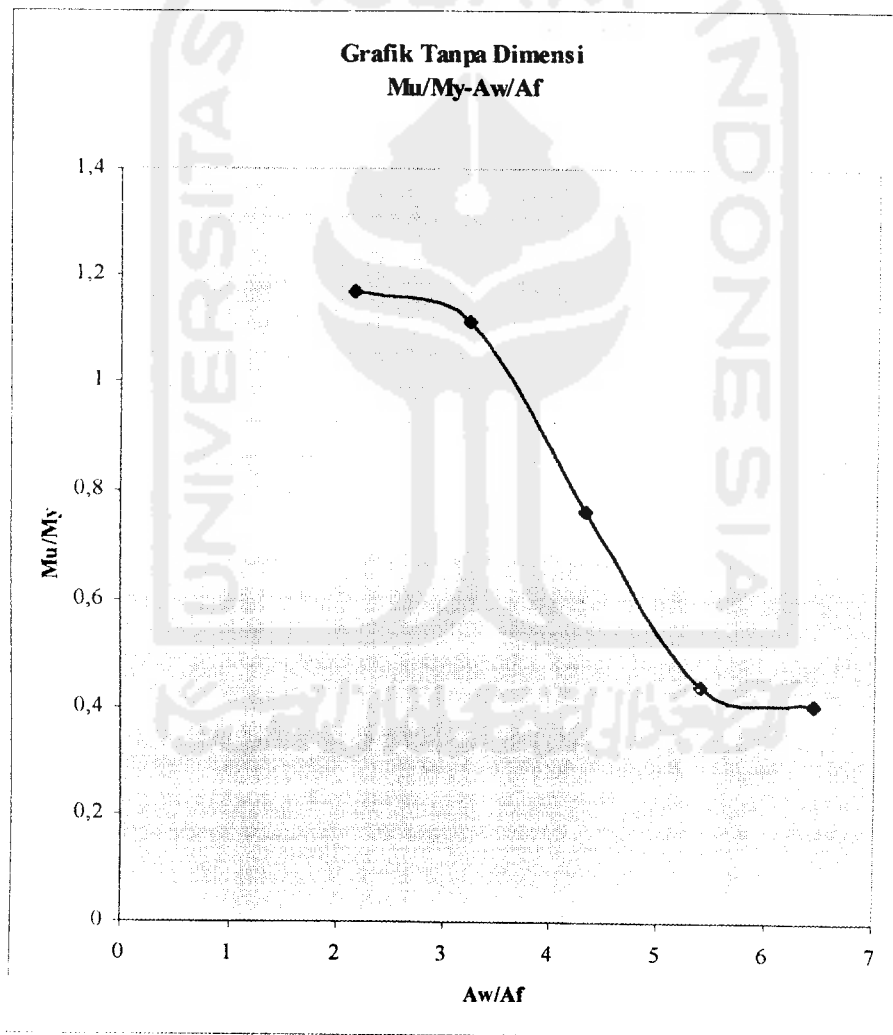
Hubungan Tanpa Dimensi $M_u/M_y - h/t_w$

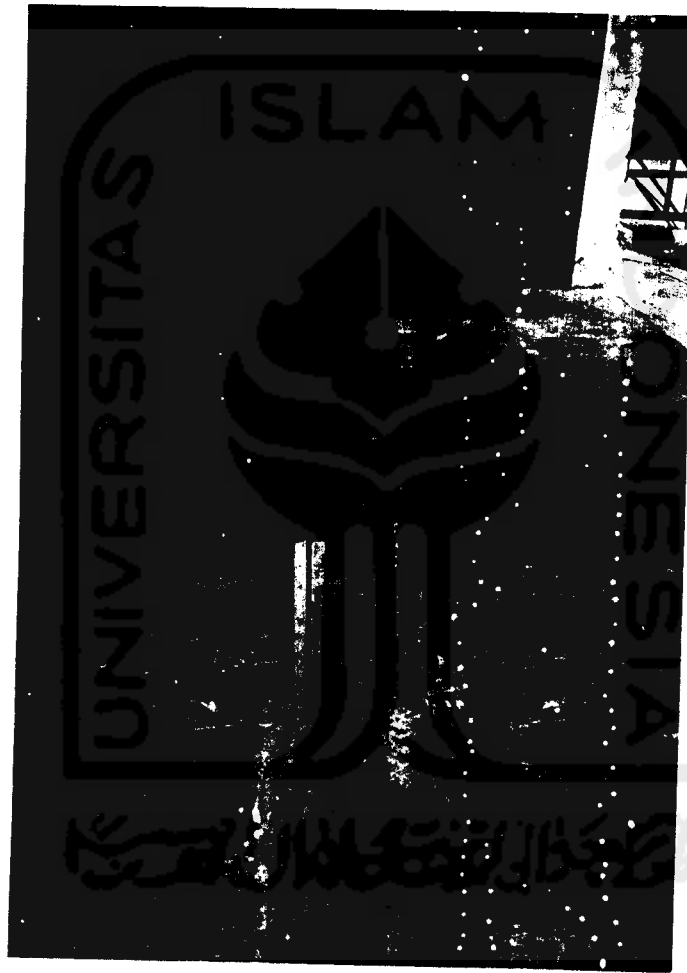
No	M_y (KNmm)	M_u (KNmm)	h/t	M_u/M_y
1	11543	13500	100	1,170
2	19504	21750	150	1,115
3	28553	21750	200	0,762
4	40807	18000	250	0,441
5	49851	20250	300	0,406



Hubungan Tanpa Dimensi $M_u/M_y - A_w/A_f$

Aw (mm ²)	Af (mm ²)	Mu (KNmm)	My (KNmm)	Aw/Af	Mu/My
400	186	13500	11543	2,151	1,170
600	186	21750	19504	3,226	1,115
800	186	21750	28553	4,301	0,762
1000	186	18000	40807	5,376	0,441
1200	186	20250	49851	6,452	0,406

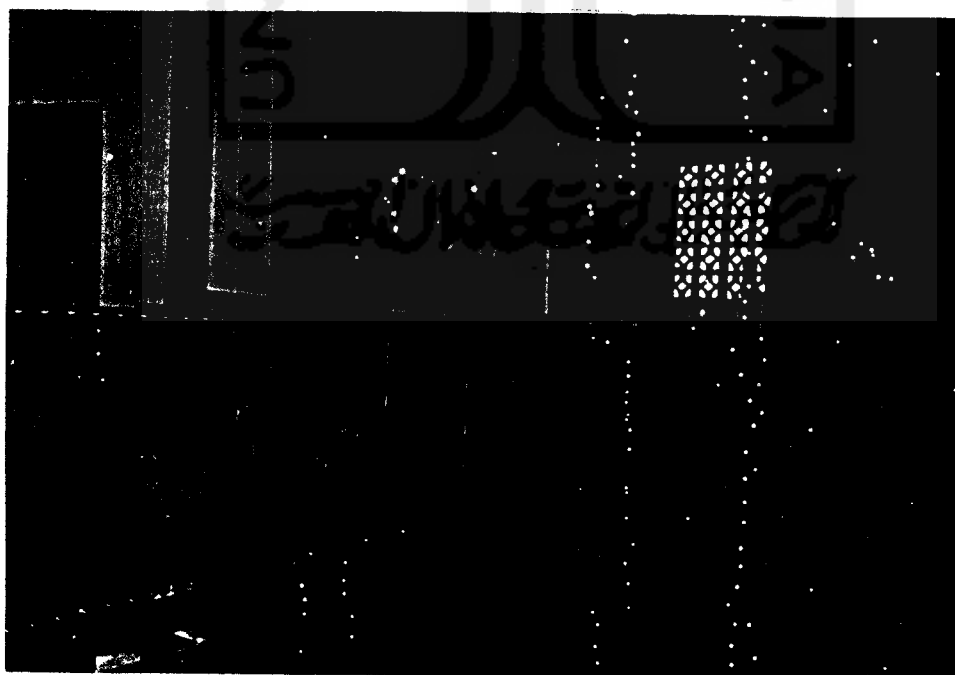




Gambar 1. Gelagar plat sebelum diuji



Gambar 2. Persiapan pengujian gelagar plat



Gambar 3. Gelagar plat siap diuji



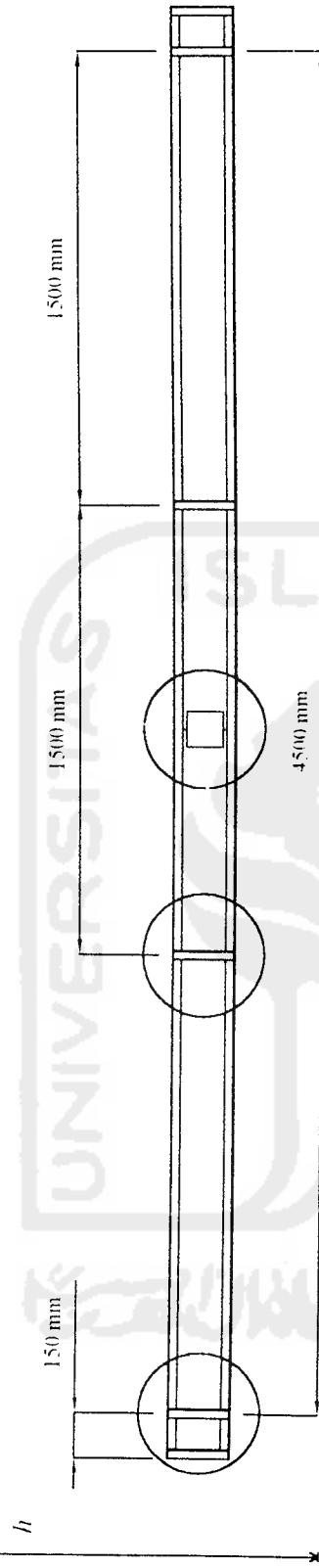
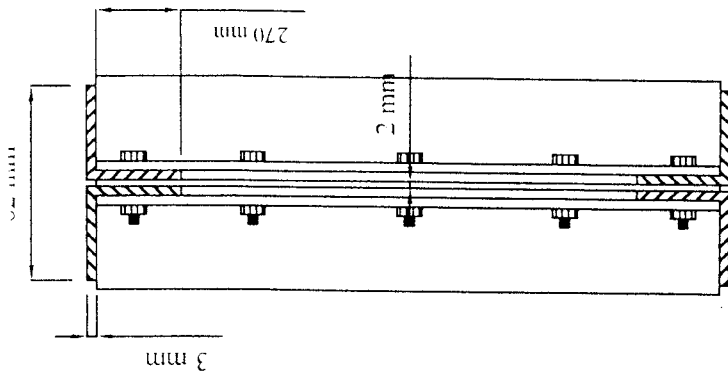
Gambar 4. Kerusakan pada gelagar plat



Gambar 5. Gelagar plat setelah diuji

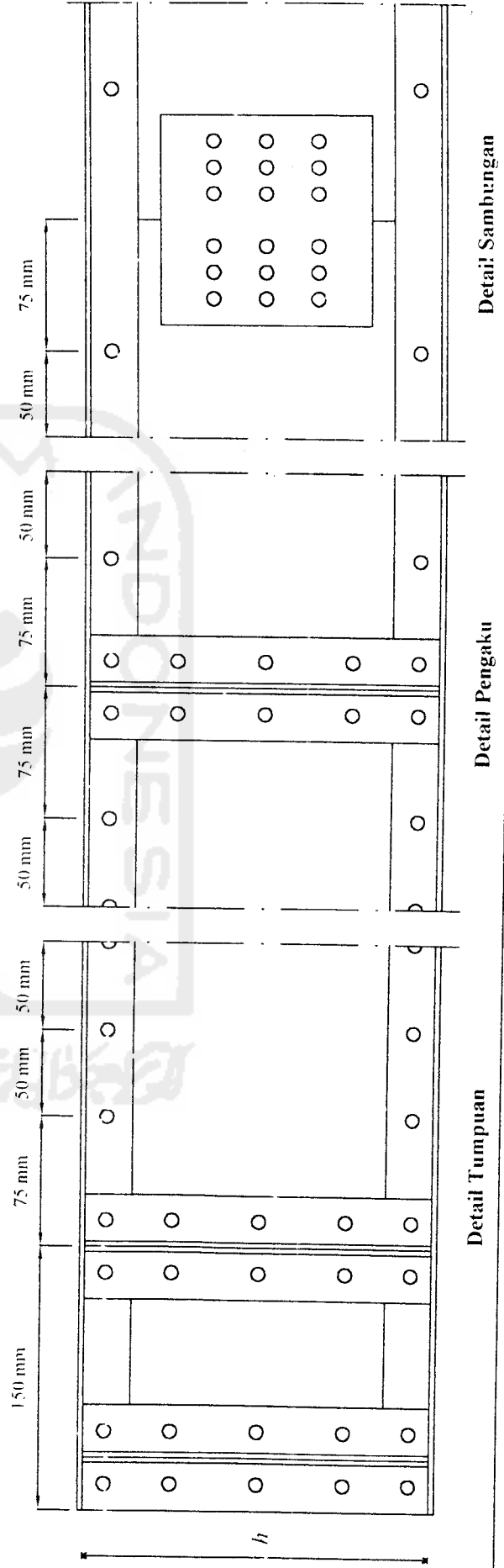
GELAGAR PLAT

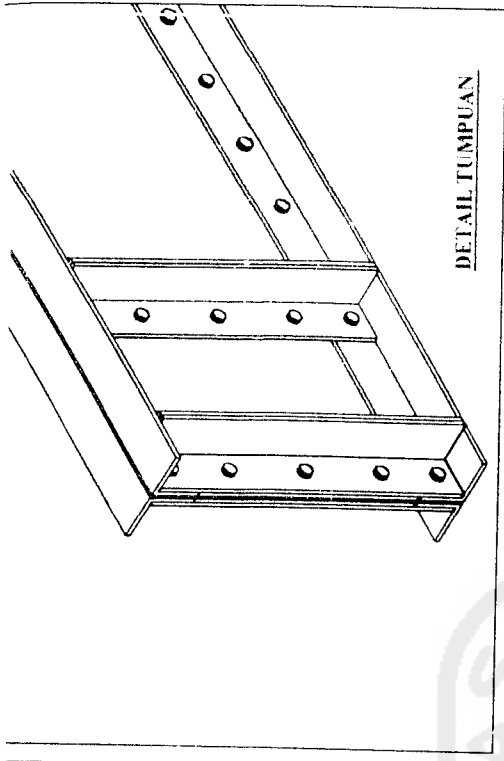
- h1 = 200 mm
- h2 = 300 mm
- h3 = 400 mm
- h4 = 500 mm
- h5 = 600 mm



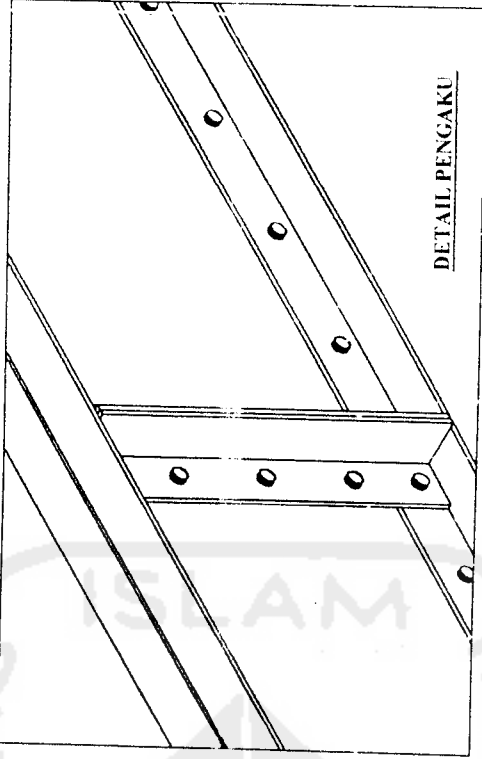
Tampang Melintang

Tampang Memanjang

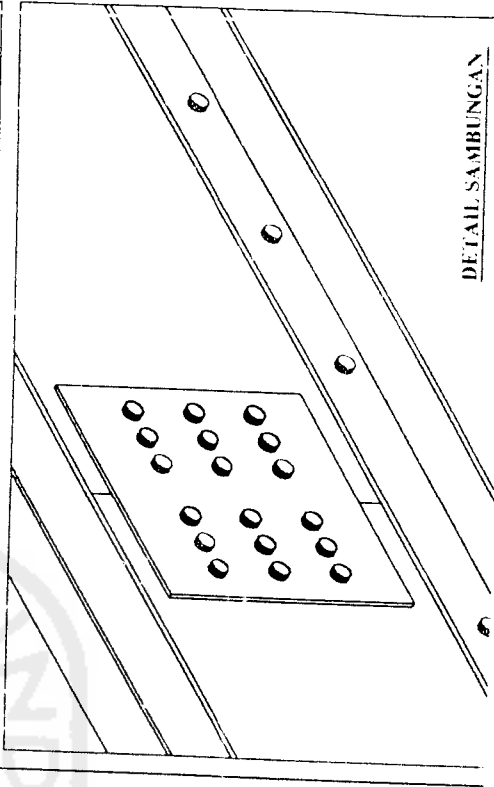




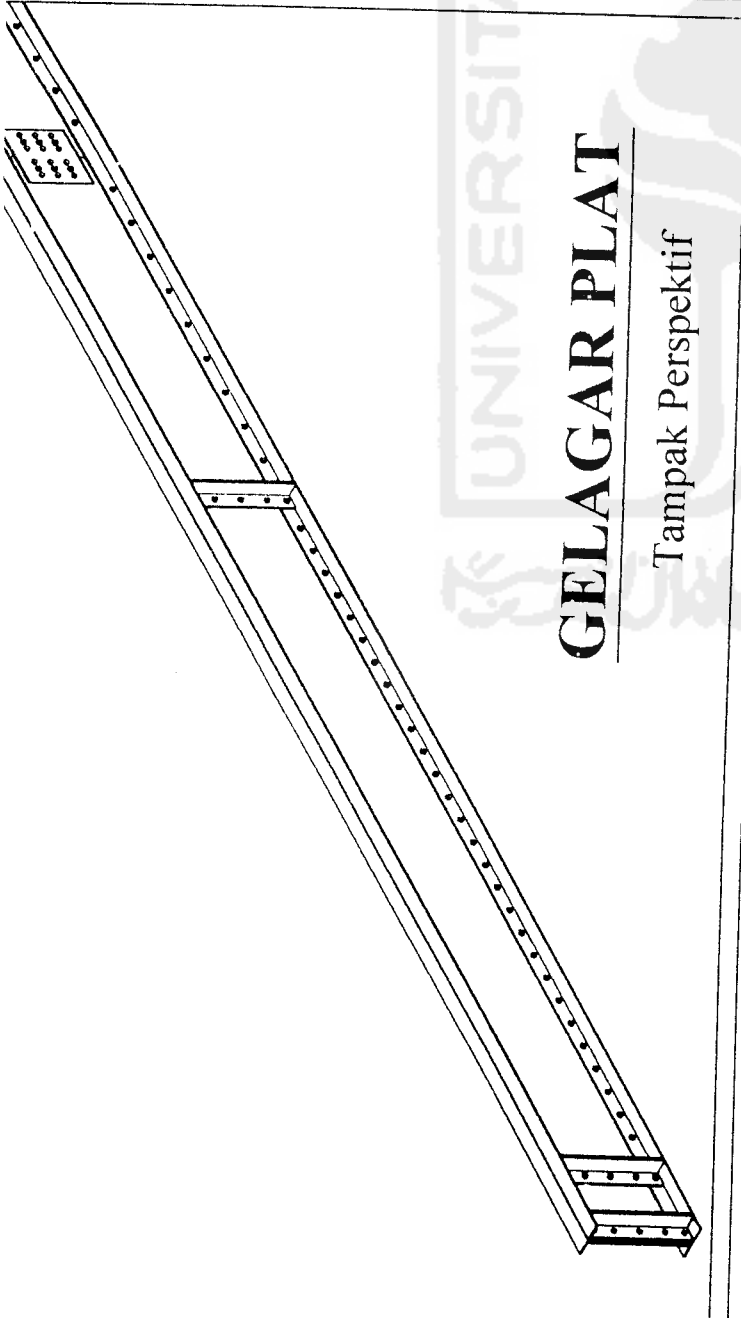
DETAIL TUMPUAN



DETAIL PENGAKU



DETAIL SAMBUNGAN



GELAGAR PLAT

Tampak Perspektif

