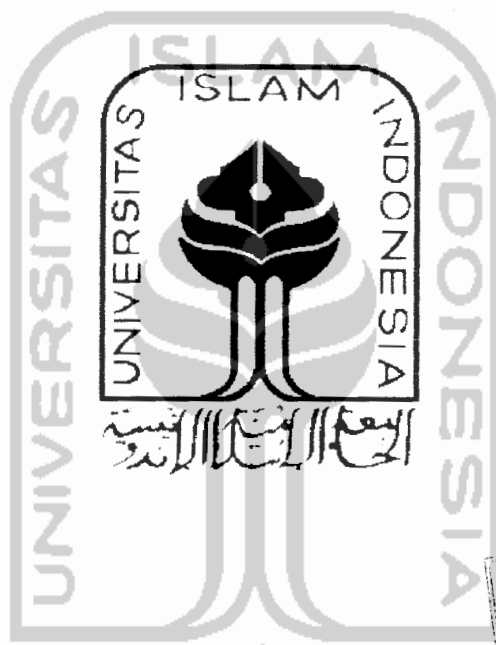
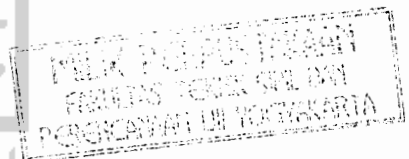


PERPUSTAKAAN FTSP UIN	
HADIR / BELI	
TGL TERIMA :	14-3-03
NO. JUDUL :	000359
NO. INV. :	5120000359001
NO. STOK :	

Tugas Akhir
STUDI EKSPERIMENTAL

PERILAKU GELAGAR PLAT DENGAN PENGAKU TRANSVERSAL DAN LONGITUDINAL



Disusun Oleh :

Yudi Mahyadi

(93310237)

Rusman Efendi Parry

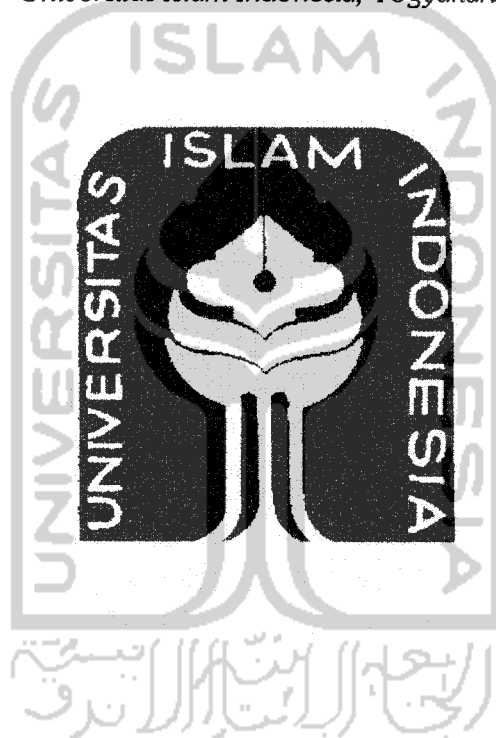
(93310255)

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

Tugas Akhir
STUDI EKSPERIMENTAL

**PERILAKU GELAGAR PLAT DENGAN PENGAKU
TRANSVERSAL DAN LONGITUDINAL**

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana (S1)
Teknik Sipil Pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta*



Disusun Oleh :

Yudi Mahyadi

(93310237)

Rusman Efendi Parry

(93310255)

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

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PERILAKU GELAGAR PLAT DENGAN PENGAKU
TRANSVERSAL DAN LONGITUDINAL**

Disusun oleh :

Nama : Yudi Mahyadi

No. Mhs : 93 310 237

Nama : Rusman Efendi Parry

No. Mhs : 93 310 255

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Fatkhurrohman NS, MT

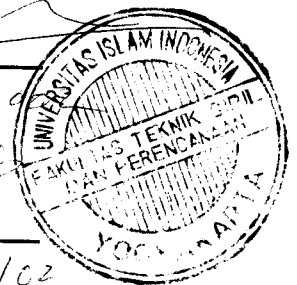
Dosen Pembimbing I

Ir. Tri Fajar Budiono, MT

Dosen Pembimbing II

Tanggal : 11/11/02

Tanggal : 11/11/02



LEMBAR PERSEMBAHAN

Telah habis kerja besar, Telah tunai kewajiban studiku

Kehidupan nyata kan menanti.....

Sembah sujud dan syukur pada-Mu ya Allah

Atas segala karunia-Mu yang tak ternilai,

Amien.....

Lika-liku kehidupan kampus, lika-liku tugas akhir ini takkan pernah usai tanpa bantuan, dukungan dan spirit dari teman-teman semua, hanya ucapan ribuan terima kasih yang dapat kubenkan.....

Akhirnya kupersembahkan semua ini untuk Ayahanda dan Ibunda tercinta.....

Ananda,

LEMBAR MOTTO

" Sungguhpun sulit, lebih baik dimulai daripada tidak sama sekali " (Penulis)

**" KATAKANLAH: " APAKAH SAMA ORANG-ORANG YANG
MENGETAHUI DENGAN ORANG-ORANG YANG TIDAK MENGETAHUI? "
SEJUNGGUHNYA ORANG YANG BERAKALLAH YANG DAPAT
MENERIMA PELAJARAN. " (Q.S AZ-ZUMAR:9)**

" ...Allah meninggikan orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan, beberapa derajat... " (Q.S Al Mujaadalah : 11)



KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr, Wb

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

Tugas akhir ini dengan judul “ *Perilaku Gelagar Plat Dengan Pengaku Transversal dan Longitudinal* “ diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat sarjana (S-1) Teknik Sipil pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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 segala hormat dan kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu, yaitu :

1. **Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT**, selaku Dosen Pembimbing I dan juga selaku Kepala Laboratorium Mekanika Rekayasa, FTSP, UII, yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis, memberikan ide-idenya dari awal hingga selesainya tugas akhir ini,

2. **Bapak Ir. Tri Fajar Budiono, MT**, selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis,
3. **Bapak DR. Ir. H. Luthfi Hasan, MS**, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
4. **Bapak Ir. H. Widodo, MSCE**, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
5. Staff dosen dan karyawan jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
6. Ayah dan Ibu tercinta yang telah membimbing sejak kecil dan memberi dorongan baik moral maupun materiil, selama pelaksanaan pendidikan, penelitian dan penulisan tugas akhir ini,
7. Special to Sonya, thank's for everything that you've done to me. I can't give anything but Dan terima kasih untuk segalanya. It's nice being yours. Masih panjang jalan yang akan kita lalui.....
8. Buat Penjol sebagai partner sejawatku, yang membantu dan berdiskusi bersama dalam menyelesaikan tugas akhir ini,
9. Teman-teman kost Geenat, Athank, Farid, Sadir, Firman, Fani, Deni, Jaya, Najib, Henki, Eko, Mida, Arif, Benkbenk, Ade, Fajar, Ijul
10. Teman-teman seperjuangan Wishnu, Doni, dan teman-teman yang tidak sempat penulis sebutkan terimakasih atas dukungannya.....

Penulis sangat menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan yang dikarenakan keterbatasan penulis sebagai manusia, untuk itu kritik dan saran membangun sangat diharapkan agar dapat

menjadi masukan dalam penyusunan penulisan dimasa-masa mendatang. Dan semoga tugas akhir ini dapat menjadi masukan bagi pembaca khususnya dalam bidang keilmuan teknik sipil dan dapat menjadi referensi untuk penelitian lanjutan.

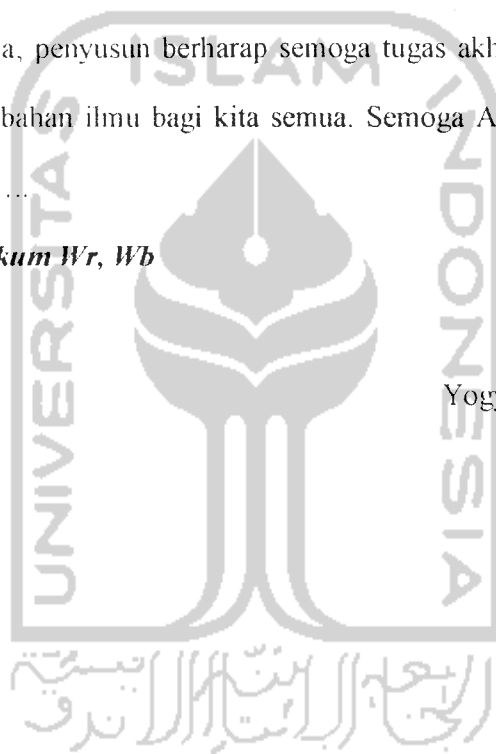
Tidak ada yang dapat kami berikan selain ucapan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan, semoga dapat diterima sebagai amal baik disisi Allah SWT.

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

Wassalamu'alaikum Wr, Wb

Yogyakarta, September 2002

Penulis



DAFTAR ISI

Halaman Judul	I
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	II
Halaman Persembahan	III
Halaman Motto	IV
Kata Pengantar	V
Daftar Isi	VIII
Daftar Simbol	XII
Daftar Gambar	XIV
Daftar Tabel	XVI
Daftar Lampiran	XVII
Abstraksi	XVIII
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Keaslian Penelitian	3
1.6. Batasan Masalah	4
1.7. Lokasi Penelitian	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Literatur Yang Menunjang Penelitian	5
2.2. Penelitian-Penelitian Sebelumnya	8

BAB III LANDASAN TEORI

3.1. Umum	9
3.1.1. Gelagar Plat	9
3.1.2. Lentur dan Geser Pada Gelagar Plat	10
1. Lentur Pada Gelagar Plat	10
2. Geser Pada Gelagar Plat	12
3.2. Stabilitas Plat	14
3.2.1. Tekuk Pada Plat Sayap	14
3.2.2. Tekuk Vertikal Pada Plat Sayap	20
3.2.3. Tekuk Pada Plat Badan	24
3.2.3.1. Tekuk Lokal Pada Plat Badan	24
3.2.3.2. Lentur Pada Bidang Badan	25
3.2.3.3. Tekuk Elastis Akibat Geser Murni	27
3.3. Kekuatan Lentur Batas Pada Gelagar	31
3.4. Kapasitas Geser Batas Pada Gelagar	33
3.5. Gelagar Plat Dengan Pengaku Longitudinal	35
3.6. Fungsi Pengaku Transversal dan Longitudinal	37
3.7. Kapasitas Geser Batas Akibat Kekuatan Tekuk dan Purna Tekuk	38
3.8. Hubungan Beban-Lendutan	39
3.9. Hubungan Momen-Kelengkungan	41
3.10. Nilai Koefisien Tekuk (k) Berdasarkan Hubungan Momen Dengan Tegangan Kritis (f_{cr})	46

BAB IV	PELAKSANAAN PENELITIAN	
4.1.	Metode Penelitian	48
4.2.	Bahan Penelitian	49
4.3.	Alat Yang Digunakan	49
4.4.	Model Benda Uji	53
4.5.	Pengujian Benda Uji	55
 BAB V	 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
5.1.	Hasil Penelitian	57
5.1.1.	Hubungan Beban-Lendutan	57
1.	Hubungan Beban-Lendutan Teoritis	57
2.	Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian	58
3.	Grafik Hubungan Beban-Lendutan	59
4.	Analisa Data Hubungan Beban-Lendutan	59
5.1.2.	Hubungan Momen-Kelengkungan	61
1.	Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis	61
2.	Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Penelitian	61
3.	Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan	62
5.1.3.	Hubungan Aspect Ratio (a/h) dengan Nilai Koefisien Tekuk (k)	63
1.	Analisa Data Hubungan Aspect Ratio (a/h) dengan Nilai Koefisien Tekuk (k)	63

5.1.4	Nilai Koefisien Tekuk (k) Berdasarkan Hubungan Momen Dengan Tegangan Kritis (F_{cr})	64
1.	Analisa Data Nilai Koefisien Tekuk (k) Berdasarkan Hubungan Momen Dengan Tegangan Kritis (F_{cr})	65
5.1.5	Analisa Kerusakan Benda Uji	66
5.2.	Pembahasan	66
5.2.1.	Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Beban-Lendutan	66
5.2.2.	Kuat Lentur Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Momen-Kelengkungan	68
5.2.3	Kuat Geser Gelagar Plat Ditinjau Dari Hubungan Aspect Ratio (a/h) dan Nilai Koefisien Tekuk (k)	70
5.2.4	Nilai Koefisien Tekuk (k) Plat Sayap Dan Badan Berdasarkan Hubungan Momen Dengan Tegangan Kritis (F_{cr})	71

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1.	Kesimpulan	73
6.2.	Saran	74

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR SIMBOL

A_w	=	luas badan
a	=	jarak antar pengaku
a_f	=	luas brutto sebuah sayap
b_f	=	lebarsayap
C_v	=	τ_{cr} / τ_y = stabilitas elastis (perbandingan antara tegangan geser pada saat tertekuk dengan tegangan leleh geser)
d	=	tinggi gelagar plat
E	=	modulus elastisitas
F_b	=	tegangan lentur ijin
F_{cr}	=	tegangan geser kritis tekuk elastis
F_s	=	gaya pada pengaku yang dicapai pada kekuatan geser batas
F_v	=	tegangan lentur ijin
F_y	=	tegangan leleh baja
f_b	=	tegangan lentur
f_c	=	tegangan tekan
f_v	=	tegangan geser nominal
h	=	tinggi badan gelagar plat
I	=	momen inersia penampang
I_s	=	momen inersia pengaku
k	=	koefisien tekuk plat
L	=	panjang bentang
M	=	momen beban kerja
M_n	=	momen nominal

M_p = momen plastis
 M_u = kapasitas momen batas gelagar
 m = jarak pengaku horizontal
 P = beban balok
 Q = momen statis pada penampang
 S = modulus penampang (momen perlawanan)
 S_x = modulus tampang sumbu x
 T = gaya tarik diagonal
 t_f = tebal sayap
 t_w = tebal badan
 V = gaya geser vertikal pada suatu penampang
 V_{cr} = kekuatan tekuk pada aksi medan tarik
 V_{tr} = kekuatan purna tekuk pada aksi medan tarik
 V_u = kekuatan geser batas
 z = modulus plastis
 Δ = defleksi pada balok
 Φ = kelengkungan
 ϵ_f = regangan pada sayap
 ϵ_x = regangan pada garis netral
 λ = rasio lebar dan ketebalan
 λ = rasio lebar dan ketebalan
 μ = angka poisson
 ρ = jari-jari kelengkungan
 σ_t = tegangan daerah tarik
 τ_{cr} = tegangan tekuk elastis suatu plat
 τ_y = tegangan leleh geser

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 3.1 Penampang Gelagar Plat I Dengan Pengaku Transversal	10
Gambar 3.2 Balok Statis Tertentu Dengan Beban Terdistribusi Merata	11
Gambar 3.3 Tegangan Geser	13
Gambar 3.4 Perilaku Elemen Sayap	18
Gambar 3.5 Plat Yang Ditekan Merata	18
Gambar 3.6 Koefisien Tekuk Elastis Untuk Tekuk Pada Plat Segi Empat Datar	19
Gambar 3.7 Gaya Sayap Akibat Lengkungan Gelagar	20
Gambar 3.8 Pengaruh Komponen Gaya Sayap Yang Tegak Lurus Plat Sayap	21
Gambar 3.9 Pengaruh Tegangan Residu	23
Gambar 3.10 Tekuk Horisontal Pada Badan (jepit-jepit)	24
Gambar 3.11 Tekuk Vertikal Pada Badan (bebas-bebas)	25
Gambar 3.12 Koefisien Tekuk Plat Yang Mengalami Lentur Murni	26
Gambar 3.13 Dua Keadaan Dari Jarak Pengaku Transversal	28
Gambar 3.14 Tekuk Plat Yang Mengalami Geser Murni	30
Gambar 3.15 Kekuatan Lentur Gelagar Yang Dipengaruhi Oleh Tegangan Lentur	32
Gambar 3.16 Kapasitas Geser Yang Tersedia Dengan Menyertakan Kekuatan Purna Tekuk	33
Gambar 3.17 Aksi Medan Tarik	34
Gambar 3.18 Gelagar Plat Dengan Pengaku Transversal Dan Longitudinal	35
Gambar 3.19 Gelagar Plat Yang Mengalami Reduksi a/h	36
Gambar 3.20 Lendutan Balok	39
Gambar 3.21 Diagram Momen	39
Gambar 3.22 Diagram Geser	39
Gambar 3.23 Hubungan Beban-Lendutan Pada Balok	40
Gambar 3.24 Deformasi Segmen Balok Dalam Lenturan	41
Gambar 3.25 Deformasi Transversal	43
Gambar 3.26 Grafik Momen-Kelengkungan	46

Gambar 3.27 Metode Pembebanan Pada Pengujian Balok Gelagar	46
Gambar 3.28 Distribusi Tegangan Pada Balok Gelagar	46
Gambar 4.1 Flowcart Metode Penelitian	48
Gambar 4.2 Loading Frame	50
Gambar 4.3 Dial Gauge	51
Gambar 4.4 Hidraulic Jack	52
Gambar 4.5 Dukungan Sendi Dan Rol	52
Gambar 4.6 Model Benda Uji	53
Gambar 4.7 Perletakan Benda Uji	56
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian Dan Teoritis	60
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Penelitian Dan Teoritis	62
Gambar 5.3 Hubungan Koefisien Tekuk Dengan Tegangan Kritis	63
Gambar 5.4 Hubungan Koefisien Tekuk (k) Dengan Tegangan Kritis (P_{cr}) Plat Sayap	64
Gambar 5.5 Hubungan Koefisien Tekuk (k) Dengan Tegangan Kritis (P_{cr}) Plat Badan	65

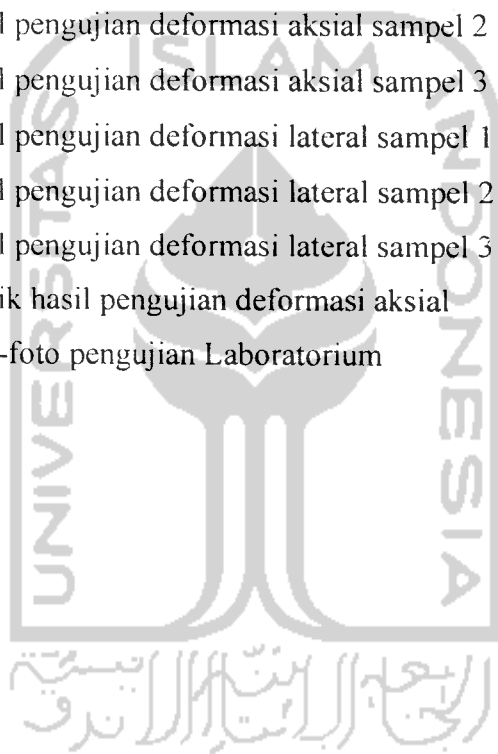
DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Secara Teoritis	Hal 57
Tabel 5.2 Perhitungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian	58
Tabel 5.3 Kekuatan Maksimum Gelagar Plat Dengan Berbagai Variasi	59
Tabel 5.4 Analisa Kekakuan Dari Data Hubungan Beban-Lendutan	60
Tabel 5.5 Analisa Kekakuan Dari Data Hubungan Momen-Kelengkungan	63
Tabel 5.6 Analisa Tegangan Kritis (τ_{cr}), Hubungan Aspect Ratio (a/h) Dan Koefisien tekuk (k)	64
Tabel 5.7 Analisa Koefisien Tekuk (k) Plat Sayap Berdasarkan Hubungan Momen Dan Tegangan Kritis (f'_{cr})	65
Tabel 5.8 Analisa Koefisien Tekuk (k) Plat Badan Berdasarkan Hubungan Momen Dan Tegangan Kritis (f'_{cr})	66



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Kartu peserta tugas akhir
- Lampiran 2 Perhitungan benda uji
- Lampiran 3 Hasil pengujian deformasi aksial sampel 1
- Lampiran 4 Hasil pengujian deformasi aksial sampel 2
- Lampiran 5 Hasil pengujian deformasi aksial sampel 3
- Lampiran 6 Hasil pengujian deformasi lateral sampel 1
- Lampiran 7 Hasil pengujian deformasi lateral sampel 2
- Lampiran 8 Hasil pengujian deformasi lateral sampel 3
- Lampiran 9 Grafik hasil pengujian deformasi aksial
- Lampiran 10 Foto-foto pengujian Laboratorium



INTISARI

Gelagar plat yang pada umumnya, tersusun dari dua plat sayap (*flens*) yang dihubungkan secara menerus terhadap plat badan (*web*) yang relatif langsing dengan memakai paku keling, baut atau dilas, sehingga membentuk penampang profil I. Gelagar plat mempunyai Momen Inersia yang cukup besar sehingga memenuhi kapasitas lentur yang relatif besar, juga mempunyai rasio kelangsingan elemen (h/t_w) yang cukup besar, sehingga tegangan kritis lentur (F_{cr}) dan tegangan kritis geser (τ_{cr}) pada plat badan gelagar relatif rendah. Hal ini dapat menyebabkan kegagalan dini (*Premature Failure*) pada struktur gelagar, yaitu terjadinya tekuk (*buckling*) pada plat badan. Dengan memberi pengaku transversal dan pengaku longitudinal yang dapat mengecilkan *rasio aspect* (a/h) dan menaikkan nilai k (koefisien tekuk) badan gelagar plat, diharapkan tegangan kritis lentur (F_{cr}) dan tegangan kritis geser (τ_{cr}) meningkat dan dapat menekan bahaya tekuk (*buckling*) pada plat badan dan memperbesar daya dukung plat *web* terhadap kombinasi geser dan momen serta meningkatkan kekuatan puna tekuk (V_{tp}) gelagar plat.

Penelitian dilakukan untuk mengetahui kuat geser dan kuat lentur gelagar plat yang diberi pengaku transversal dan longitudinal yang dibandingkan dengan gelagar plat tanpa pengaku dan gelagar plat yang diberi pengaku transversal saja, dengan $h/t_w = 300$, untuk meningkatkan nilai koefisien tekuk (k) geser, untuk mendapatkan grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) dan kekakuan gelagar (K) serta mendapatkan grafik hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) dan faktor kekakuan lentur (EI).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa : 1) Pemberian pengaku vertikal dan horisontal pada badan gelagar sangat berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan gelagar plat, yaitu semakin besar kekuatan yang mampu ditahan oleh gelagar plat dan kekakuan pada gelagar plat juga meningkat, serta semakin besar momen yang dapat ditahan. 2) Grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima oleh gelagar, lendutan (Δ) gelagar plat semakin besar. 3) Grafik hubungan antara momen-kelengkungan ($M-\Phi$) menunjukkan bahwa semakin besar momen yang terjadi, maka faktor kekakuan lentur (EI) gelagar plat semakin besar. 4) Grafik hubungan koefisien kekakuan (k) dengan tegangan kritis geser (τ_{cr}) terlihat bahwa semakin besar nilai k , maka tegangan kritis geser (τ_{cr}) semakin besar.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Gelagar plat (*plate girders*) adalah suatu konstruksi baja yang lazim digunakan pada struktur jembatan atau gedung. Gelagar plat penampang I terdiri dari dua plat sayap (*flens*) yang dihubungkan secara menerus dengan plat badan (*web*) yang relatif langsing menggunakan paku keling, baut atau dilas. Gelagar plat didesain dan dipabrikasi untuk memenuhi kebutuhan yang tidak dapat dipenuhi oleh penampang giras panas biasa .

Gelagar plat penampangnya tinggi, digunakan dipakai sebagai struktur lentur bentang panjang, yang memikul balok-balok lain yang lebih kecil, hal ini dikarenakan gelagar plat merupakan balok yang kedalamannya (d) atau tinggi keseluruhannya relatif besar. Dengan demikian gelagar plat mempunyai Momen Inersia yang cukup besar sehingga memenuhi kapasitas lentur yang relatif besar. Disisi lain gelagar plat mempunyai rasio kelangsingan elemen (h/t_w) yang cukup besar, sehingga tegangan kritis lentur (F_{cr}) dan tegangan kritis geser (τ_{cr}) pada plat badan gelagar relatif rendah. Hal ini dapat menyebabkan kegagalan dini (*Premature Failure*), pada struktur gelagar, yaitu terjadi tekuk (*buckling*) pada plat badan. Kegagalan

dini (*premature failure*) ini dapat dihindari dengan memberi pengaku transversal yang disusun pada plat badan, yang dapat mengecilkan nilai a (jarak antara pengaku) dan pengaku longitudinal yang dapat mengecilkan nilai h (tinggi badan gelagar) pada badan gelagar plat, karena dengan memberi kedua pengaku tersebut diharapkan tegangan kritis lentur (F_{cr}) dan tegangan kritis geser (τ_{cr}) meningkat sehingga dapat menekan bahaya tekuk (*buckling*) pada plat badan dan memperbesar daya dukung plat *web* terhadap kombinasi geser dan momen serta meningkatkan kekuatan purna tekuk (V_{up}) gelagar plat.

Melihat permasalahan yang menarik diatas, maka timbul pemikiran untuk melakukan penelitian (*study eksperimental*) mengenai perilaku gelagar plat dengan pengaku transversal dan longitudinal.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, gelagar plat (*girder plate*) diberi pengaku transversal dan longitudinal, sehingga diharapkan meningkatkan kapasitas lentur dan geser gelagar plat, yang merupakan orientasi dalam penelitian ini.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan untuk mengetahui kuat geser dan kuat lentur gelagar plat yang diberi pengaku transversal dan pengaku longitudinal yang

dibandingkan dengan gelagar plat tanpa pengaku dan gelagar plat yang diberi pengaku transversal saja, dengan $h/t_w = 300$

2. Untuk memendapatkan nilai koefisien tekuk (k) geser
3. Untuk mendapatkan grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$), serta mendapatkan grafik hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$)

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diambil dari penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui kemampuan gelagar plat yang diberi pengaku transversal dan longitudinal dengan rasio tinggi dan tebal plat badan yang konstan, $h/t_w = 300$ terhadap geser dan lentur yang terjadi
2. Sebagai salah satu masukan bagi pembaca, sehingga menambah pengetahuan yang bermanfaat dalam perencanaan bangunan struktur baja.

1.5 Keaslian Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian terhadap gelagar plat yang dilas secara menerus dari elemen-elemen plat baja yang membentuk penampang lintang profil I dengan rasio tinggi dan tebal plat badan h/t_w konstan dan menggunakan pengaku transversal dan longitudinal pada badan gelagar plat tersebut. Kasus seperti ini pernah diteliti dilingkungan FTSP UII, oleh *Ade M Hidayat* dan *Rudi Hadisuparto* tetapi memakai elemen-elemen plat dari kayu dan tanpa pengaku longitudinal. Oleh karena itu penelitian gelagar plat dari baja dengan pengaku transversal dan

longitudinal sepengetahuan kami, belum pernah dilakukan dilingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

1.6 Batasan Masalah

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

1. Gelagar plat tumpuan sederhana (*sendi-rol*) dengan beban terpaut pada sepertiga bentang (*the third point loading*)
2. Penampang gelagar plat penampang konstan (h/t_w dan b/t_f konstan)
3. Alat sambung yang digunakan alat sambung las.

1.7 Lokasi Penelitian

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Literatur Yang Menunjang Penelitian

Bleich, 1952 mengemukakan koefisien tekuk (k) merupakan fungsi dari jenis distribusi tegangan, kondisi tumpuan tepi dan aspect ratio (*rasio segi*) a/b , pendapat yang sama dikemukakan oleh (*Salmon dan Johnson, 1986*), (*Bowles, 1985*) dan (*Spiegel, 1991*)

Bruneau, 1960, mengemukakan bahwa kuat lentur profil I dipengaruhi instabilitas atau tekuk, meliputi tekuk lokal pada sayap, tekuk lokal pada badan (*web local buckling*) dan tekuk puntir lateral (*lateral personal buckling*), tekuk lokal tergantung kepada rasio kelangsingan ($\alpha = a/b$), yaitu rasio terhadap lebar dan tinggi.

Sifat paling menonjol pada gelagar plat adalah penggunaan pengaku transversal dengan jarak yang teratur. Pengaku memperbesar kekuatan badan balok untuk memikul geser. Kekuatan tekuk elastis atau tak elastis suatu badan balok gelagar plat dalam geser tidak mewakili kekuatan maksimum dalam geser. (*Basler, 1961*), (*Salmon dan Johnson, 1986*)

Pengaku vertikal umumnya diperlukan bila plat badan sangat tipis, perbandingan h/t_w besar dan tegangan geser badan relatif tinggi. Pengaku tersebut secara efektif akan mereduksi perbandingan a/h dan akan menambah kapasitas geser

terhadap tekukan geser badan tersebut. Pengaku hampir selalu diperlukan oleh spesifikasi dibawah beban yang terkonsentrasi dan pada reaksi gelagar plat, tanpa memperdulikan intensitas geser. Persyaratan pengaku sepanjang bentangan bergantung pada tegangan geser dan pembagian badan.(*Bowles, 1985*)

Gelagar plat adalah suatu balok yang dibentuk dari elemen-elemen plat untuk mendapatkan susunan bahan yang lebih efisien dari pada yang mungkin diperoleh dengan balok tempa.(*Salmon dan Johnson, 1986*).

Sayap didesain untuk menahan momen lentur, badan direncanakan untuk menahan gaya geser dan pengaku yang diletakkan antara sayap adalah untuk mencegah tekuk pada badan dan untuk memindahkan gaya pada tumpuan.(*Faherty dan Williamson, 1989*)

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

1. Tekuk akibat lentur pada bidang badan balok akan mengurangi efisiensi badan balok itu untuk memikul bagian elastis dari momen lentur,
2. Tekuk sayap lokal dalam arah vertikal karena kurangnya kekakuan badan balok untuk mencegah terjadinya tekuk sedemikian rupa,
3. Tekuk karena geser.(*Salmon dan Johnson, 1990*)

Menurut *Spiegel, 1991*, bentuk girder plat yang paling umum dewasa ini didesain terdiri atas dua flens yang dilas pada plat *web* yang relatif tipis.

Parameter stabilitas untuk badan gelagar adalah jarak antar pengaku dan kelangsingan elemen. Tekuk akibat geser dapat dihindari bila parameter-parameter

stabilitas ini dapat dipertahankan cukup rendah atau tegangan geser dapat dikatakan dibawah tegangan tekuk kritis. (*Salmon dan Johnson, 1991*)

Gelagar plat dengan pengaku yang jaraknya direncanakan dengan tepat memiliki kekakuan (setelah ketidakstabilan pada badan terjadi) yang hampir mirip seperti rangka batang, dengan badan sebagai pemikul gaya tarik diagonal dan pengaku sebagai pemikul gaya tekan. Kelakuan seperti rangka batang ini disebut *aksi medan tarik (tension field)* (*Salmon dan Johnson, 1991*)

Menurut *Salmon dan Johnson, 1991* pengaku horisontal atau pengaku memanjang tidak seefektif seperti pengaku transversal, pengaku memanjang sering diperlukan untuk alasan estetika. Jika plat diperkuat oleh pengaku memanjang, nilai k akan jauh lebih besar dari pada kasus yang tidak diperkuat.

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

Badan gelagar plat pada dasarnya tidak bisa runtuh bila sayap dan pengaku yang mengelilinginya juga tidak runtuh. Tekuk badan menimbulkan redistribusi tegangan. Bila sayap dan pengaku mampu menahan bagian beban yang bertambah besar, gelagar tidak akan runtuh. (*Salmon dan Johnson, 1991*)

2.2 Penelitian-Penelitian Sebelumnya

1. Penelitian yang dilakukan oleh saudara *Hidayat dan Hadisuparto, 2000* yang berjudul "*Perilaku Balok Papan Profil I Dengan Pengaku*"

penelitian mereka menguji tentang perilaku balok papan yang dibebani momen dengan cara memberi beban transversal pada balok papan tersebut, dengan menggunakan pengaku vertikal yang orientasi penelitiannya terhadap kuat lentur. Hasil eksperimen mereka menunjukkan bahwa semakin pendek jarak antar pengaku, kapasitas lentur, kekakuan dan daktilitas balok semakin besar.

2. Penelitian yang dilakukan oleh saudara **Prasetyo dan Pambudi, 2002** dengan judul penelitian "*Perilaku Gelagar Plat Dengan Variasi Rasio Tinggi Terhadap Tebal Badan*". Hasil dari pengujian ini menyimpulkan bahwa rasio tinggi terhadap tebal plat badan (h/t_w) yang ideal bagi kapasitas lentur gelagar plat adalah $h/t_w=150$ dan $h/t_w=200$

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

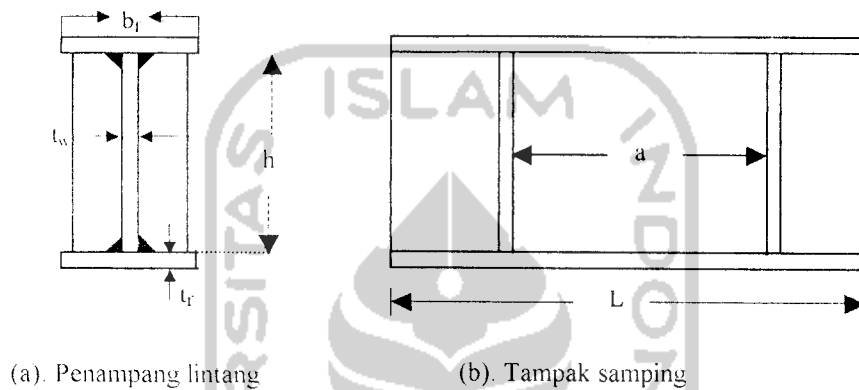
3.1.1 Gelagar Plat

Gelagar plat adalah balok yang dibentuk dari elemen-elemen plat baja untuk mencapai kekuatan beban yang lebih efisien dibanding dengan yang bisa diperoleh dari balok profil. Gelagar plat penampang I umumnya dilas di bengkel terdiri dari dua plat sayap (*flens*) yang dihubungkan secara menerus dengan plat badan (*web*) agar menjadi satu kesatuan. *(Salmon dan Johnson 1991)*

Kedua plat sayap diproporsikan untuk memikul momen, plat badan diproporsikan untuk menahan gaya geser. Selain itu badan berfungsi menghubungkan sayap yang satu dengan yang lain secara menerus dengan alat sambung paku keling, baut atau las, sehingga menjadi satu kesatuan. Badan juga menerima sebagian kecil dari momen.

Tebal plat badan (t_w) dan tinggi plat badan (h) gelagar plat biasanya konstan, kecuali pada daerah yang momennya besar, tinggi plat badan h didesain lebih tinggi untuk menahan momen. Gelagar plat yang penampangnya tinggi yang terbuat dari plat tipis dengan pengaku, lebih disukai daripada penampang tebal. Namun demikian penampang jadi relatif langsing sehingga rawan terhadap tekuk

lokal yang dapat menyebabkan kegagalan dini (*premature faillure*). Untuk mendapatkan desain yang ekonomis, perbandingan tinggi dan panjang bentang suatu gelagar adalah pada selang $1/12$ sampai $1/8$ (*Spiegel dan Limbrunner, 1991*).

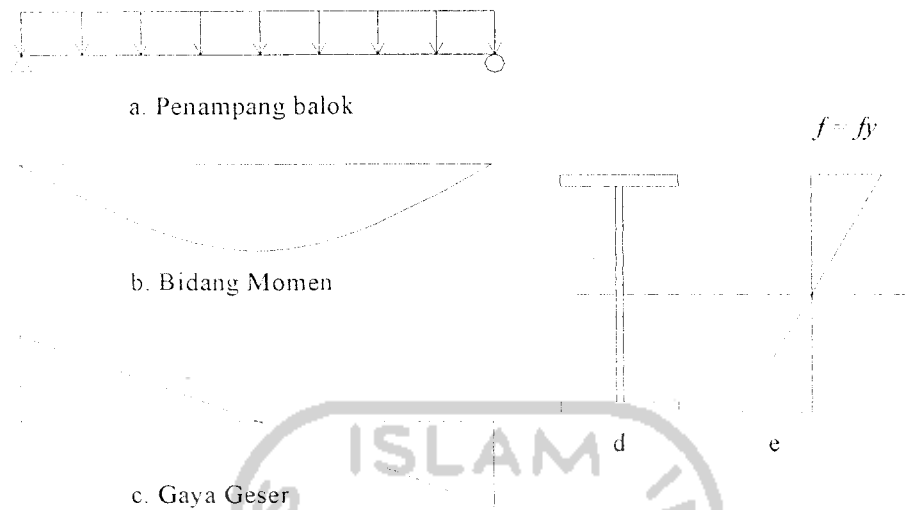


Gambar 3.1 Penampang gelagar I dengan pengaku transversal

3.1.2 Lentur dan Geser Pada Gelagar Plat

1. Lentur pada gelagar plat

Bowles (1980) mengemukakan gelagar plat yang menerima lentur banyak dijumpai sebagai balok. Tegangan-tegangan lentur yang terjadi pada komponen struktur yang menerima lentur ditunjukkan pada gambar 3.2. Gelagar bertumpuan sederhana menerima beban terdistribusi (Gambar 3.2a), 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). Dalam keadaan penampang masih elastis, distribusi tegangan lentur pada penampang balok linear. Tegangan pada serat yang letaknya y dari sumbu netral adalah :

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

dengan :

M = momen pada penampang yang ditinjau

y = jarak serat yang ditinjau dari sumbu netral

I = momen inersia penampang

Tampak bahwa tegangan maksimum akibat momen terjadi pada serat terluar (gambar 3.2e) 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 :

$$f_b = \pm \frac{M.c}{I} \quad (3.2)$$

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

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

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.

2. Geser pada gelagar plat

Menurut *Spiegel dan Limbrunner, 1991* pada kondisi pembebanan yang sangat berat, semua bentang gelagar akan mengalami geser selain momen lentur. Dalam proses normal desain, balok gelagar dipilih berdasarkan momen yang terjadi, kemudian dicek terhadap geser, sehingga geser sangat jarang menentukan dalam mendesain suatu gelagar atau balok.

Dari ilmu kekuatan bahan tegangan geser yang terjadi pada gelagar atau balok dapat ditentukan dari rumus geser umum:

$$f_v = \frac{VQ}{Ib} \quad (3.4)$$

dengan :

f_v = tegangan geser

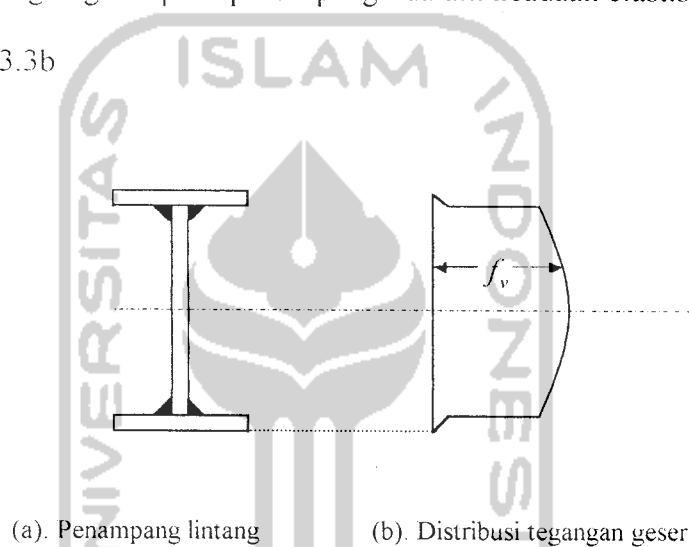
V = gaya geser vertikal pada penampang

Q = momen statis pada penampang

I = momen inersia penampang

h = lebar penampang

Distribusi tegangan geser pada penampang I dalam keadaan elastis ditunjukkan pada gambar 3.3b



Gambar 3.3 Tegangan geser

Dari gambar 3.3b terlihat bahwa tegangan maks terjadi pada sumbu netral dan tegangan geser yang terjadi pada sayap (*flens*) sangat kecil. Meskipun luas sayap penampang A_f relatif besar, badan (*web*) akan memikul sebagian besar dari gaya geser pada penampang gelagar. Karena alasan inilah AISC memperbolehkan pendekatan dengan cara menggunakan tegangan badan (*web*) rata-rata untuk distribusi tegangan geser, yaitu :

$$f_v = \frac{V}{dt_w} \quad (3.5)$$

dengan :

$f_v =$ tegangan geser

$V =$ gaya geser vertikal pada penampang

$d =$ tinggi gelagar

$t_w =$ tebal badan (*web*) gelagar

3.2 Stabilitas Plat

Semua penampang kolom maupun balok tersusun dari elemen-elemen plat. Tekuk setempat (*lokal*) dapat terjadi lebih dahulu pada salah satu elemen plat pembentuk penampang. Tekuk setempat menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat memikul lagi bagian beban yang harus diterimanya.

3.2.1 Tekuk Pada Plat Sayap

Salmon dan Johnson mengemukakan Persamaan Diferensial untuk lenturan plat homogen adalah :

$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = q \quad (3.6)$$

dimana $D = Et^3/[12(1-\mu^2)]$ (kekakuan plat)

Disamping suku umum q yang menyatakan komponen beban transversal akibat lenturan plat, komponen transversal dari gaya tekan N_x ketika plat melendut ke posisi tertekuk perlu ditinjau. Penjumlahan gaya-gaya dalam arah z pada elemen plat memberikan

$$\begin{aligned}
N_x dy \frac{\partial w}{\partial x} - \left(N_x + \frac{\partial N_x}{\partial x} dx \right) dy \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx \right) &= q dx dy \\
- \left(N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial N_x}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial N_x}{\partial x} dx \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) dy dx &= q dx dy
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Dengan mengabaikan suku berordo tinggi yang sangat kecil diperoleh

$$q = -N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \tag{3.8}$$

Persamaan diferensial, Persamaan 3.6 menjadi

$$\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = - \frac{N_x}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \tag{3.9}$$

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

$$w = X(x) Y(y) \tag{3.10}$$

Misalkan $X(x) = \sin \frac{m\pi x}{a}$

Dimana fungsi X memenuhi syarat lendutan nol dan momen nol tumpuan sederhana di $x = 0$ dan $x = a$. Substitusi Persamaan 3.9 ke Persamaan 3.10 dan eliminasi suku umum $\sin m\pi x/a$ menjadikan

$$\begin{aligned}
\left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 Y - 2 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \frac{d^2 Y}{dy^2} + \frac{d^4 Y}{dy^4} &= + \frac{N_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 Y \frac{d^4 Y}{dy^4} \\
- 2 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \frac{d^2 Y}{dy^2} + \left[\left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 - \frac{N_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \right] Y &= 0
\end{aligned} \tag{3.11}$$

Penyelesaian Persamaan 3.11 dapat dinyatakan dalam bentuk

$$Y = C_1 \sin \alpha u + C_2 \cos \alpha y + C_3 \sin \beta y + C_4 \cos \beta y \quad (3.12)$$

dengan

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sqrt{\frac{N_x}{D}\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}} \quad \text{dan} \quad \beta = \sqrt{-\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \sqrt{\frac{N_x}{D}\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}}$$

Jadi, persamaan lendutan plat keseluruhan adalah:

$$w = \left(\sin \frac{m\pi x}{a} \right) (C_1 \sinh \alpha y + C_2 \cosh \alpha y + C_3 \sin \beta y + C_4 \cos \beta y) \quad (3.13)$$

yang harus memenuhi kondisi tepi (*syarat batas*). Bila sumbu x dianggap sebagai sumbu simetri plat atau kondisi tumpuan sepanjang dua tepi yang sejajar arah pembebanan, maka koefisien fungsi ganjil C_1 dan C_3 harus nol. Jadi,

$$w = (C_2 \cosh \alpha y + C_4 \cos \beta y) \sin \frac{m\pi x}{a} \quad (3.14)$$

Untuk penyelesaian selain $C_2 = C_4 = 0$ determinan koefisien-koefisien harus = 0,

Jadi

$$(\alpha^2 + \beta^2) \cosh \alpha \frac{b}{a} \cos \beta \frac{b}{a} = 0 \quad (3.15)$$

Karena $\alpha^2 \neq -\beta^2$ kecuali $N_x = 0$ dan $\cos \alpha(b/2) > 1$. Persamaan 3.15 hanya dapat dipenuhi bila:

$$\cos \beta \frac{b}{2} = 0$$

Dengan demikian,

$$\beta \frac{b}{2} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \text{ dan seterusnya}$$

Pemakaian harga $\beta(b/2)$ terkecil dan substitusi kepersamaan untuk β dibawah persamaan 3.12 menghasilkan:

$$\begin{aligned}
\frac{b}{2} \sqrt{-\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2} + \sqrt{\frac{N_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2} &= \frac{\pi}{2} \\
\Rightarrow \frac{N_x}{D} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 &= \left[\frac{\pi^2}{b^2} + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \right]^2 \\
\Rightarrow N_x &= D \left[\frac{\pi^2 a}{b^2 m \pi} + \frac{m\pi}{a} \right]^2 \\
\Rightarrow N_x &= \frac{D\pi^2}{b^2} \left[\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2
\end{aligned} \tag{3.16}$$

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

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \tag{3.17}$$

dimana

$$k = (a/(mb) + (mb/a))^2 \tag{3.18}$$

Persamaan 3.17 juga merupakan tegangan tekuk elastis secara teoritis untuk plat.

dengan :

k = koefisien tekuk

$\pi = 3,14$

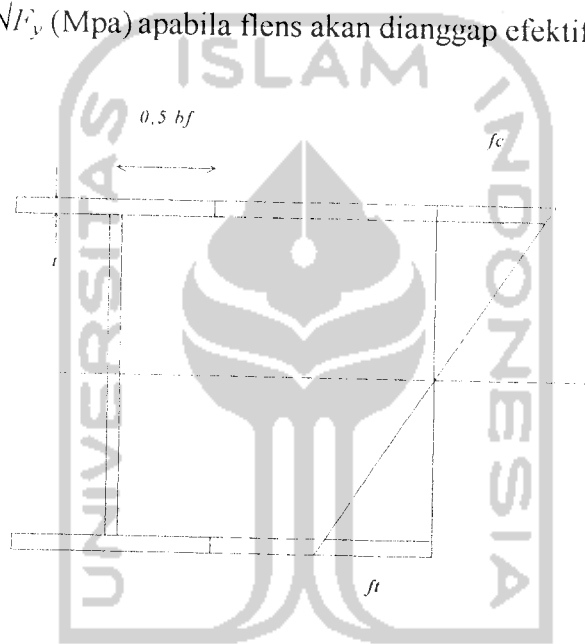
E = modulus elastis

μ = angka Poisson (0,3 untuk baja)

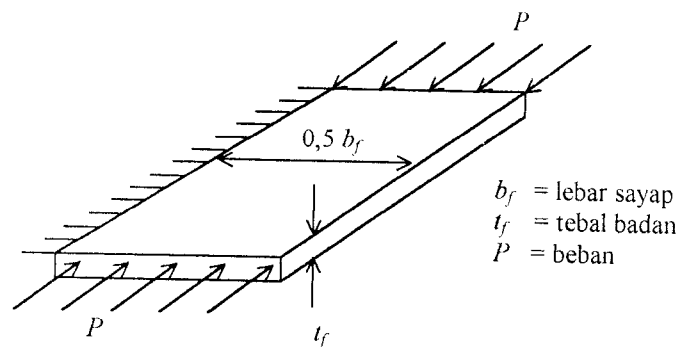
b/t = rasio lebar terhadap tebal plat badan

Koefisien tekuk k merupakan fungsi dari jenis tegangan (dalam hal ini tekanan merata pada dua tepi yang berseberangan) dan kondisi tumpuan tepi (dalam hal ini keempat tepi merupakan tumpuan sederhana), disamping rasio segi (*aspect ratio*) a/b yang terdapat pada Persamaan 3.18.

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 3.4) 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.



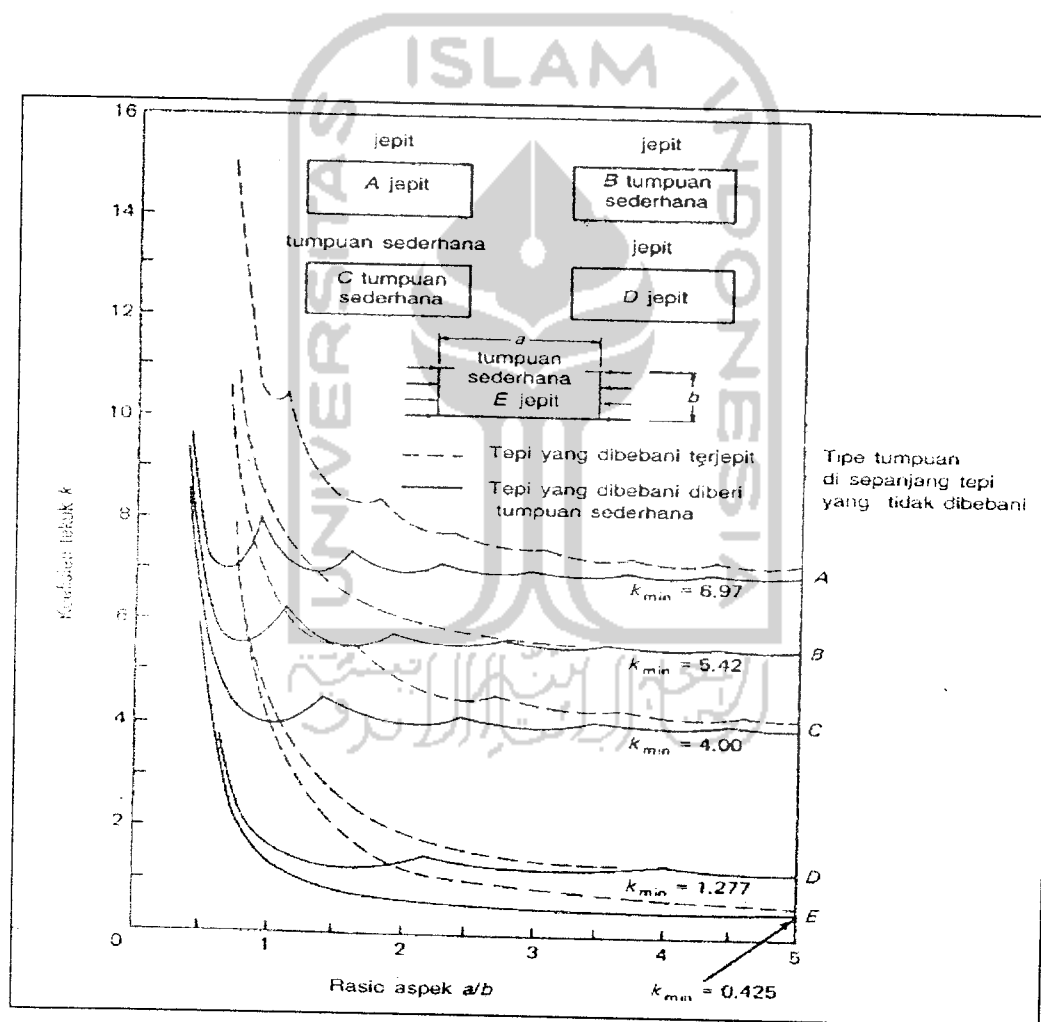
Gambar 3.4 Perilaku elemen sayap



Gambar 3.5 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 3.5. Tegangan tekuk elastik teoritik atau tegangan kritis plat yang tertekan dinyatakan pada Persamaan 3.19

Variasi k terhadap rasio segi a/b untuk kondisi tepi ideal yang umum, yaitu jepit tumpuan sederhana, dan bebas dapat digambarkan sebagai berikut:

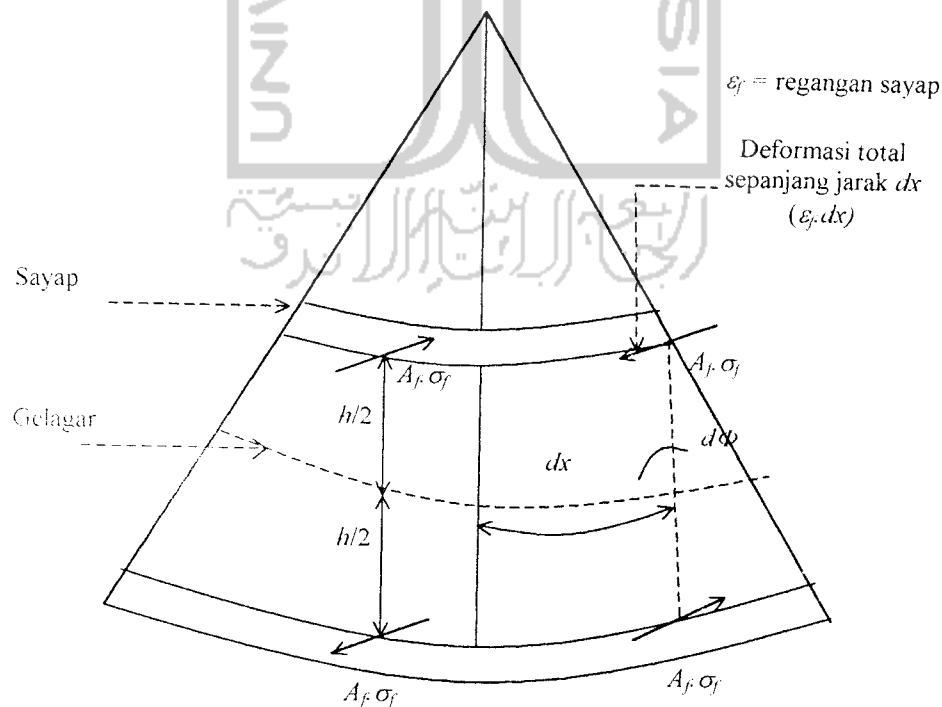


Gambar 3.6 Koefisien tekuk elastis untuk tekuk pada plat segi empat datar (Diambil dari George Gerard dan Herbert)

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 $k_{min} = 1,277$.

3.2.2 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.



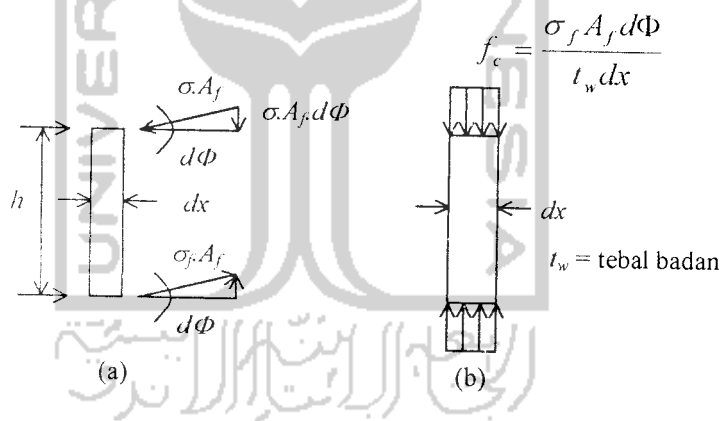
Gambar 3.7 Gaya sayap akibat lengkungan gelagar

Gelagar yang melengkung, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 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 (*Salmon dan Johnson, 1996*).

Berdasarkan Gambar 3.7 deformasi total $\epsilon_f dx$ sepanjang jarak dx adalah :

$$\epsilon_f dx = d\phi \frac{h}{2} \tag{3.19}$$

$$d\phi = \frac{2 \epsilon_f}{h} dx \tag{3.20}$$



Gambar 3.8 Pengaruh komponen gaya sayap yang tegak lurus plat sayap

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8a 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 3.8b, Persamaan 3.20 untuk $d\phi$ dimasukkan sehingga :

$$f_c = \frac{\sigma_f A_f d\Phi}{t_w dx} = \frac{2\sigma_f A_f \epsilon_f}{t_w h} \quad (3.21)$$

Tegangan tekuk elastis untuk suatu plat menurut *Salmon dan Johnson (1996)* dinyatakan pada Persamaan 3.17, 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 3.17 menjadi:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t_w)^2} \quad (3.22)$$

Bila tegangan yang dikenakan, Persamaan 3.27, disamakan dengan tegangan kritis, Persamaan 3.45, akan diperoleh :

$$\frac{2\sigma_f A_f \epsilon_f}{t_w h} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t_w)^2} \quad (3.23)$$

dengan memisalkan $t_w h = A_w$ akan memberikan :

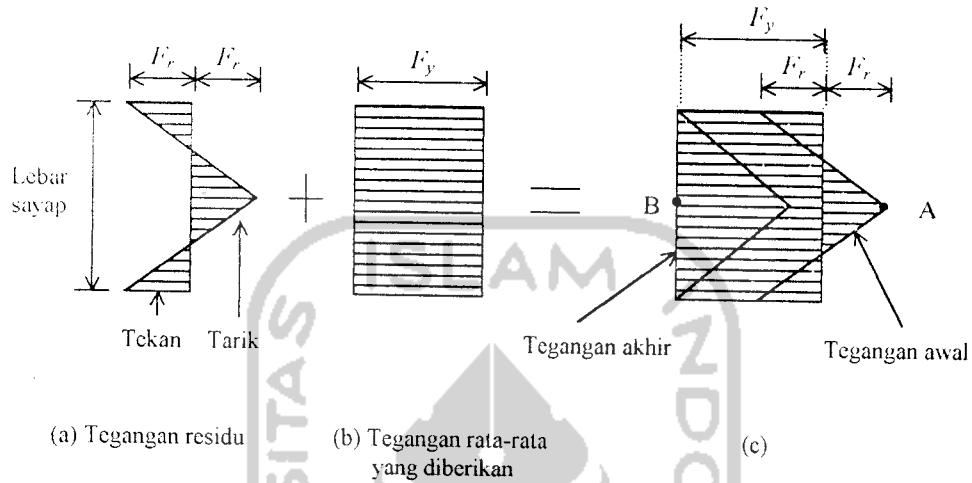
$$\frac{h}{t_w} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{24(1-\mu^2)} \left(\frac{A_w}{A_f} \right) \left(\frac{1}{\sigma_f \epsilon_f} \right)} \quad (3.24)$$

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 3.9, maka regangan sayap total akan sama dengan jumlah tegangan residu ditambah tegangan leleh dengan demikian :

$$\epsilon = (F_r + F_y) / E \quad (3.25)$$

Regangan ini adalah regangan sayap di dekat badan yang diperlukan. Pada Gambar 3.9c regangan berubah dari F_r yang bersifat tarik (titik A) ke F_y yang bersifat tekan (titik B).



Gambar 3.9 Pengaruh tegangan residu

Substitusi $\sigma_y = F_y$, ϵ_f = Persamaan 3.31, $E = 200.000$ MPa, dan $\mu = 0,3$ sehingga Persamaan 3.47 menghasilkan :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{135.000 \sqrt{A_w / A_f}}{\sqrt{F_y (F_y + F_r)}} \quad (3.26)$$

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 realistik. Jika nilai-nilai tersebut dimasukkan, maka :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{96500}{\sqrt{F_y (F_y + 114)}} \quad (3.27)$$

bila h/t_w tidak melebihi 1,5 maka Persamaan 3.33 menjadi :

$$\frac{h}{t_w} = \frac{5250}{\sqrt{F_y}} \quad (3.28)$$

dengan $F_y = 248 \text{ Mpa}$

3.2.3 Tekuk Pada Plat Badan

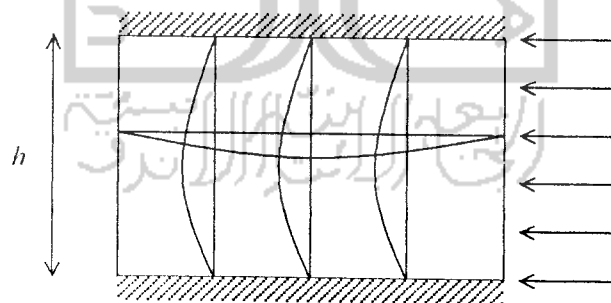
3.2.3.1 Tekuk Lokal Pada Plat Badan

Plat sayap dan plat badan yang membentuk penampang I dapat tertekuk setempat sebelum kapasitas maksimum penampang tercapai. Stabilitas pada plat badan dengan kondisi tumpuan tepi jepit-jepit sebelum mengalami tekuk seperti pada Gambar 3.10 dinyatakan dalam Persamaan 3.15 sebagai berikut :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t_w)^2} \quad (3.29)$$

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

4. Dari Persamaan 3.15 untuk $F_y = F_{cr} = 248 \text{ Mpa}$ diperoleh $h/t_w = 53,968$.

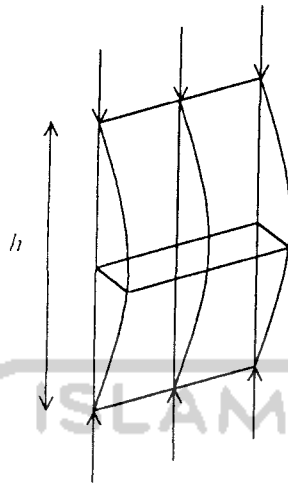


Gambar 3.10 Tekuk horisontal pada badan (jepit-jepit)

Stabilitas pada badan dengan kondisi tumpuan tepi bebas-bebas sesuai dengan Gambar 3.10, sebelum mengalami tekuk dinyatakan Persamaan 3.30.

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)(h/t_w)^2} \quad (3.30)$$

Dari Persamaan 3.20 untuk $F_y = F_{cr} = 248 \text{ Mpa}$ diperoleh $h/t_w = 26,984$.



Gambar 3.11 Tekuk vertikal pada badan (bebas-bebas)

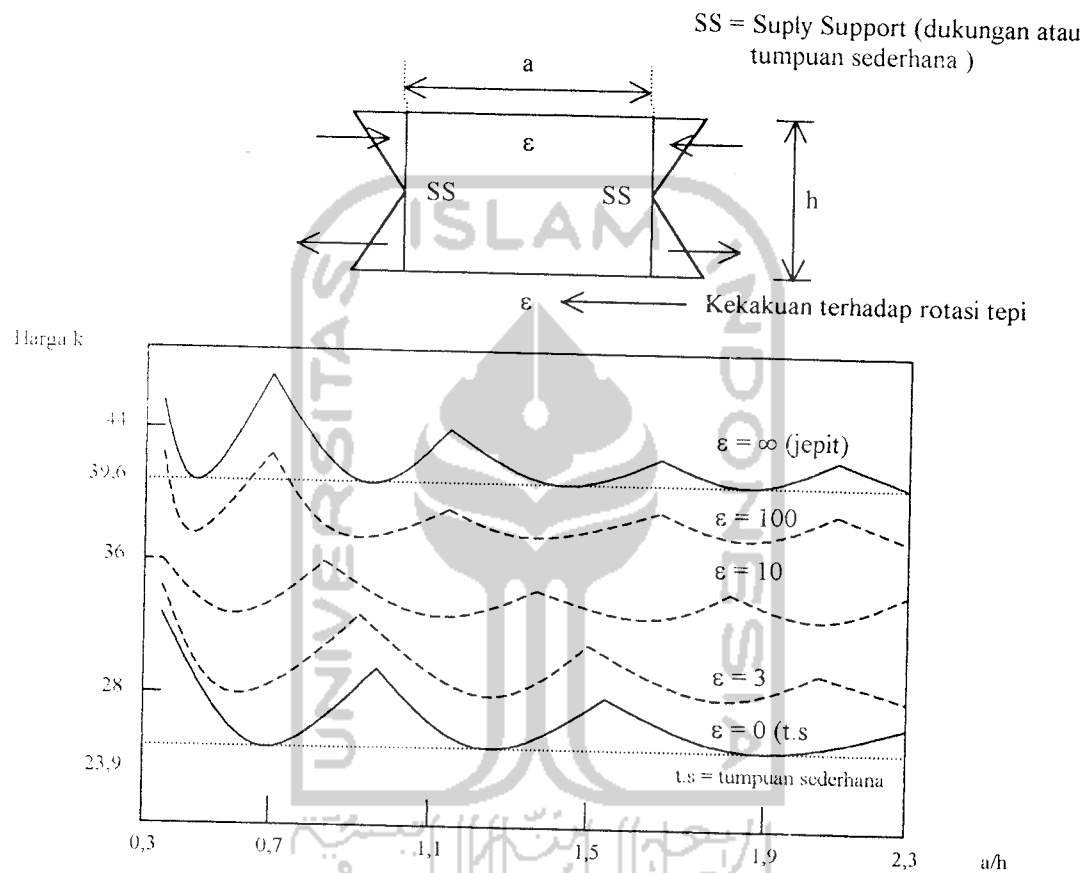
Dari persamaan-persamaan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar h/t_w maka tegangan kritis (F_{cr}) semakin rendah. Untuk meningkatkan nilai tegangan yang terjadi dengan mengubah jenis tumpuan pada tepi-tepi plat, misalnya dari kondisi sederhana-bebas dengan nilai k mendekati 0,425 dirubah menjadi kondisi jepit-jepit dengan nilai k mendekati 4 sehingga tegangan yang terjadi dapat dinaikkan hampir 10 kali lipat.

3.2.3.2 Lentur Pada Bidang Badan

Untuk semua masalah stabilitas plat, tegangan tekuk elastis ditentukan oleh Persamaan 3.17, yang dalam hal ini $b=h$

Penurunan harga k secara teoritis untuk lentur dijabarkan oleh *Timoshenko-Krieger, 1959*. Untuk sembarang jenis pembebanan, k tergantung pada rasio bentuk (*aspect ratio*) a/h dan kondisi tumpuan sepanjang tepi. Jika plat bisa dianggap terjepit sempurna sepanjang tepi yang sejajar arah pembebanan

(ditepi yang disambung dengan sayap), maka nilai $k_{min} = 39,6$. Apabila sayap dianggap tidak mengekang rotasi tepi (tumpuan sederhana), maka $k_{min} = 23,9$. Variasi k terhadap rasio a/h plat badan yang mengalami lentur ditunjukkan pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Koefisien tekuk plat yang mengalami lentur murni (sumber Salmon CG & Jonhson JE 1986)

Jadi, tegangan kritis plat badan (dengan $E = 200.000 \text{ Mpa}$) bisa dikatakan terletak antara :

$$F_{cr} = \frac{4320000}{(h/t)^2} \text{ Mpa} \quad \text{untuk } k = 23,9 \text{ (tumpuan sederhana disayap)}$$

Dan,

$$F_{cr} = \frac{7120000}{(h/t)^2} \text{ Mpa} \quad \text{untuk } k = 39,6 \text{ (jepit sempurna disayap)}$$

Walaupun setiap gelagar memiliki derajat pengekangan sayap yang berlainan, sambungan badan kesayap yang dilas penuh mendekati jepit sempurna. Oleh karena nilai k cukup beralasan bila diambil secara sembarang mendekati 39,6 sehingga :

$$F_{cr} = \frac{6577830}{(h/t)^2} \text{ Mpa} \quad (3.31)$$

Adalah tegangan ketika tekuk elastis hampir terjadi akibat lentur pada bidang badan.

Tekuk lentur ini tidak akan terjadi bila :

$$\frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{6722,6}{\sqrt{F_{cr}}}} \quad (3.33)$$

3.2.3.3 Tekuk Elastis Akibat Geser Murni

Menurut *Salmon dan Johnson, 1991*, tegangan tekuk elastis untuk suatu plat ditentukan oleh Persamaan 3.17 untuk kasus geser murni.

Untuk tegangan geser menurut *Timoshenko dan Krieger, 1959* seperti dikutip oleh *Salmon dan Johnson, 1991* Persamaannya adalah :

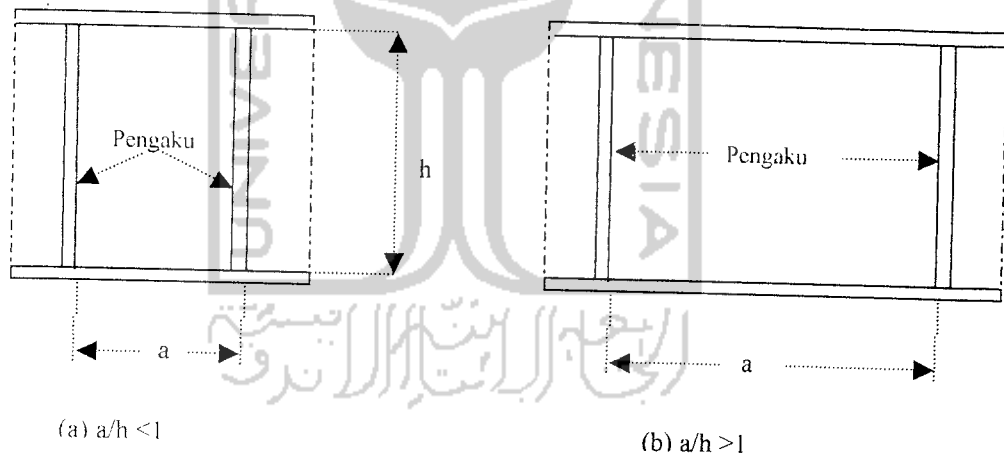
$$\tau_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{\text{sisi.pendek}}{t} \right)^2} \quad (3.34)$$

Nilai koefisien tekuk (k) untuk kasus tepi bertumpuan sederhana (yakni perpindahan dicegah tetapi rotasi terhadap tepi tidak dikekang, maka :

$$k = 5,3 + 4,0 \left(\frac{\text{sisi.pendek}}{\text{sisi.panjang}} \right)^2 \quad (3.35)$$

Pengaku transversal dengan jarak yang teratur mampu memperbesar kekuatan badan balok memikul geser. Parameter stabilitas yang berpengaruh adalah rasio kelangsingan elemen badan (h/t_w) dan rasio jarak antara pengaku terhadap tinggi badan (a/h).

Menurut *Bowles, 1985* persyaratan pengaku sepanjang bentangan (*pengaku transversal perantara*) bergantung pada tegangan geser dan pembagian badan. Jarak antara a bergantung pada perbandingan h/t_w dimana h adalah jarak badan bersih diantara flens-flens, jarak ini adalah jarak antara plat flens ke plat flens untuk sebuah gelagar las yang terdiri dari tiga plat.



Gambar 3.13 Dua keadaan dari jarak pengaku transversal

Untuk perencanaan, dengan : h = tinggi badan tanpa sokongan

a = jarak antara pengaku

1. Jika $a/h \leq 1$ (lihat gambar 3.13 a), maka Persamaan 3.24 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(a/h)^2] (h/a)^2}{12(1 - \mu^2)(a/t)^2 (h/a)^2} \quad (3.36)$$

2. Jika $a/h \geq 1$ (lihat gambar 3.13 b), maka Persamaan 3.24 menjadi :

$$\tau_{cr} = \frac{\pi^2 E [5,34 + 4,0(a/h)^2]}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.37)$$

Dari Persamaan (3.36) dan (3.37) di atas diketahui bahwa jika 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 geser kritisnya :

$$\tau_{cr} = k \frac{\tau^2 E}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.38)$$

Dengan nilai k

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

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

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

Dalam **AISC-1.10.5**, Persamaan 3.38 ditulis dalam bentuk tanpa dimensi, dengan mendefinisikan koefisien C_v sebagai perbandingan antara tegangan geser pada saat tertekuk dan tegangan leleh geser, seperti pada persamaan 3.39 :

$$C_v = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \frac{\pi^2 Ek}{\tau_y (12)(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2} \quad (3.39)$$

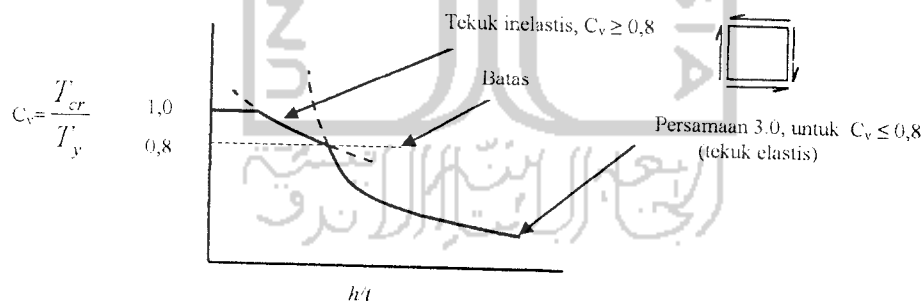
dengan C_v = perbandingan antara tegangan geser pada saat tertekuk dan leleh, C_v untuk stabilitas elastis.

Apabila disubstitusikan $E = 200.000 \text{ Mpa}$, $\mu = 0,3$ dan $\tau_y = F_y / \sqrt{3}$ menghasilkan:

$$C_v = \frac{310.000k}{F_y (h/t)^2} \quad (3.40)$$

dengan $F_y = 248 \text{ Mpa}$

Tampak bahwa h/t besar, maka nilai C_v menurun, dan untuk menaikkan nilai C_v maka nilai k diperbesar. C_v diatas berlaku bila τ_{cr} masih dibawah batas proporsional elastis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13 dibawah ini,



Gambar 3.14 Tekuk plat yang mengalami geser murni

3.3 Kekuatan Lentur Batas Pada Gelagar

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh **Salmon dan 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 :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t_w}, \frac{L}{r_y}, \frac{b}{t_f}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.41)$$

dengan :

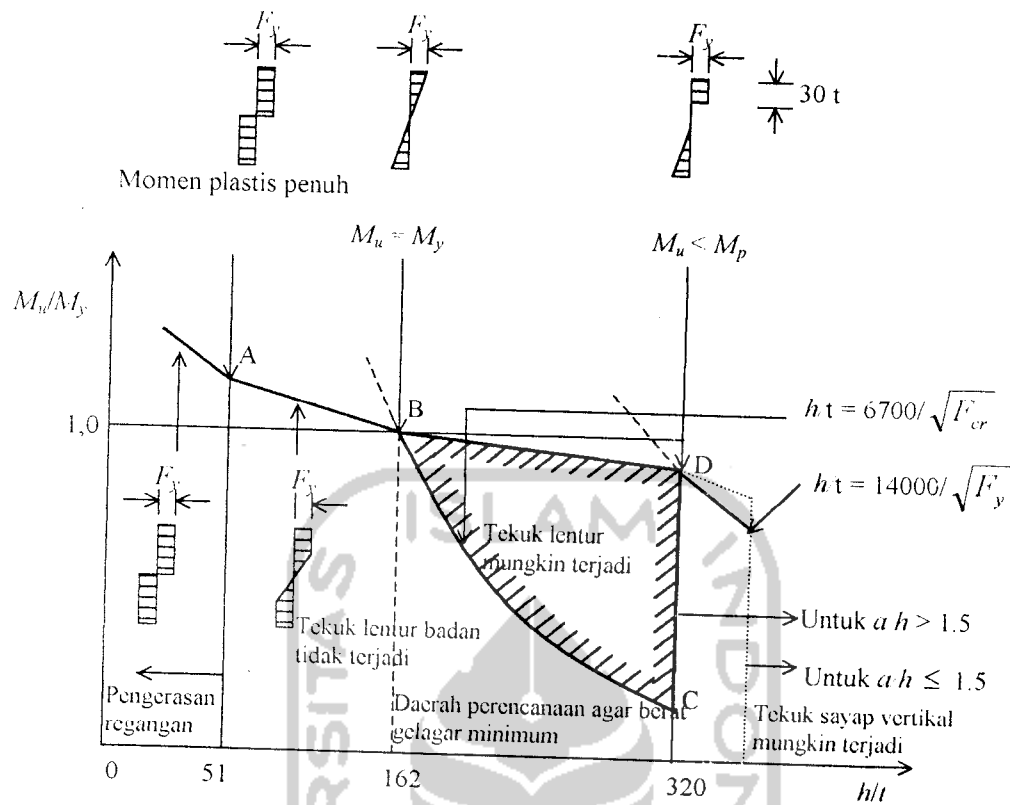
h/t_w = menentukan ketidakstabilan badan (tekuk lentur)

L/r_y = menentukan ketidakstabilan lateral pada sayap (tekuk puntir lateral)

b/t_f = menentukan tekuk setempat (tekuk puntir) pada sayap

A_w/A_f = menentukan pengaruh purna tekuk badan pada sayap

Pada gambar 3.15 terlihat bahwa kapasitas lentur pada gelagar plat tanpa pengaku hanya mampu sampai pada rasio $h/t_w = 162$ (garis AB), selanjutnya terjadi penurunan kapasitas lentur gelagar (garis BC). Apabila h/t_w besar (daerah perencanaan agar berat gelagar minimum, h/t 162 s/d h/t 320) tegangan kritis yang terjadi relatif kecil, sehingga dapat menimbulkan tekuk (*buckling*) pada plat badan (*web*) gelagar plat. Tetapi bila pengaku vertikal dan horisontal diberikan pada badan gelagar, maka dapat meningkatkan tegangan kritis dan mencegah terjadinya tekuk (*buckling*) pada plat badan (*web*). Dengan demikian kapasitas lentur gelagar serta kekuatan purna tekuk gelagar akan meningkat (*garis BD*)



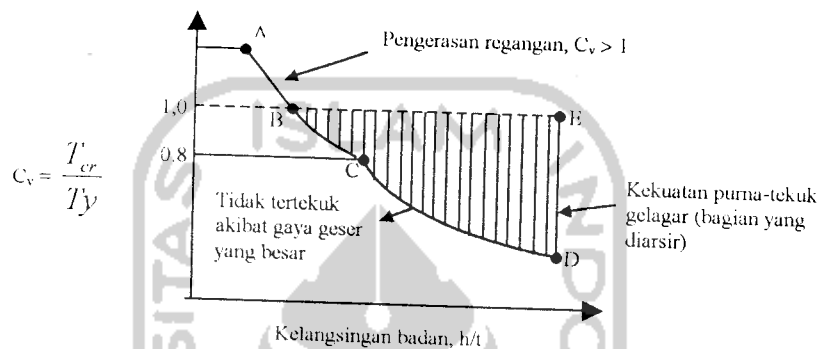
Gambar 3.15 Kekuatan lentur gelagar yang dipengaruhi oleh tegangan lentur pada plat badan : baja A36

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 3.15 variabel dari fungsi diatas menjadi :

$$M_u = f \left\{ \frac{h}{t_w}, \frac{A_w}{A_f} \right\} \quad (3.42)$$

3.4 Kapasitas Geser Batas Pada Gelagar

Plat yang diperkuat oleh sayap dan pengaku memiliki kekuatan purna tekuk yang cukup besar. Untuk efisiensi pemakaian bahan plat badan pada gelagar plat, maka badan harus tipis sehingga tekuk yang terjadi pada tegangan geser yang rendah.



Gambar 3.16 Kapasitas geser yang tersedia dengan menyertakan kekuatan purna tekuk.

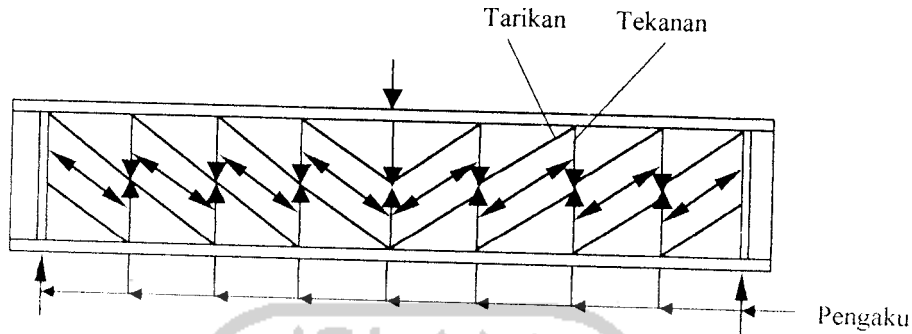
Tampak pada Gambar 3.16 bahwa nilai C_v semakin kecil pada nilai h/t_w yang semakin besar. Tekuk plat akibat geser murni, baik elastis maupun inelastis menimbulkan tegangan kritis seperti yang ditunjukkan oleh garis $ABCD$ pada Gambar 3.16. Dengan adanya pengaku kekuatan geser dapat dinaikkan dari kekuatan berdasarkan tekuk ($ABCD$ pada Gambar 3.16) untuk mendekati kondisi yang selaras dengan leleh geser pada teori balok klasik (ABE , Gambar 3.16). Secara umum kekuatan geser batas (*nominal*) dapat dinyatakan sebagai jumlah kekuatan tekuk V_{cr} dan kekuatan purna tekuk V_{pf} dari aksi medan tarik

$$V_u = V_{cr} + V_t \quad (3.43)$$

Dan, kekuatan tekuk nominal, baik elastis maupun inelastis, dapat dinyatakan pada Persamaan 3.44 :

$$V_{cr} = \tau_y h t C_v \quad (3.44)$$

Dengan $C_v = \tau_{cr}/\tau_y$



Gambar 3.17 Aksi medan tarik

Dalam penelitian *Basler, 1958* seperti yang dikutip oleh *Salmon dan Johnson, 1991* mengatakan bahwa gaya tarik dipikul oleh aksi membran dari badan (yang disebut aksi medan tarik) sedang gaya tekan dipikul oleh pengaku (Gambar 3.17). Kekuatan geser akibat aksi medan tarik V_{tf} pada badan menimbulkan jalur gaya tarik yang terjadi setelah badan tertekuk akibat tekanan diagonal (tegangan utama pada teori balok biasa). Keseimbangan dipertahankan dengan pemindahan tegangan ke pengaku vertikal. Sudut medan tarik akan berubah untuk mengakomodasi daya pikul terbesar apabila beban di perbesar.

Kekuatan geser dari aksi medan tarik dinyatakan dengan persamaan 3.45

$$V_{tf} = \sigma_t \frac{ht}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.45)$$

Sedangkan gaya pada pengaku yang dicapai pada kekuatan geser batas untuk mengakomodasi aksi medan tarik adalah:

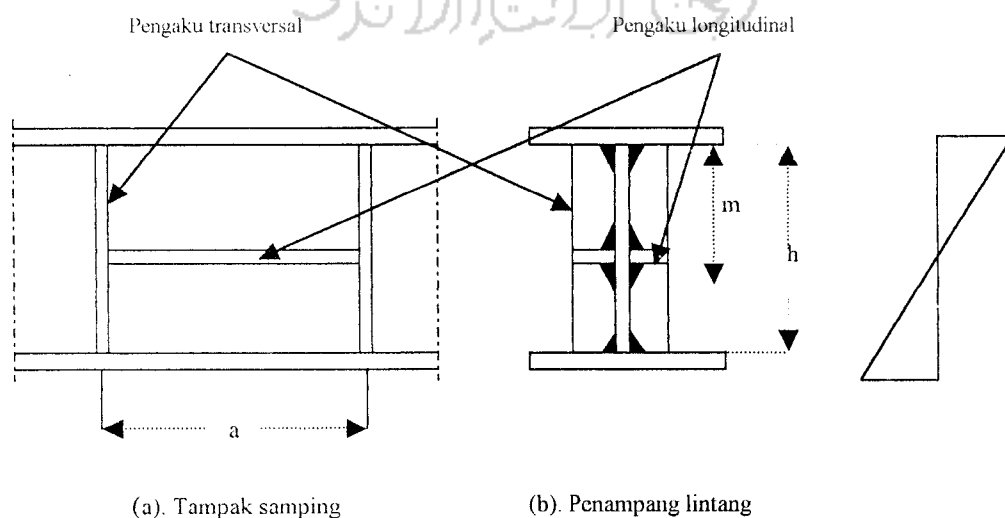
$$F_s = \frac{F_v(1 - C_v)at}{2} \left[1 - \frac{a/h}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.46)$$

dengan $F_y = 248 \text{ Mpa}$

3.5 Gelagar Plat Dengan Pengaku Longitudinal

Menurut *Bowles 1991*, pengaku transversal dan longitudinal umumnya diperlukan bila plat badan sangat tipis, perbandingan h/t_w besar, dan/atau tegangan geser badan relatif tinggi. Pengaku tersebut secara efektif akan mereduksi perbandingan a/b dan akan menambah kapasitas geser terhadap tekukan geser badan tersebut. Pengaku selalu diperlukan oleh spesifikasi dibawah beban yang terkonsentrasi dan pada reaksi gelagar plat, tanpa memperdulikan intensitas geser. Persyaratan pengaku sepanjang bentangan bergantung pada tegangan geser dan pembagian badan.

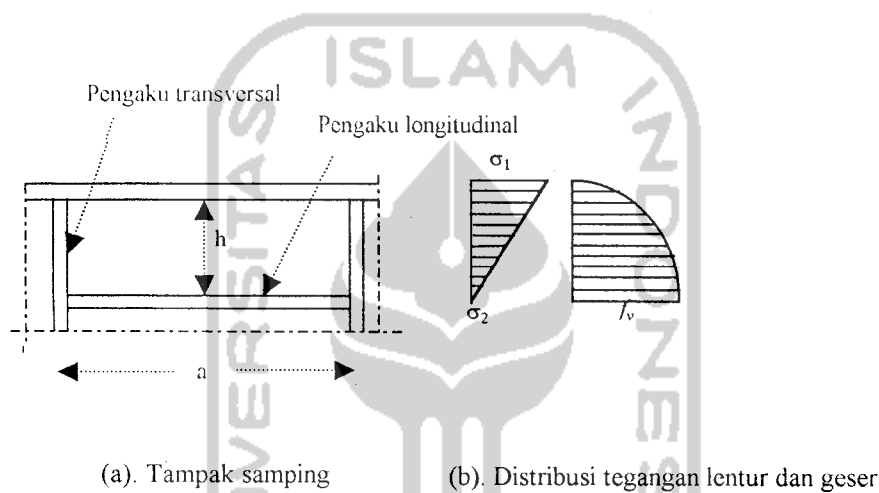
Dalam penelitian ini dicari perilaku gelagar plat yang disusun membentuk profil I dengan menggunakan pengaku transversal & longitudinal.



Gambar 3.18 Gelagar Plat dengan pengaku transversal dan longitudinal

Salmon dan Johnson, 1991 mengemukakan untuk badan yang hanya memikul gaya geser, pengaku longitudinal (horisontal) harus diletakkan ditengah-tengah tinggi (h), maka $m = h/2$. Untuk gabungan geser dan lentur pengaku harus diletakkan sedemikian rupa hingga $h/5 < m < h/2$.

Bleich, 1952 mengemukakan dengan adanya pengaku transversal dan longitudinal mereduksi rasio a/h seperti pada gambar :



Gambar 3.19 Gelagar Plat yang mengalami reduksi a/h

Dengan kondisi seperti Gambar 3.19 $\sigma_2/\sigma_1 = 0$ maka nilai k pada Persamaan 3.38 menjadi :

$$k = 3,85k^2\beta\sqrt{\beta^2 + 3}\left[-1 + \sqrt{1 + \frac{4}{\beta^2k^2}}\right] \text{ untuk } a/h \geq 1$$

dengan : $k = \frac{5,34 + 4/(a/b)^2}{7,7}$ dan $\beta = \sigma_1/f_v$

$$k = 3,85k^2\beta\sqrt{\beta^2 + 3}\left[-1 + \sqrt{1 + \frac{4}{\beta^2k^2}}\right] \text{ untuk } a/h \leq 1$$

dengan :

$$k = \frac{4 + 5,34/(a/h)^2}{7,7 + 33(1 - a/h)^2} \quad \text{dan } \beta = \sigma_l/f_v$$

3.6 Fungsi Pengaku Transversal dan Longitudinal

Pengaku transversal berfungsi antara lain:

1. mengurangi rasio perbandingan a/h dan menaikkan nilai k
2. mencegah terjadinya tekuk akibat gaya geser,
3. menerima gaya tekan yang disalurkan langsung dari badan,
4. mencegah tekuk puntir pada sayap tekan

Sedangkan fungsi dari pengaku longitudinal, adalah menambah kekuatan tekuk pada badan, dan mempertahankan keefektifan badan secara penuh untuk melawan tegangan lentur, yang merupakan fungsi utama dari pengaku.

Dua syarat perencanaan pengaku longitudinal yang harus dipenuhi ialah :

- (1) momen inersia harus cukup besar sehingga mampu menimbulkan garis simpul sepanjang pengaku,
- (2) luas harus memadai untuk memikul tegangan tekan aksial ketika bekerja sama dengan badan.

Momen Inersia pengaku yang optimum (I_s) yang diberikan oleh *Salmon dan Johnson, 1991* adalah:

$$I_s \text{ yang diperlukan} = \frac{\gamma_o l^3 h}{10,92} \quad (3.47)$$

Sedang AASHTO-1977(AASHTO-1.7.43(E)) memberikan persamaan berikut:

$$I_s \text{ yang diperlukan} = t^3 h \left[2,4 \left(\frac{a}{h} \right)^2 - 0,13 \right] \quad (3.48)$$

Dimana:

$$\gamma_0 = 10,92 \left[2,4 \left(\frac{a}{h} \right)^2 - 0,13 \right] \quad (3.49)$$

Dengan :

I_s = momen inersia yang diperlukan

γ_0 = rasio kekakuan pengaku

3.7 Kapasitas Geser Batas Akibat Kekuatan Tekuk & Purna Tekuk

Seperti yang dikatakan oleh *Salmon dan Johnson, 1991* bahwa gelagar yang berbadan tipis memiliki kekuatan geser sebelum tekuk diagonal terjadi (V_{cr} dari Persamaan 3.44) dan kekuatan tambahan pada daerah purna tekuk (V_{tf} dari Persamaan 3.45) maka kapasitas geser yang sesungguhnya adalah jumlah kedua komponen tersebut. Dengan memasukkan kedua Persamaan tersebut kedalam Persamaan 3.43, kita peroleh:

$$V_u = ht \left[\tau_y C_v + \frac{\sigma_t}{2\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.50)$$

Untuk σ_t dan $\tau_y = F_y / \sqrt{3}$ menghasilkan kekuatan geser total:

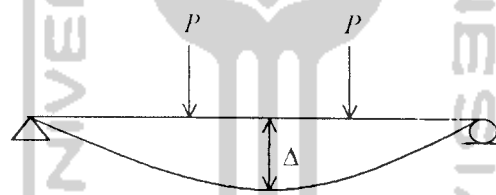
$$V_u = F_y ht \left[\frac{C_v}{\sqrt{3}} + \frac{1 - C_v}{2\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (3.51)$$

dengan $F_y = 248 \text{ Mpa}$

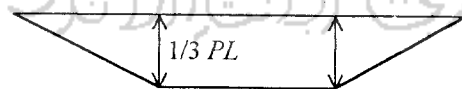
3.8 Hubungan Beban-Lendutan

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.

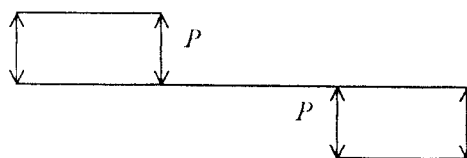
Beedle (1958) menyimpulkan bahwa balok dukungan sederhana yang diberi beban memiliki satu titik yang momennya maksimum. Makin besar beban yang diberikan, makin besar pula momennya. Jika beban besar, material akan terdeformasi semakin cepat dan defleksinya juga semakin besar.



Gambar 3.20 Lendutan balok



Gambar 3.21 Diagram Momen



Gambar 3.22 Diagram geser

Hubungan beban-lendutan ditunjukkan :

$$\Delta = \frac{23P.L^3}{648EI} \quad (3.52)$$

dengan :

Δ = defleksi balok

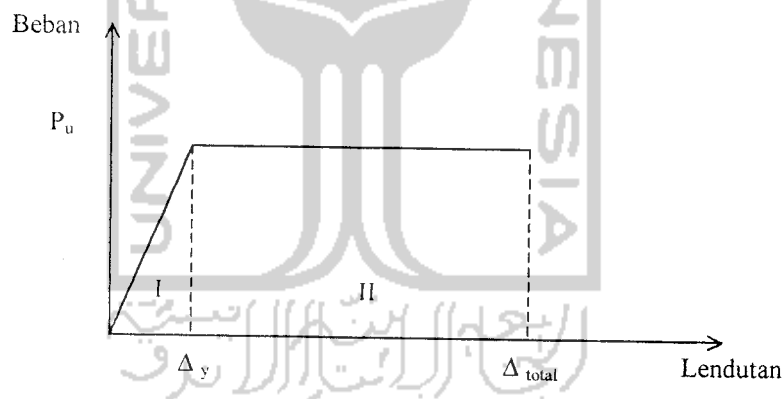
P = beban balok

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 3.23



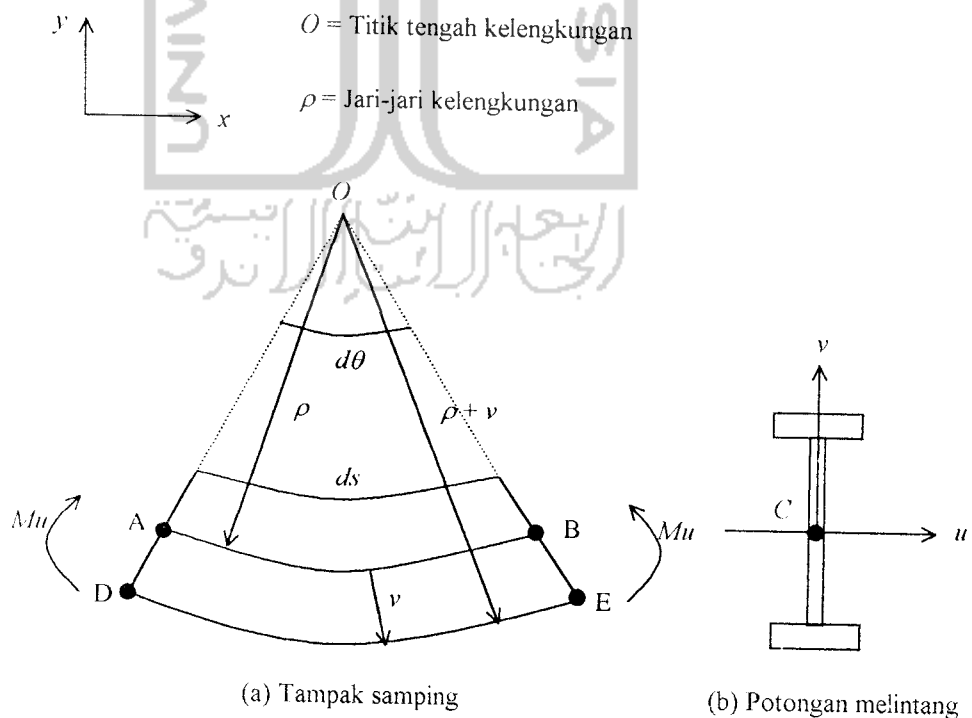
Gambar 3.23 Hubungan beban-lendutan pada balok

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 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 3.25 adalah sebuah balok sederhana dengan penampang I yang menerima beban terpusat P .



Gambar 3.24 Deformasi segmen balok dalam lenturan

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.

Elemen differensial balok untuk lentur murni ditunjukkan pada Gambar 3.24 Sumbu u dan v pada potongan melintang, adalah sumbu utama yang ditunjukkan pada Gambar 3.24b. AB adalah garis netral, pada garis netral ini garis tidak memendek ataupun memanjang. Regangan pada garis netral didapatkan dari Persamaan :

$$\epsilon_x = \frac{\text{panjang akhir} - \text{panjang awal}}{\text{panjang awal}} \quad (3.53)$$

Dengan substitusi didapat :

$$\epsilon_x = \frac{(\rho + v)d\theta - \rho.d\theta}{\rho.d\theta} = \frac{v}{\rho} \quad (3.54)$$

Hubungan dasar antara kurva elastis dengan regangan linier, didapat :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\epsilon_x}{v} \quad (3.55)$$

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

$$\sigma_x = E.\epsilon_x \quad (3.56)$$

sehingga :

$$\epsilon_x = \frac{Muv}{EIu} \quad (3.57)$$

Substitusi Persamaan 3.55 ke Persamaan 3.57 akan diperoleh :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{Mu}{EIu} \quad (3.58)$$

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = k = \frac{\pm d^2v/dx^2}{[1 + (dv/dx)^2]^{3/2}} \quad (3.59)$$

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

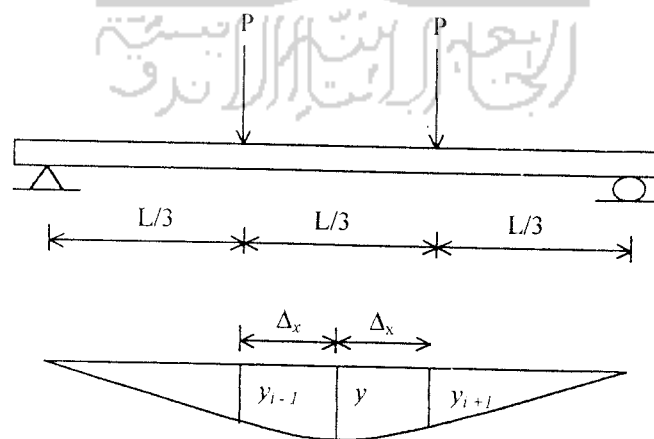
$$(dv/dx)^2 \approx 0 \quad (3.60)$$

Persamaan 3.59 disubstitusi dengan Persamaan 3.60 menjadi :

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI_u} \quad (3.61)$$

$$EI_u = \frac{M}{(d^2v/dx^2)} \quad (3.62)$$

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



Gambar 3.25 Deformasi Transversal

Mengacu pada gambar 3.25 dy/dx dicari dengan Persamaan 3.63 :

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.63)$$

turunan kedua dari Persamaan 3.63 adalah Persamaan 3.64:

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{d_x} (y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d_x}{d_x} (2\Delta x)}{(2\Delta x)} \quad (3.64)$$

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

$$\frac{d}{d_x} (2\Delta x) = 0 \quad (3.65)$$

sehingga Persamaan 3.64 didekati dengan Persamaan 3.66:

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{(2\Delta x) \frac{d}{d_x} (y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta x)^2} \quad (3.66)$$

$$\frac{d^2_y}{d_x^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i - y_{i-2}}{(\Delta x)^2} \quad (3.67)$$

menurut *Salmon dan Johnson (1986)* :

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

Mengacu kepada Gambar 3.25 didapat momen (M) :

$$M = \frac{1}{3} PL \quad (3.69)$$

Sehingga dapat disimpulkan besar EI dengan rumus :

$$EI = \frac{M}{\Phi} \quad (3.70)$$

$$M = EI \cdot \Phi \quad (3.71)$$

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.72)$$

Dengan menganggap stabilitas lateral sayap tekan memadai, perencanaan balok didasarkan pada pencapaian kekuatan lentur penampang maksimum. Kekakuan ini didasarkan pada bahan yang tetap elastis sampai titik leleh tercapai, setelah itu tambahan regangan tidak menimbulkan kenaikan tegangan. Pada saat tegangan leleh (F_y) tercapai diserat terluar (S_x) kapasitas momennya disebut momen leleh (M_y) dan dapat dihitung sebagai :

$$M_y = F_y \cdot S_x \quad (3.73)$$

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

$$M_p = f_b \int y \cdot dA \quad (3.74)$$

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

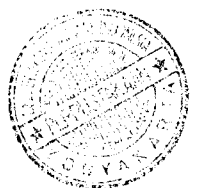
$$M_p = f_b \cdot z \quad (3.75)$$

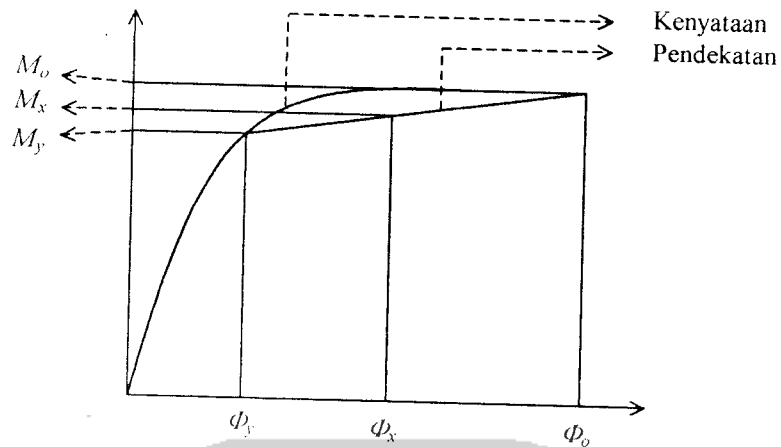
Dimana, z = modulus plastis.

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

$$f = \frac{M_p}{M_y} = \frac{z}{S} \quad (3.76)$$

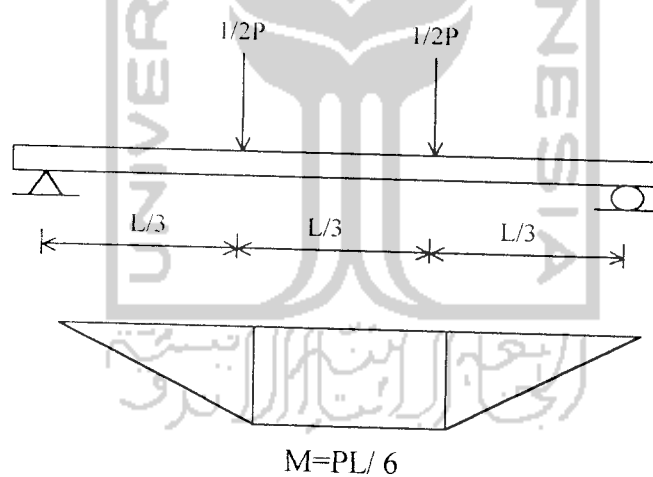
Hubungan Momen (M) dengan kelengkungan (ϕ) ditunjukkan pada Gambar 3.26



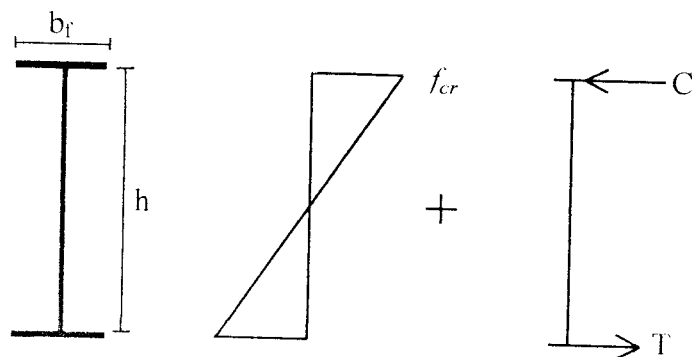


Gambar 3.26 Grafik momen-kelengkungan

3.16 Nilai Koefisien Tekuk (k) Berdasarkan Hubungan Momen Dengan Tegangan Kritis (F_{cr})



Gambar 3.27 metode pembebanan pada pengujian balok gelagar



Gambar 3.28 Distribusi tegangan pada balok gelagar

Berpacu pada Gambar 3.27 dan Gambar 3.28 maka tegangan kritis dapat dicari dengan Persamaan berikut :

$$\frac{1}{6}t(h-2t_s)^2\left(\frac{h-2t_s}{h}\right)F_{cr} + Ch = M \quad (3.77)$$

Karena $C = F_{cr}b.t$, maka Persamaan diatas menjadi :

$$\frac{1}{6}t(h^2-2t_s^2)\left(\frac{h-2t_s}{h}\right)F_{cr} + F_{cr}bth = M \quad (3.78)$$

berdasarkan Persamaan 3.46 maka F_{cr} dapat ditulis dalam bentuk :

$$F_{cr} = \frac{M}{\left(\frac{1}{6}t(h-2t_s)^2\left(\frac{h-2t_s}{h}\right) + b.t.h\right)} \quad (3.79)$$

Hasil dari Persamaan 3.79, maka dapat dicari nilai koefisien tekuk (k) untuk plat sayap yang terdapat dalam Persamaan 3.17, dimana Persamaan 3.17 dapat ditulis dalam bentuk Persamaan 3.80 :

$$k = \frac{F_{cr}12\left(1-\mu^2\right)\left(\frac{b}{t}\right)^2}{\pi^2 E} \quad (3.80)$$

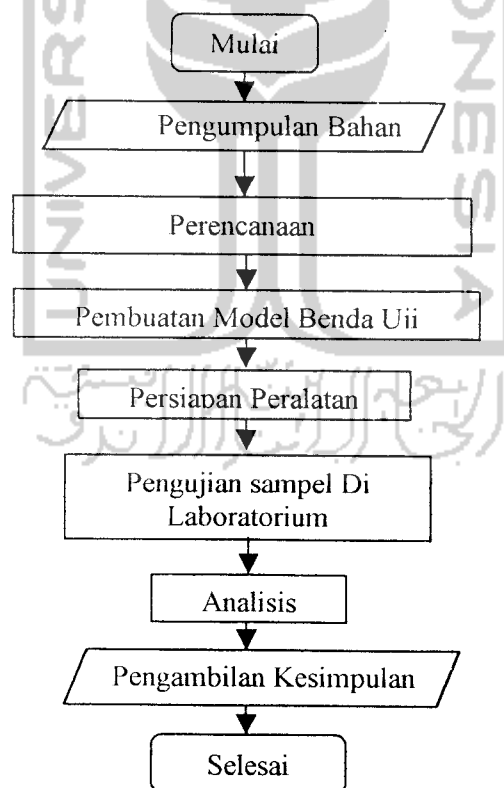
Nilai koefisien tekuk (k) yang didapat dari Persamaan 3.80, merupakan nilai k hasil dari suatu metoda pembebanan pada balok gelagar plat.

BAB IV

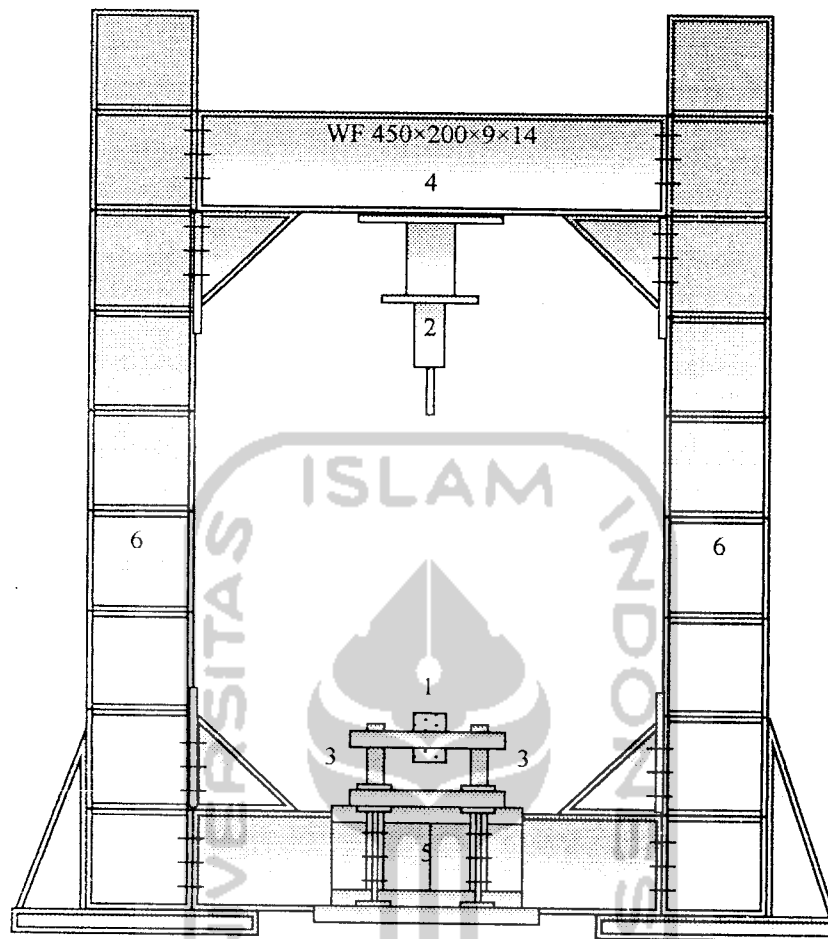
PELAKSANAAN PENELITIAN

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 pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Flowcart metode penelitian



Keterangan :

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

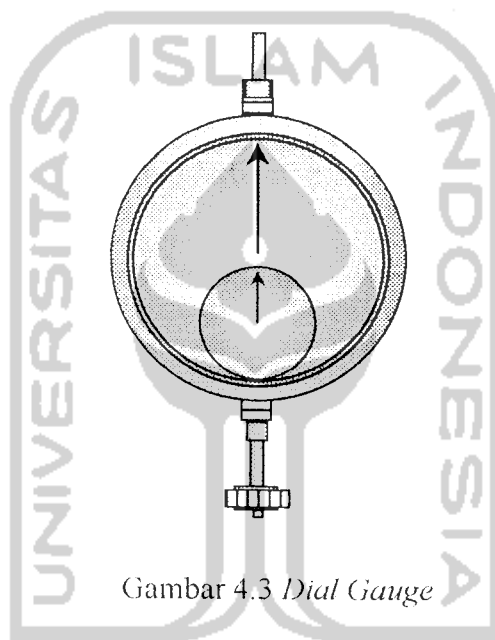
Gambar 4.2 *Loading Frame*

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).

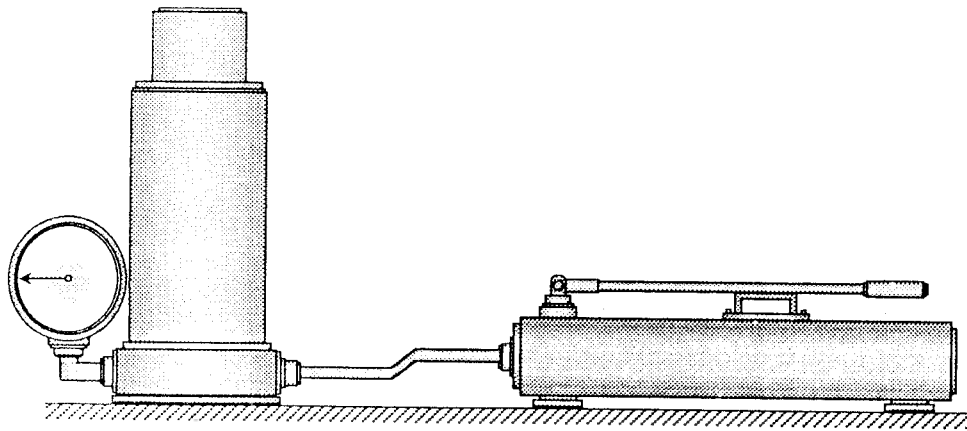
Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm dan ketelitian 0,01 mm.



Gambar 4.3 *Dial Gauge*

3. *Hydraulic Jack*

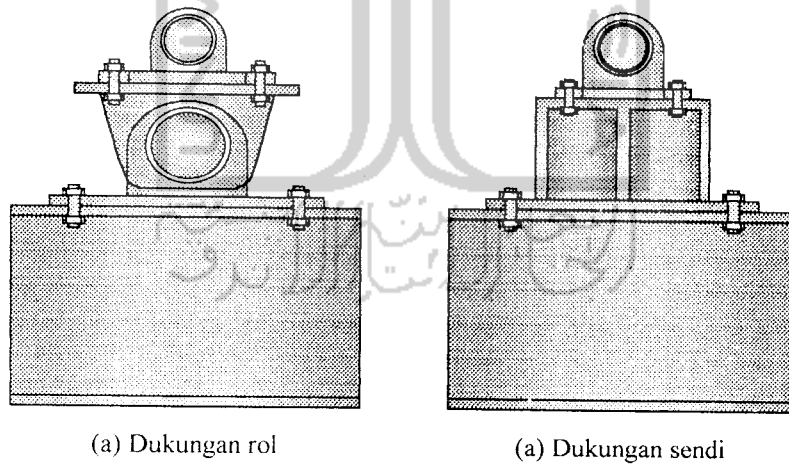
Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur balok skala penuh (Gambar 4.4). Dalam penelitian ini digunakan *hydraulic jack* dengan kapasitas maksimum yang dimiliki adalah 25 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0.5 ton.



Gambar 4.4 *Hidraulic 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 Model Benda Uji

Benda uji berupa gelagar plat baja yang dibuat berbentuk profil I dengan menggunakan pengaku vertikal dan horisontal pada daerah geser, dimana tebal plat sayap (t_f) = 3 mm, tebal plat badan (t_w) = 2 mm, h = 600 mm, tebal pengaku vertikal dan horisontal = 3 mm, dan L = 4800 mm

Benda uji dibuat sebanyak 3 buah (sampel)

Section Properties Pelat :

h = 600 mm

d = 606 mm

b_f = 90 mm

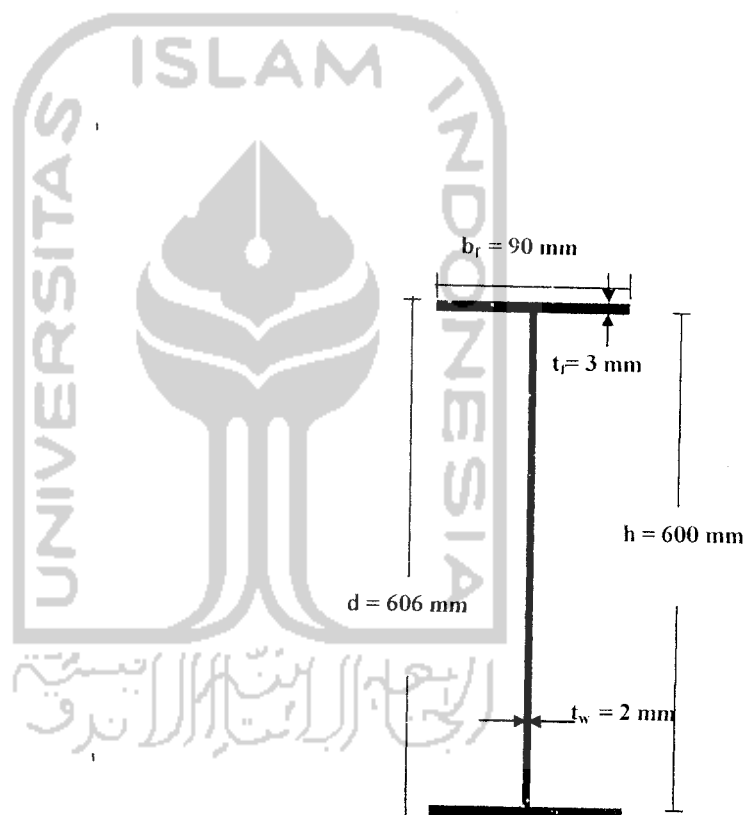
t_f = 3 mm

t_w = 2 mm

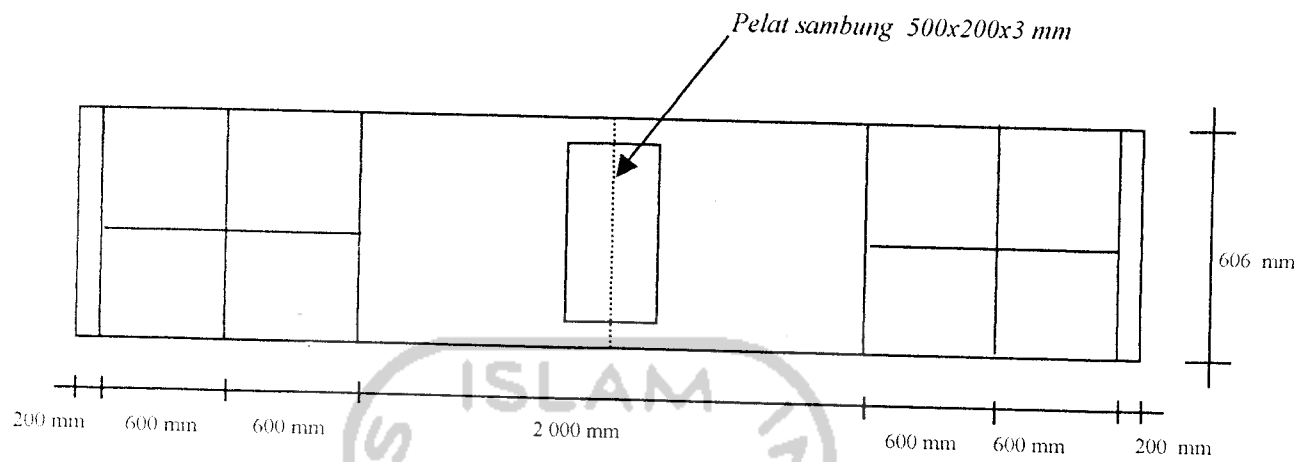
t_{pengaku} = 3 mm

L_{total} = 4800 mm

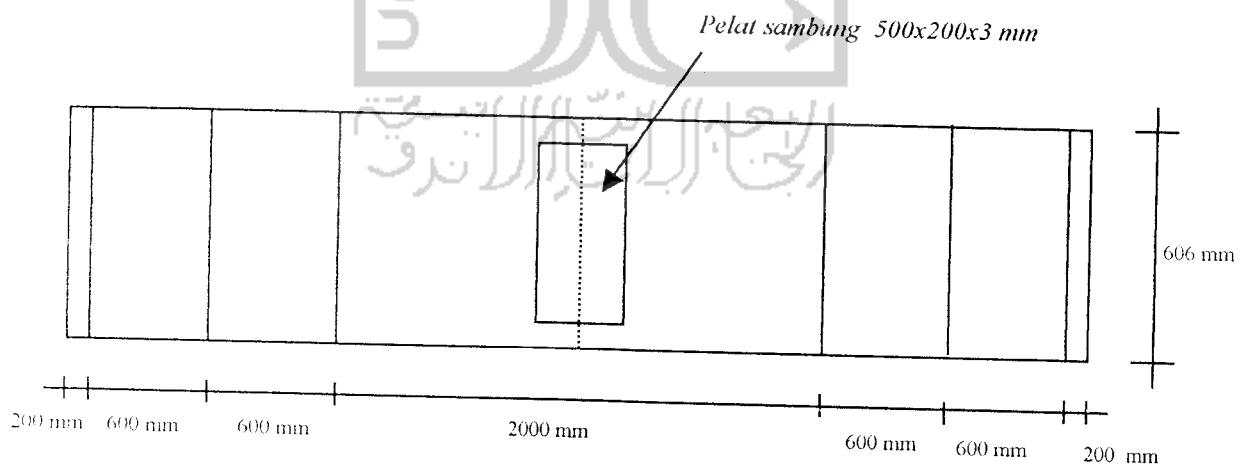
L_{terpakai} = 4200 mm



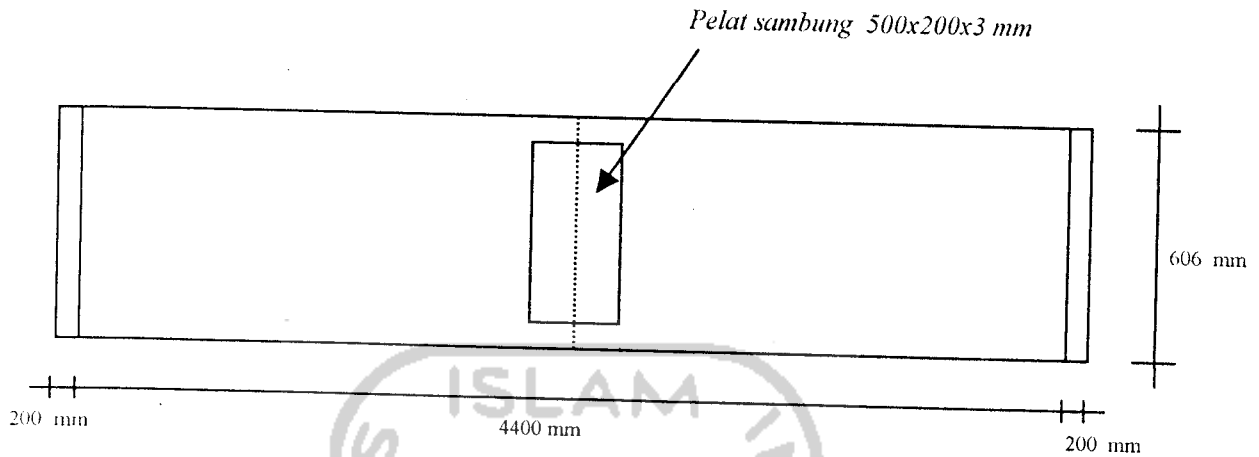
SAMPEL I dengan pengaku transversal dan longitudinal



SAMPEL II dengan pengaku transversal



SAMPEL III tanpa pengaku transversal dan longitudinal



4.5 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilakukan secara bertahap sesuai dengan banyaknya benda uji. Pelaksanaan pengujian 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, posisi benda uji dan letak *dial* terlihat pada Gambar 4.7.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Hubungan Beban-Lendutan

1. Hubungan Beban-Lendutan Teoritis

Nilai hasil perhitungan secara teori ditampilkan dalam Tabel 5.1. Besar beban yang digunakan disesuaikan dengan data hasil pengujian sedangkan besarnya lendutan dihitung dengan persamaan 3.52.

Tabel 5.1 Hasil perhitungan secara teoritis

Beban (kN)	Momen (kNm)	EI ($\times 10^{-3}$ kNm ²)	L (mm)	Lendutan ($\times 10^{-2}$ mm)	Kelengkungan (mm ⁻¹)
0	0	0	4800	0	0
3	2400	1,596E+07	4800	7,378E+01	1,504E-04
6	4800	1,596E+07	4800	1,476E+02	3,008E-04
9	7200	1,596E+07	4800	2,214E+02	4,511E-04
12	9600	1,596E+07	4800	2,951E+02	6,015E-04
15	12000	1,596E+07	4800	3,689E+02	7,519E-04
18	14400	1,596E+07	4800	4,427E+02	9,023E-04
21	16800	1,596E+07	4800	5,165E+02	1,053E-03
24	19200	1,596E+07	4800	5,903E+02	1,203E-03
27	21600	1,596E+07	4800	6,641E+02	1,353E-03
30	24000	1,596E+07	4800	7,378E+02	1,504E-03
33	26400	1,596E+07	4800	8,116E+02	1,654E-03
36	28800	1,596E+07	4800	8,854E+02	1,805E-03
39	31200	1,596E+07	4800	9,592E+02	1,955E-03
42	33600	1,596E+07	4800	1,033E+03	2,105E-03
45	36000	1,596E+07	4800	1,107E+03	2,256E-03
48	38400	1,596E+07	4800	1,181E+03	2,406E-03
51	40800	1,596E+07	4800	1,254E+03	2,556E-03
54	43200	1,596E+07	4800	1,328E+03	2,707E-03
57	45600	1,596E+07	4800	1,402E+03	2,857E-03

Lanjutan tabel 5.1

60	48000	1,596E+07	4800	1,476E+03	3,008E-03
63	50400	1,596E+07	4800	1,549E+03	3,158E-03
66	52800	1,596E+07	4800	1,623E+03	3,308E-03
69	55200	1,596E+07	4800	1,697E+03	3,459E-03
72	57600	1,596E+07	4800	1,771E+03	3,609E-03

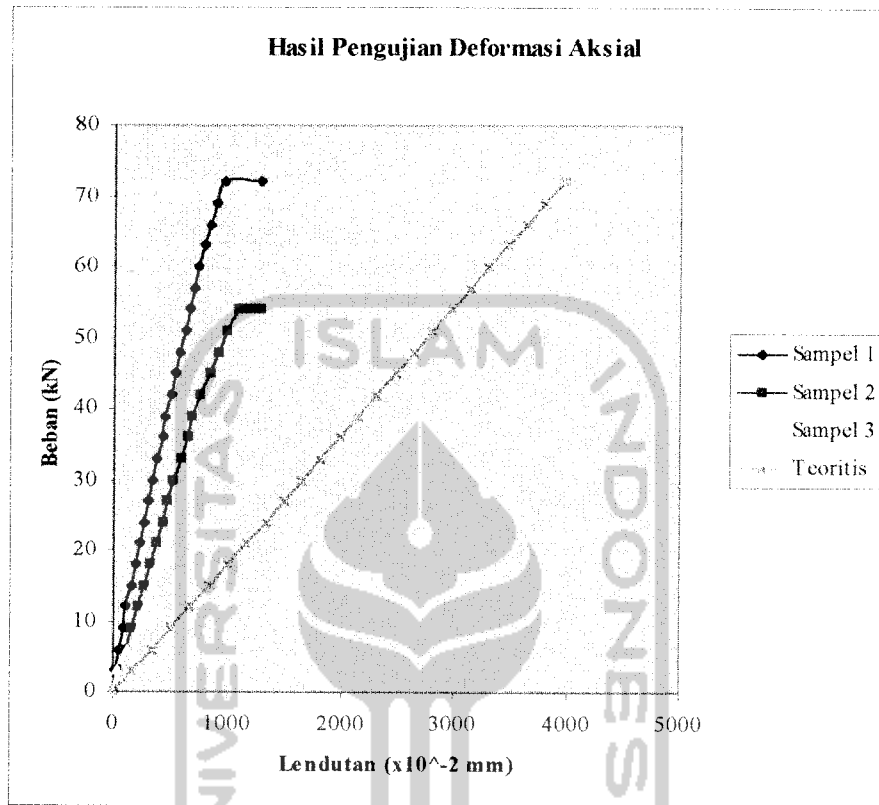
2. Hubungan Beban-Lendutan Hasil Penelitian

Pengujian gelagar plat dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada sampel gelagar plat tersebut diberi pembebanan dua titik secara bertahap dengan interval pembebanan 3 kN pada setiap tahap pembebanan, kemudian dipasang dial guage sebanyak tiga buah yang diletakkan dibawah model benda uji untuk mengetahui lendutannya. Lendutan yang terjadi dicatat, yang hasilnya disajikan pada Tabel 5.2. Untuk hasil selengkapnya disajikan dalam lampiran.

Tabel 5.2 Perhitungan beban-lendutan hasil penelitian

Dial 2 (x10 ⁻² mm)	Dial 3 (x10 ⁻² mm)	Dial 4 (x10 ⁻² mm)	Beban (kN)	Momen (kNm)	Kelengkungan (mm ⁻¹)
0	0	0	0	0	0
19	19	18	3	2400	1,5625E-08
52	53	52	6	4800	3,125E-08
79	84	78	9	7200	1,71875E-07
105	115	105	12	9600	3,125E-07
141	153	138	15	12000	4,21875E-07
176	191	172	18	14400	5,3125E-07
209	228	204	21	16800	6,71875E-07
239	262	234	24	19200	7,96875E-07
270	297	264	27	21600	9,375E-07
303	334	298	30	24000	1,04688E-06
341	376	335	33	26400	1,1875E-06
377	418	372	36	28800	1,35938E-06
408	452	401	39	31200	1,48438E-06
442	490	436	42	33600	1,59375E-06
481	535	476	45	36000	1,76563E-06
512	569	508	48	38400	1,84375E-06
553	614	549	51	40800	1,96875E-06

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 5.4.

Tabel 5.4 Analisa kekakuan dari data hubungan beban-lendutan

Nama Sampel	Beban P (kN)	Lendutan (Δ) ($\times 10^{-2}$ mm)	Kekakuan (P/Δ) (kN/mm)	Kekakuan Rata-rata (%)
1	72	963	7,477	100
2	54	1083	4,986	66,690
3	33	796	4,146	55,455

Dari Tabel 5.4 dapat diamati dan diteliti pengaruh pengaku transversal dan longitudinal terhadap badan pada kekuatan lentur gelagar plat dan perilaku lendutan yang terjadi pada benda uji.

5.1.2 Hubungan Momen-Kelengkungan

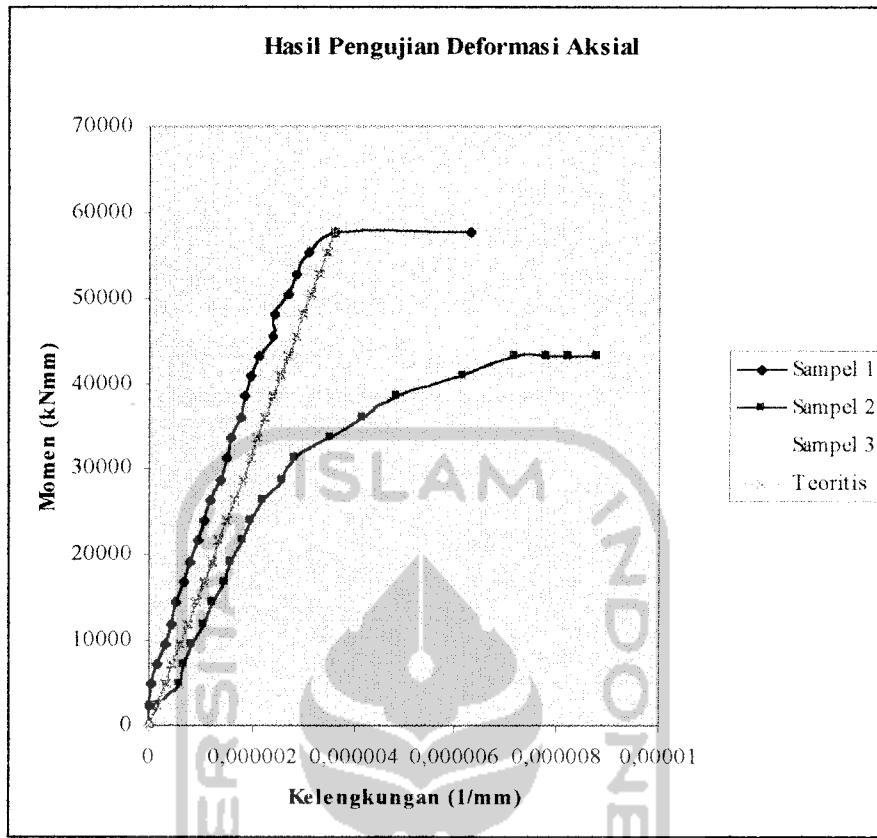
1. Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

Mengacu pada tulisan *Park-Pauley*, nilai momen dan kelengkungan dapat dicari. Tabel hasil perhitungan momen kelengkungan secara teoritis disajikan pada Tabel 5.1 dan grafiknya pada Gambar 5.2.

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 3.70.

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 *Central Different Method*, dari data pembacaan dial dapat dicari momen dan kelengkungan seperti yang terlihat pada Tabel 5.2, untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 5.2 Grafik hubungan momen-kelengkungan hasil penelitian dan teoritis

Dari Tabel 5.2 dapat digambarkan grafik momen-kelengkungan yang terlihat pada Gambar 5.2, dan untuk hasil selengkapnya disajikan dalam lampiran.

3. Analisa Data Hubungan Momen-Kelengkungan

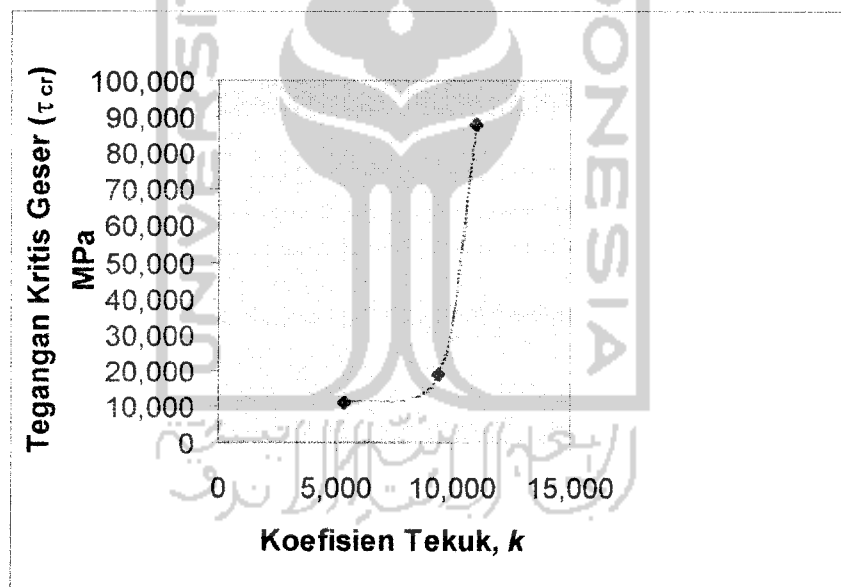
Hubungan momen-kelengkungan menunjukkan kekakuan. Dalam hal ini didapat dari M/Φ , faktor kekakuan pada gelagar plat secara umum mempunyai perilaku yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dilihat pada pola grafik M/Φ yang diperoleh dari data laboratorium. Dari grafik yang terlihat dalam Gambar 5.2 maka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

Tabel 5.5 Analisa kekakuan dari data hubungan momen-kelengkungan

Nama Sampel	Momen (kNmm)	Kelengkungan (mm^{-1})	EI ($\times 10^3 \text{ kNmm}^{-2}$)	Momen (%)	Kelengkungan (%)
1	57600	3.610E-06	15955678.67	100	100
2	43200	7.156E-06	6036892.119	75	37.835
3	26400	3.703E-06	7129354.577	45,833	44.682

5.1.3. Hubungan Aspect Rasio (a/h) Dengan Nilai Koefisien Tekuk (k)

Hubungan aspect ratio (a/h) dengan nilai k menunjukkan tegangan kritis (τ_{cr}), dalam hal ini didapat dari Persamaan 3.38. Peningkatan tegangan kritis (τ_{cr}), terjadi bila nilai aspect ratio (a/h) mengecil sehingga terjadi peningkatan nilai k



Gambar 5.3 Hubungan koefisien tekuk (k) dengan tegangan kritis (τ_{cr})

1. Analisa Data Hubungan Aspect Rasio (a/h) dengan Nilai Koefisien Tekuk (k)

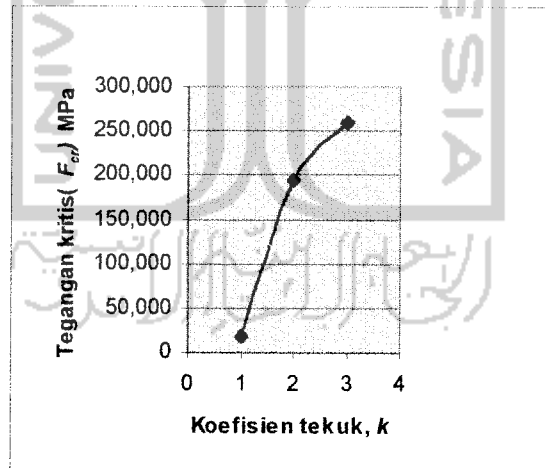
Dari hasil pengamatan grafik hubungan Aspect Rasio (a/h) dengan nilai koefisien tekuk (k) dapat disimpulkan tentang tegangan geser kritis (τ_{cr}) pada nilai k yang terbesar, disajikan dalam tabel 5.6

Tabel 5.6 Analisa Tegangan Kritis (τ_{cr}), Hubungan Aspect Ratio (a/h) dan Koefisien Tekuk (k)

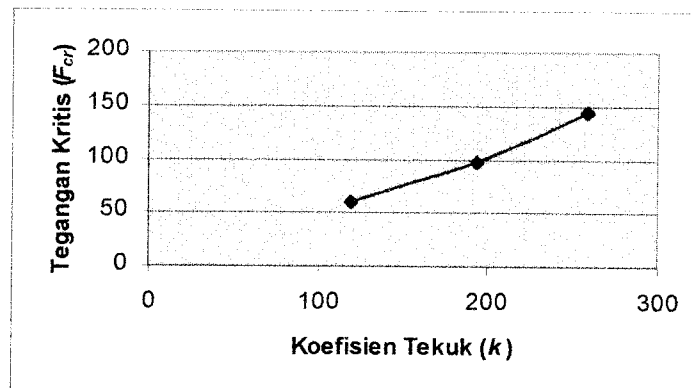
Nama Sampel	Aspect Ratio (a/h)	Koefisien Tekuk (k)	Tegangan Geser Kritis (τ_{cr}) MPa	Tegangan Geser Kritis (τ_{cr}) %
1	2,0	10,966	87,980	100
2	1,0	9,340	18,734	21,993
3	7,333	5,410	10,853	12,336

5.1.4 Nilai Koefisien Tekuk (k) Berdasarkan Hubungan Momen Dengan Tegangan Kritis (F_{cr})

Hubungan momen dengan tegangan kritis (F_{cr}) menunjukkan nilai koefisien tekuk (k) plat, hal ini didapat dari Persamaan 3.79 dan 3.80. Peningkatan tegangan kritis dapat menaikkan nilai k



Gambar 5.4 Hubungan koefisien tekuk (k) dengan tegangan kritis (F_{cr}) plat sayap



Gambar 5.5 Hubungan koefisien tekuk (k) dengan tegangan kritis (F_{cr}) plat badan

1. Analisa Data Nilai Koefisien Tekuk (k) Berdasarkan Hubungan Momen Dengan Tegangan Kritis (F_{cr})

Dari hasil pengamatan graik hubungan koefisien tekuk (k) dengan tegangan kritis (F_{cr}) plat sayap dan plat badan, dapat disimpulkan bahwa nilai k relatif besar pada tegangan kritis (F_{cr}) yang besar yang disajikan dalam tabel 5.7 dan 5.8

Nama Sampel	Momen (kNmm)	Koefisien Tekuk (k) Plat Sayap	Tegangan Geser Kritis (F_{cr}) MPa	Tegangan Geser Kritis (F_{cr}) %
1	57600	0,360	289	100
2	43,200	0,270	217	75
3	26,400	0,166	133	46

Tabel 5.7 Analisa Koefisien Tekuk (k) Plat Sayap Berdasarkan Hubungan Momen Dan Tegangan Kritis (F_{cr})

Nama Sampel	Momen (kNmm)	Koefisien Tekuk (k) Plat Badan	Tegangan Geser Kritis (F_{cr}) MPa	Tegangan Geser Kritis (F_{cr}) %
1	57600	129	259	100
2	43,200	97	194	75
3	26,400	59	118	46

Tabel 5.8 Analisa Koefisien Tekuk (k) Plat Badan Berdasarkan Hubungan Momen Dan Tegangan Kritis (F_{cr})

5.1.5. Analisa Kerusakan Pada Benda Uji

Kerusakan yang terjadi pada ketiga benda uji penelitian ini adalah terjadi tekuk arah laterai pada plat sayap dan kelengkungan pada plat badan. Kerusakan pada sayap merupakan kerusakan akibat gaya tekan sebagai manifestasi momen yang diterima, sedangkan plat badan mengalami kerusakan yang diakibatkan tegangan geser yang terjadi. Letak kerusakan pada sampel uji rata-rata terletak dibawah 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 didealisir 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 pada gelagar tetap, sedangkan lendutannya mengalami peningkatan. Kuat lentur paling besar dialami oleh gelagar yang menggunakan pengaku transversal dan longitudinal dengan $h/t_w = 300$ pada beban 72 kN. Sedangkan kuat lentur yang paling kecil dialami oleh gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal dengan $h/t_w = 300$ pada beban 32 kN.

Dari hasil penelitian didapatkan hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$), dalam hal ini adalah nilai kekakuan dari masing-masing gelagar. Nilai kekakuan (K) didapat dari $P-\Delta$, kekakuan pada gelagar secara umum mempunyai perilaku yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada grafik beban-lendutan yang diperoleh dari data laboratorium.

Sebagai pembandingan atau standart kekakuan dipakai gelagar yang diberi pengaku transversal dan longitudinal dengan menganggap besar kekakuannya yaitu 100 %. Dengan demikian dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai kekakuan gelagar plat. Hal ini dapat dilihat pada tabel 5.4

Untuk gelagar yang diberi pengaku transversal dan longitudinal dengan $h/t_w = 300$ rata-rata beban maksimumnya adalah 72 kN dan mempunyai nilai kekakuan (K) sebesar 7,477 kN/mm. Pada gelagar yang hanya memakai pengaku transversal dengan $h/t_w = 300$ rata-rata beban maksimumnya adalah 54 kN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 4,986 kN/mm. Sedangkan pada gelagar tanpa pengaku transversal dan longitudinal dengan $h/t = 300$, rata-rata beban maksimumnya adalah 33 kN dan mempunyai nilai kekakuan sebesar 5,132 kN/mm.

Beban maksimum gelagar mengalami penurunan sebesar 25 % dan nilai kekakuan mengalami penurunan sebesar 33,310 % terhadap gelagar yang hanya memakai pengaku transversal (tanpa pengaku longitudinal). Beban maksimum gelagar plat mengalami penurunan sebesar 54,167 % dan nilai kekakuan mengalami penurunan sebesar 31,357 % terhadap gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal.

5.2.2 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 linear, setelah mencapai kuat lentur ultimit gelagar mulai mengalami kerusakan yaitu melengkung kearah samping yang cukup signifikan sehingga sedikit terjadi penurunan kuat lentur.

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 yang kedua, kuat lentur gelagar cenderung linear yaitu gelagar mempunyai kuat lentur yang sama dengan kuat lentur ultimit yang kedua, yang mengalami peningkatan hanyalah kelengkungan gelagar, sedangkan momen gelagar tidak mengalami peningkatan.

Kuat lentur paling besar dialami oleh gelagar yang diberi pengaku transversal dan longitudinal dengan $h/t_w = 300$ yaitu pada momen sebesar 57600

kNmm, sedangkan kuat lentur paling kecil dialami oleh gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal dengan $h/t_w = 300$ yaitu pada momen sebesar 26400 kNmm. Kelengkungan paling panjang terjadi pada gelagar yang diberi pengaku transversal dan longitudinal, sedangkan kelengkungan paling pendek terjadi pada gelagar yang hanya diberi pengaku transversal saja.

Hubungan momen kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan, seperti yang terdapat pada tabel 5.6, maka dapat dilakukan analisa data momen dengan kelengkungan sehingga dapat diperoleh perbandingan grafik momen kelengkungan gelagar plat dengan tiga model gelagar, yaitu gelagar dengan pengaku transversal dan longitudinal, gelagar dengan pengaku transversal dan gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal.

Sebagai pembanding atau standar kekakuan gelagar plat dipakai gelagar plat yang menggunakan pengaku transversal dan longitudinal dengan rasio tinggi terhadap tebal badan $(h/t_w) = 300$ 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 pengaku transversal dan longitudinal mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 15955678670 kNmm² pada saat gelagar menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 57600 kNmm. Pada gelagar yang hanya diberi pengaku transversal saja mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 6036892119 kNmm² pada saat gelagar menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 43200 kNmm dan gelagar plat mengalami penurunan kekakuan

sebesar 62,165 % dan nilai momen sebesar 25 %. Pada gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal mempunyai nilai faktor kekakuan sebesar 8045327 kNmm² pada saat gelagar menerima beban maksimum pertama dengan nilai momen sebesar 26400 kNmm dan gelagar plat mengalami penurunan nilai kekakuan sebesar 49,571 % dan nilai momen sebesar 54,167 %.

5.2.3 Kuat Geser Gelagar Plat Ditinjau dari Hubungan Aspect Ratio (a/h) dengan Koefisien Tekuk (k)

Dengan mengamati gambar, yaitu grafik hubungan koefisien tekuk (k) dengan tegangan kritis geser (τ_{cr}) gelagar memiliki kuat geser yang berbeda. Gelagar yang diberi pengaku kuat gesernya cenderung lebih besar dari yang tidak diberi pengaku.

Kuat geser paling besar dialami oleh gelagar yang diberi pengaku transversal dan longitudinal dengan $a/h = 2$ dan $h/t_w = 300$ yaitu pada beban 72 kN, sedangkan kuat geser paling kecil dialami oleh gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal dengan $h/t_w = 300$ yaitu pada beban 32 kN.

Koefisien tekuk k paling besar terjadi pada gelagar yang diberi pengaku transversal dan longitudinal, sedangkan nilai k paling kecil terjadi pada gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal.

Hubungan aspect ratio a/h dengan koefisien tekuk k menunjukkan tegangan kritis geser, seperti yang terdapat pada tabel 5.6, maka dapat dilakukan analisa data hubungan aspect ratio a/h dengan koefisien tekuk sehingga dapat diperoleh perbandingan grafik tegangan kritis geser gelagar plat dengan tiga model gelagar,

yaitu gelagar dengan pengaku transversal dan longitudinal, gelagar dengan pengaku transversal dan gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal.

Sebagai pembanding atau standar nilai k gelagar plat dipakai gelagar plat yang menggunakan pengaku transversal dan longitudinal dengan rasio tinggi terhadap tebal badan (h/t_w) = 300 dengan menganggap besar nilai tegangan kritis geser sebesar 100 %. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh besarnya kenaikan atau penurunan tegangan kritis geser dari gelagar.

Pada gelagar plat dengan pengaku transversal dan longitudinal mempunyai tegangan kritis sebesar 87,980 MPa pada saat gelagar menerima beban maksimum 72 kN . Pada gelagar yang hanya diberi pengaku transversal saja mempunyai tegangan kritis sebesar 18,734 MPa pada saat gelagar menerima beban maksimum 54 kN dan gelagar plat mengalami penurunan tegangan kritis sebesar 78,007 % dan. Pada gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal mempunyai tegangan kritis sebesar 10,853 MPa pada saat gelagar menerima beban maksimum 33 kN dan gelagar plat mengalami penurunan tegangan kritis sebesar 87,664 % .

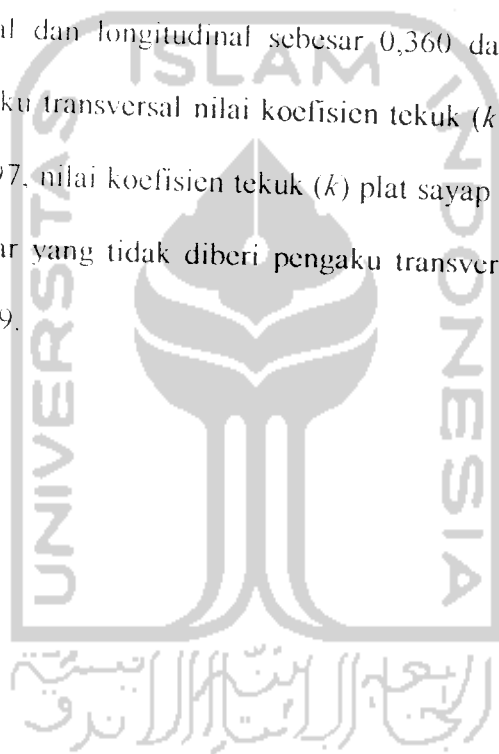
5.2.4 Nilai Koefisien Tekuk (k) Plat Sayap Dan Badan Berdasarkan Hubungan

Momen Dengan Tegangan Kritis (F_{cr})

Pada hasil penelitian didapatkan beban maksimum, momen dan tegangan kritis (F_{cr}) dari tiap-tiap benda uji. Dengan mengamati gambar, yaitu grafik hubungan Momen dengan Koefisien Tekuk (k) gelagar memiliki nilai koefisien tekuk (k) plat sayap dan badan yang berbeda. Gelagar yang diberi pengaku, nilai koefisien tekuk (k) plat sayap dan badan cenderung lebih besar dari yang tidak diberi pengaku.

Nilai koefisien tekuk (k) Plat sayap paling besar dialami oleh gelagar yang diberi pengaku transversal dan longitudinal dengan $a/h = 2$ dan $h/t_w = 300$ yaitu pada beban 72 kN, dan momen 57600 kNmm sedangkan nilai koefisien tekuk (k) plat sayap paling kecil dialami oleh gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal dengan $h/t_w = 300$ yaitu pada beban 32 kN dan momen 26400 kNmm

Nilai koefisien tekuk (k) plat sayap dan plat badan pada gelagar plat dengan pengaku transversal dan longitudinal sebesar 0,360 dan 129. Pada gelagar yang hanya diberi pengaku transversal nilai koefisien tekuk (k) plat sayap dan plat badan sebesar 0,270 dan 97, nilai koefisien tekuk (k) plat sayap dan plat badan paling kecil dialami oleh gelagar yang tidak diberi pengaku transversal dan longitudinal, yaitu sebesar 0,165 dan 59.



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 pengaku transversal dan longitudinal dengan rasio tinggi terhadap tebal badan konstan ($h/t_w = 300$), yaitu sebagai berikut :

1. Pemberian pengaku transversal dan longitudinal pada badan gelagar sangat berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan gelagar plat, yaitu semakin besar kekuatan yang mampu ditahan oleh gelagar plat dan kekakuan pada gelagar plat juga meningkat, serta semakin besar momen yang dapat ditahan.
2. Grafik hubungan beban lendutan ($P-\Delta$) menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima oleh gelagar, lendutan (Δ) gelagar plat semakin besar.
3. Grafik hubungan antara momen-kelengkungan ($M-\Phi$) menunjukkan bahwa semakin besar momen yang terjadi, maka faktor kekakuan lentur (EI) gelagar plat semakin besar.

4. Grafik hubungan koefisien kekakuan k dengan tegangan kritis geser τ_{cr} terlihat bahwa semakin besar nilai k , maka tegangan geser kritis τ_{cr} semakin besar.

6.2 Saran

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut tentang gelagar plat dengan pegaku transversal dan longitudinal dengan variasi rasio perbandingan tinggi terhadap tebal badan (h/t_w).
2. Perlu dicari pemecahan untuk mengatasi kerusakan akibat tekuk lateral pada plat sayap tekan, yaitu dengan memberi pengaku atau dukungan lateral pada sayap tekan.
3. Pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pengamatan dalam membaca alat uji dan kerusakan yang terjadi pada benda uji sehingga 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.

DAFTAR PUSTAKA

1. Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1991, **STRUKTUR BAJA**, Edisi Kesatu, Erlangga, Jakarta
2. Charles G. Salmon dan John E. Johnson, Wira, 1991, **STRUKTUR BAJA**, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta
3. Joseph E. Bowles, 1985, **STRUKTUR STEEL DESIGN**, McGraw-Hill Book Company, Inc.
4. Leonard Spiegel, George F. Limbrunner, Bambang Suryoatmono, 1991, **DESAIN BAJA STRUKTURAL TERAPAN**, PT. ERESKO, Bandung.
5. Lynn S. Beedle, 1958, **PLASTIC DESIGN OF STEEL FRAMES**, Johns Willey & Sons, Inc.
6. Timoshenko dan Woinowski-Kriger, 1959, **THEORY OF PLATES AND SHELLS**, McGraw-Hill Book Company, Inc, New York.
7. Faherty, K.F dan Willason, G.T, 1989. **WOOD ENGINEERING CONTRUCTION HANDBOOK**, McGraw - Hill Publising Company.
8. Friedrich Bleich, a.a, 1952, **STABILITY OF WEB PLATES OF GIRDERS**,
9. Lambert Tall, 1974, **STRUCTURAL STEEL DESIGN**, Second Edition, The Ronald Press Company, New York.

KARTU PENGERJA TUGAS AKHIR

NO. MHS.	BID. STUDI
93 310 237	Struktur
93 310 255	Struktur

Yogyakarta, 07 Januari 2002

Kartu ini dibuat dengan kekuatan

Bulan Ke: SEPTEMBER - FEBRUARI

Bulan Ke:	Des.	Jan.	Peb.
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Ketua Rohman N., MT.

Anggota Eajar Budiono, MT.

Yogyakarta, 07 Januari 2002

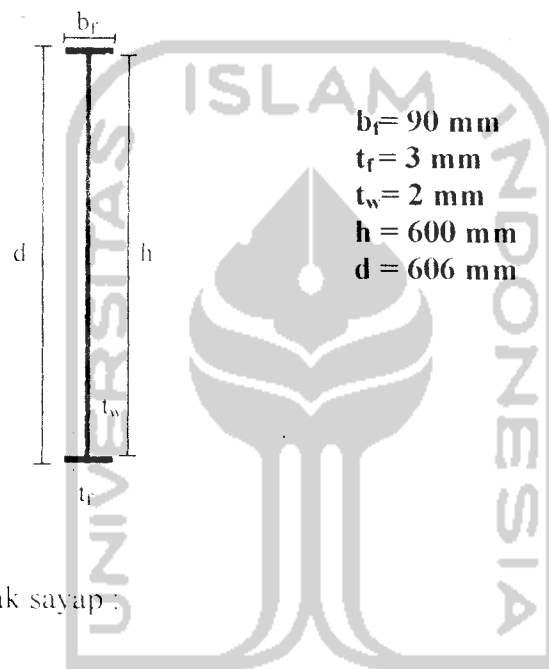
Dekan

(Ir. H. Munadhir, MS.)



LAMPIRAN 2

Perhitungan Benda Uji



♦ Syarat kompak sayap :

$$\frac{h}{2t_f} \leq \frac{95}{\sqrt{F_y}} = 15,8 \quad \text{Cek} = \frac{90}{2 \cdot 3} = 15 \leq 15,8 \rightarrow OK$$

♦ Syarat kompak badan :

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{5250}{\sqrt{F_y}} = 333 \quad \text{Cek} = \frac{h}{t_w} = 300 \leq 333 \rightarrow OK$$

♦ Syarat penampang terpadu :

$$\frac{b}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_y}} = 10,8$$

$$Cek = \frac{90}{2,3} = 15 \geq 10,8 \rightarrow \text{penampang tidak terpadu}$$

-Karena penampang tidak terpadu, maka :

“tegangan ijin lentur”(F_b) =

$$F_b = F_y \left[1,075 - 0,005 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right]$$

$$M = F_b \cdot S_x \rightarrow S_x = \frac{I_{tot}}{y}$$

$$I_{tot} = 2I_{sayap} + I_{badan} = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 90 \cdot (3)^3 + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot (600)^3 = 36000405 \text{ mm}^4$$

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

$$S_x = \frac{36000405}{303} = 118813,218 \text{ mm}^3$$

$$F_b = F_y \left[1,075 - 0,075 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right]$$

$$F_b = 36 [1,075 - 0,005 \cdot (15) \cdot (6)]$$

$$= 22,5 \text{ ksi} = 155 \text{ MPa}$$

$$M = F_b \cdot S_x = 155 \cdot 118813,2178 = 18416048,76 \text{ N.mm}$$

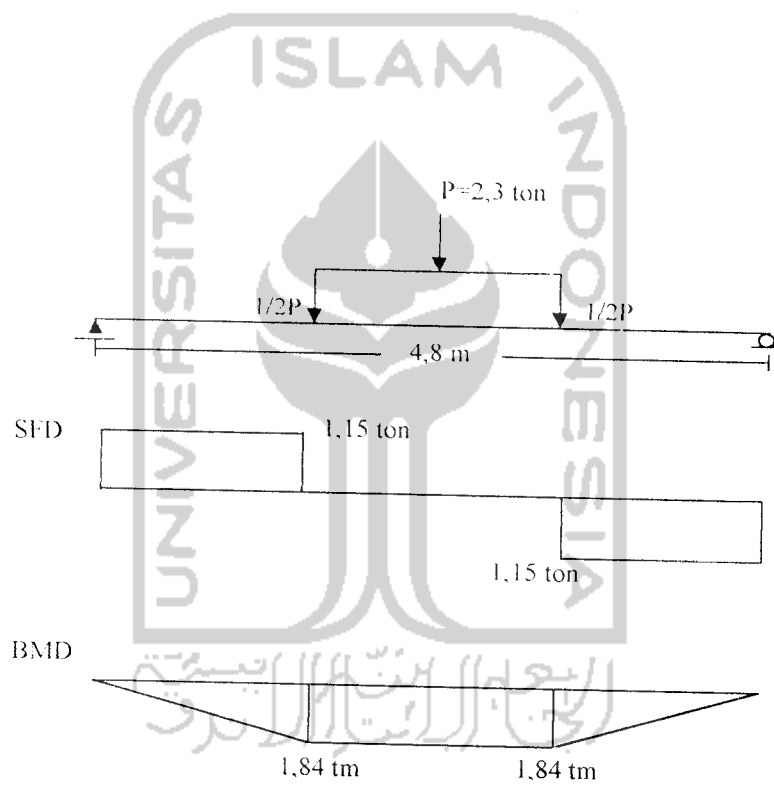
$$= 18,4 \text{ kNm}$$

$$= 1,84 \text{ tm}$$

Tegangan Lentur :

$$f_b = \frac{M}{S_x} = \frac{18416048,76}{118813,2178} = 155 \text{ MPa}$$

$$M = \frac{1}{6} PL \Rightarrow P = \frac{6M}{L} = \frac{6 \cdot 1,84}{4,8} = 2,3 \text{ ton}$$



$$V = 1,15 \text{ ton} = 11,5 \text{ kN} = 11500 \text{ N}$$

Tegangan Geser :

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{11500}{1212} = 9,5 \text{ N/mm}^2 = 9,5 \text{ MPa}$$

Cek : $f_v = 9,5 \leq 0,4 F_y = 99,2 \rightarrow OK$

♦ Pengaku

Tegangan geser pada panel ujung :

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{11500}{1212} = 9,5 \frac{N}{mm^2} = 9,5 \text{ MPa}$$

tegangan geser tjin :

$$f_v = \frac{248.0.088}{2.89} = 7.55 < f_v = 9,5 \text{ MPa (pengaku antara diberi)}$$

Jarak bersih antara kedua pengaku ujung $L = 4,8 \text{ m}$

$$\frac{a}{h} = \frac{600}{600} = 1 < 3 \rightarrow OK \text{ (} < a/h \text{ maks yang diperbolehkan)}$$

$$a/h \geq 1 \rightarrow a/h = 1$$

$$\text{maka, } k = \frac{4,0}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} + 5,34 = 9,35$$

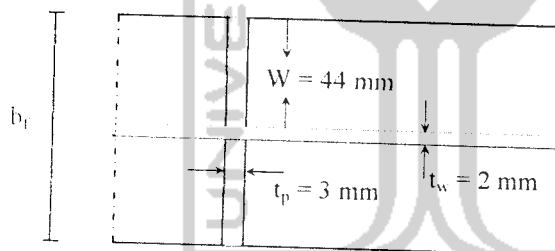
$$C_v = \frac{310000.k}{F_y \left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \frac{310000.9,34}{248(300)^2} = 0,130 < 1,0$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan geser ijin, } F_v &= \frac{I_y}{2,89} \left[C_v + \frac{1 - C_v}{1,15 \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h} \right)^2}} \right] \\
 &= \frac{248}{2,89} \left[0,130 + \frac{1 - 0,130}{1,15 \sqrt{1 + (1)^2}} \right] \\
 &= 57,061 \text{ MPa} > 9,5 \text{ MPa} \dots \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\frac{w}{t} = \frac{95}{\sqrt{I_y}} = 15,8$$

Digunakan tebal pengaku (t_p) = 3 mm

Lebar pengaku $w = 3 \cdot 15,8 = 47,4$ mm, dipakai $w = 44$ mm



Syarat kekakuan :

$$I_s = \frac{\lambda_o f^3 h}{10,92} \geq \left(\frac{h}{50} \right)^4 = 20736 \text{ mm}^4$$

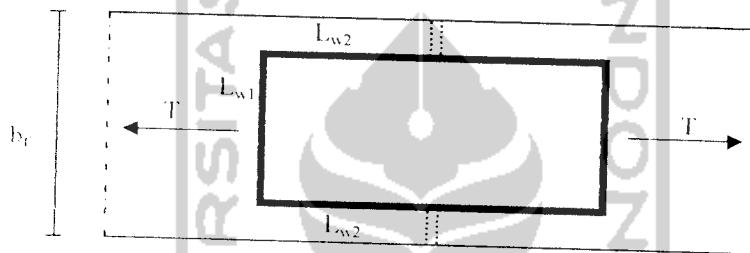
$$\lambda_o = 10,92 \left[2,4 \left(\frac{a}{h} \right)^2 - 0,13 \right]$$

$$\lambda_o = 10,92 [2,4(1)^2 - 0,13] = 93,2$$

$$I_s = \frac{93,2(2)^3 600}{10,92} = 40967,03 \text{ mm}^4 \geq \left(\frac{h}{50}\right)^4 \rightarrow OK$$

Karena panjang plat yang tersedia = 2,4 m, maka untuk memenuhi L rencana, perlu adanya sambungan dengan menggunakan plat sambung yang dilas pada sambungan disayap dan dibadan.

a). Sambungan di sayap, digunakan plat sambung 60 x 50 x 3 mm



$$T = \frac{M}{0,95 \cdot d} = \frac{1,84 \cdot 10^3}{0,95 \cdot 606} = 3,19 \Rightarrow T = 31900 N$$

Dipakai E60 $\Rightarrow E = 60 \text{ ksi} = 413,7 \text{ MPa}$

$$R_w = t_c \cdot 0,3 \cdot F_u$$

$$t_c = a \rightarrow a = 3 \text{ mm}$$

$$R_w = 3 \cdot 0,3 \cdot 413,7 = 372,33 \text{ N/mm}$$

Setengah plat sambung yang ditinjau menahan $T = 31900 \text{ N}$

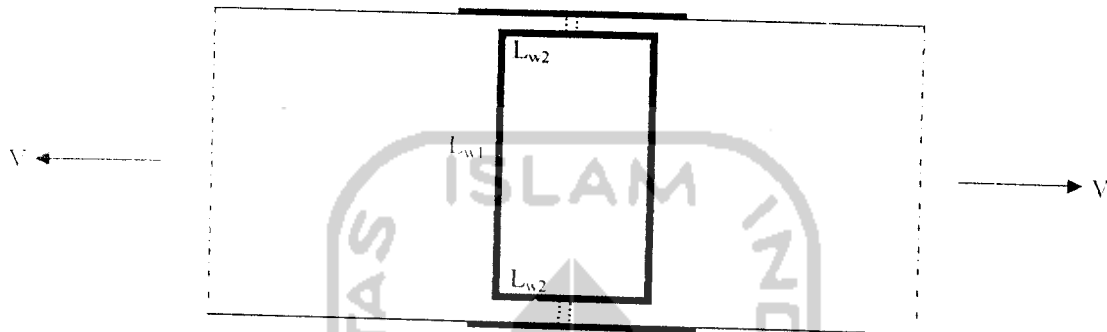
$$\text{Panjang las perlu} = L_w = 31900 / 372,33 = 85,677 \text{ mm}$$

Dipakai, $L_1 = 50 \text{ mm}$, $L_2 = 20 \text{ mm}$

$$L_w = 2 \cdot 20 + 50 = 90 \text{ mm}$$

$$L_w \cdot R_w = 90 \cdot 372,33 = 33509,7 \text{ N} > 31900 \text{ N}$$

b) Sambungan dibadan, dipakai plat sambung 500 x 200 x 3 mm



$$V = 11500 \text{ N}$$

Setengah plat sambung yang ditinjau menahan gaya sebesar $\frac{1}{2} V = 5750 \text{ N}$

$$\text{Panjang las perlu : } L_w = 5750 / 372,33 = 15,44 \text{ mm}$$

Dipakai $L_1 = 500 \text{ mm}$, $L_2 = 100 \text{ mm}$

$$L_w = 500 + 2 \cdot 100 = 700 \text{ mm}$$

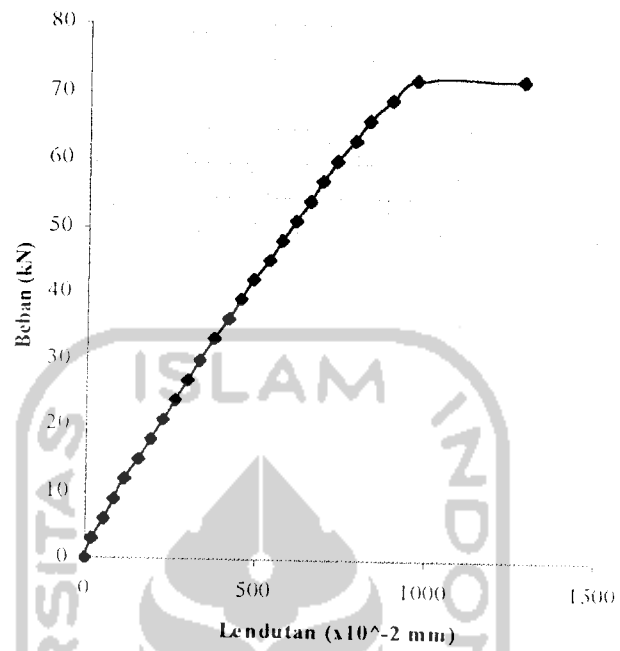
$$L_w \cdot R_w = 700 \cdot 372,33 = 260631 \text{ N} > V = 11500 \text{ N} \dots\dots\dots \text{OK}$$

LAMPIRAN III

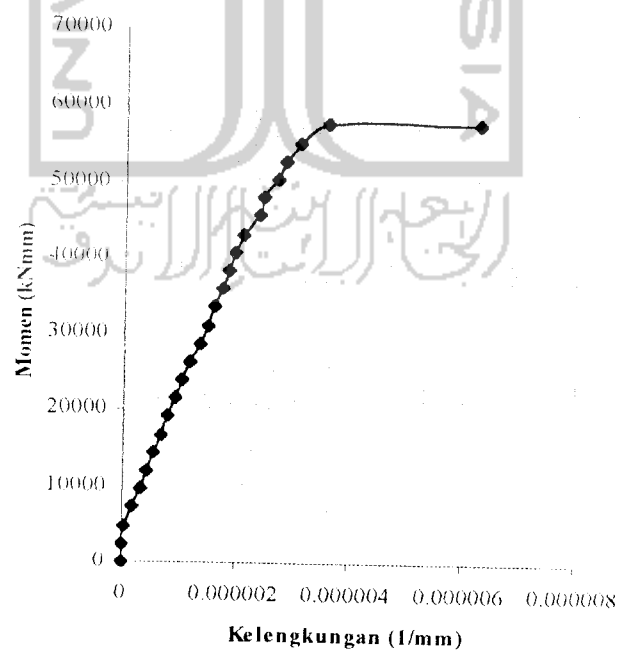
Hasil pengujian deformasi aksial sampel 1

Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 4 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (mm^{-1})
0	0	0	0	0	0
19	19	18	3	2400	1.5625E-08
52	53	52	6	4800	3.125E-08
79	84	78	9	7200	1.71875E-07
105	115	105	12	9600	3.125E-07
141	153	138	15	12000	4.21875E-07
176	191	172	18	14400	5.3125E-07
209	228	204	21	16800	6.71875E-07
239	262	234	24	19200	7.96875E-07
270	297	264	27	21600	9.375E-07
303	334	298	30	24000	1.04688E-06
341	376	335	33	26400	1.1875E-06
377	418	372	36	28800	1.35938E-06
408	452	401	39	31200	1.48438E-06
442	490	436	42	33600	1.59375E-06
481	535	476	45	36000	1.76563E-06
512	569	508	48	38400	1.84375E-06
553	614	549	51	40800	1.96875E-06
588	652	581	54	43200	2.10938E-06
616	688	607	57	45600	2.39063E-06
659	733	650	60	48000	2.45313E-06
705	788	697	63	50400	2.71875E-06
740	829	735	66	52800	2.85938E-06
795	894	795	69	55200	3.09375E-06
845	963	850	72	57600	3.60938E-06
1087	1278	1067	72	57600	6.28125E-06

Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 1



Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 1

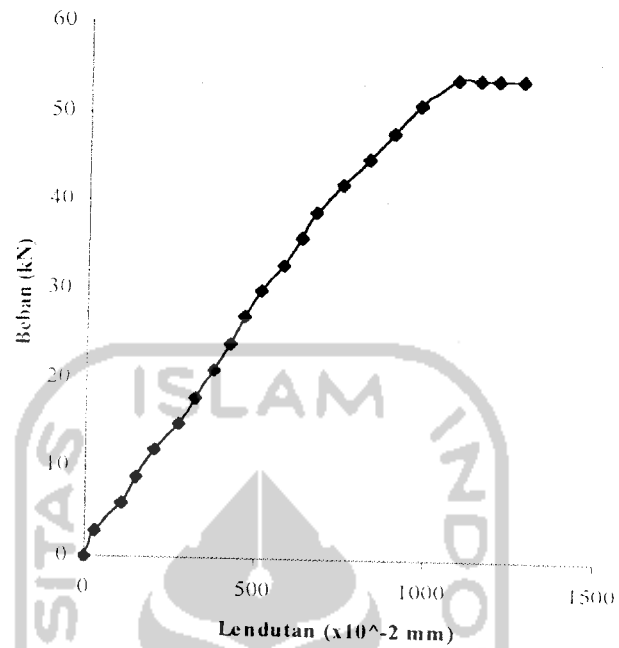


LAMPIRAN IV

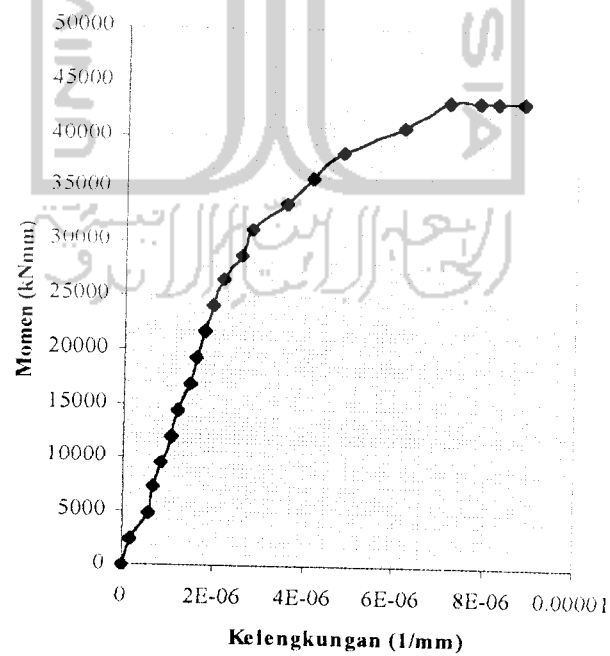
Hasil pengujian deformasi aksial sampel 2

Dial 2 (x10 ⁻² mm)	Dial 3 (x10 ⁻² mm)	Dial 4 (x10 ⁻² mm)	Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (mm ⁻¹)
0	0	0	0	0	0
27	30	21	3	2400	1.875E-07
103	105	70	6	4800	5.78125E-07
148	151	112	9	7200	6.5625E-07
192	204	162	12	9600	8.4375E-07
250	273	228	15	12000	1.0625E-06
292	323	277	18	14400	1.20313E-06
334	375	323	21	16800	1.45313E-06
373	420	365	24	19200	1.59375E-06
409	464	404	27	21600	1.79688E-06
449	512	448	30	24000	1.98438E-06
505	577	508	33	26400	2.20313E-06
545	633	555	36	28800	2.59375E-06
579	675	590	39	31200	2.82813E-06
631	750	641	42	33600	3.5625E-06
696	825	688	45	36000	4.15625E-06
769	899	720	48	38400	4.82813E-06
784	975	773	51	40800	6.14063E-06
861	1083	847	54	43200	7.15625E-06
903	1150	897	54	43200	7.8125E-06
945	1205	938	54	43200	8.23438E-06
974	1273	1010	54	43200	8.78125E-06

Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 2



Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 2



LAMPIRAN V

Hasil pengujian deformasi aksial sampel 3

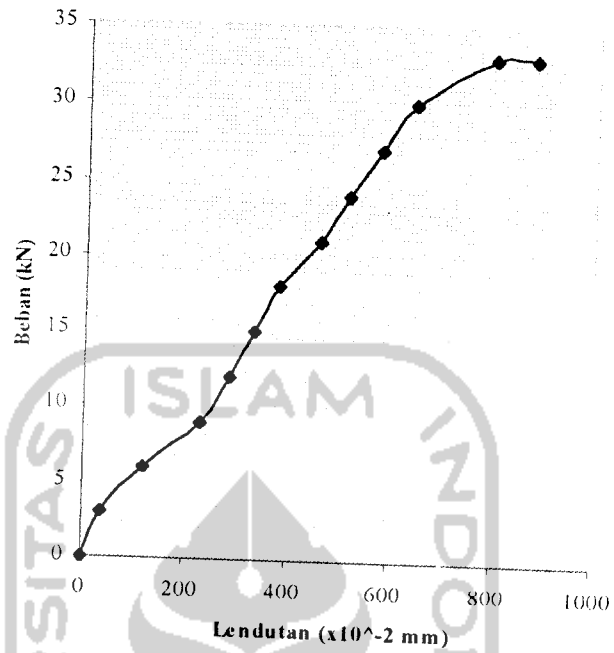
Dial 2 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 3 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 4 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (kN)	Momen (kNmm)	Kelengkungan (mm^{-1})
0	0	0	0	0	0
26	35	27	3	2400	2.65625E-07
84	119	97	6	4800	8.90625E-07
181	230	191	9	7200	0.000001375
224	285	243	12	9600	1.60938E-06
263	335	291	15	12000	1.8125E-06
309	382	315	18	14400	2.1875E-06
373	459	398	21	16800	2.29688E-06
435	517	440	24	19200	2.48438E-06
475	578	498	27	21600	2.85938E-06
523	643	553	30	24000	3.28125E-06
672	796	683	33	26400	3.70313E-06
752	878	761	33	26400	3.79688E-06

CATATAN KONSULTASI

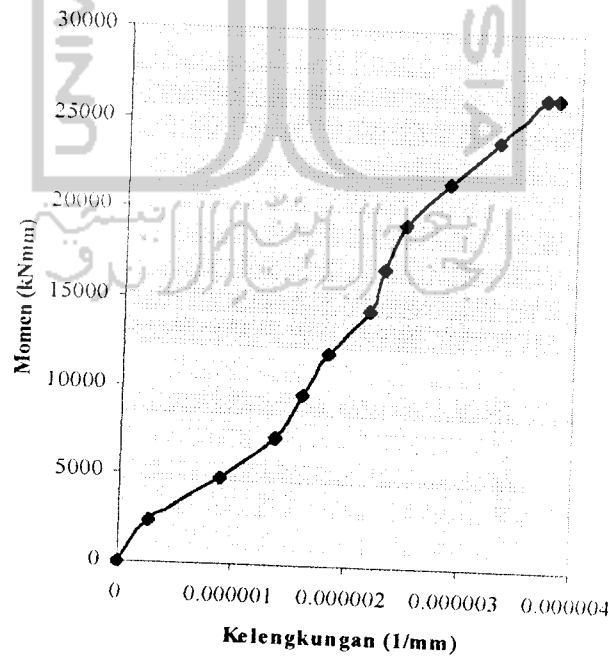
NO	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI
1	18/2/02	- Pengkajian awal dan dokumentasi - Pengkajian awal dan dokumentasi
2	19/8/02	pengkajian
3	10/9/02	perbaikan
4	27/9/02	lanjutan



Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 3



Hasil Pengujian Deformasi Aksial Sampel 3

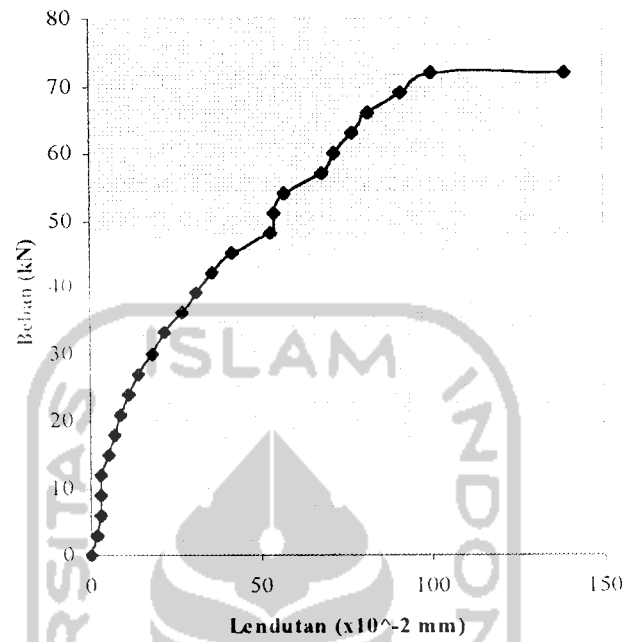


LAMPIRAN VI

Hasil pengujian deformasi lateral sampel 1

Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 5 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (kN)	Momen (kNm)
0	0	0	0
-1	2	3	2400
-5	3	6	4800
-7	3	9	7200
-10	3	12	9600
-17	5	15	12000
-22	7	18	14400
-26	9	21	16800
-28	11	24	19200
-30	14	27	21600
-30	18	30	24000
-31	22	33	26400
-32	27	36	28800
-33	31	39	31200
-33	36	42	33600
-33	42	45	36000
-33	53	48	38400
-31	54	51	40800
-29	57	54	43200
-24	68	57	45600
-21	72	60	48000
-19	77	63	50400
-17	82	66	52800
-15	91	69	55200
-4	100	72	57600
-2	139	72	57600

Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 1

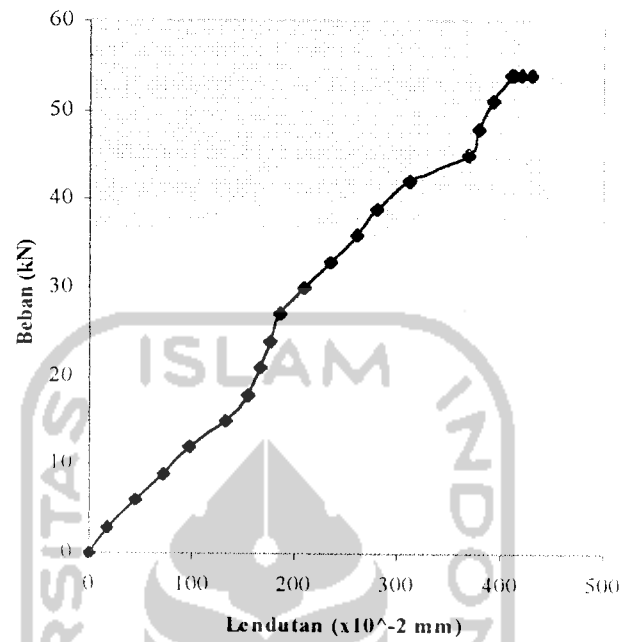


LAMPIRAN VII

Hasil pengujian deformasi lateral sampel 2

Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 5 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (kN)	Momen (kNmm)
0	0	0	0
8	17	3	2400
19	45	6	4800
28	72	9	7200
40	98	12	9600
135	133	15	12000
144	155	18	14400
155	166	21	16800
153	177	24	19200
150	187	27	21600
145	209	30	24000
141	235	33	26400
134	260	36	28800
131	280	39	31200
127	312	42	33600
119	369	45	36000
105	378	48	38400
153	393	51	40800
178	412	54	43200
180	420	54	43200
189	410	54	43200
199	430	54	43200

Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 2

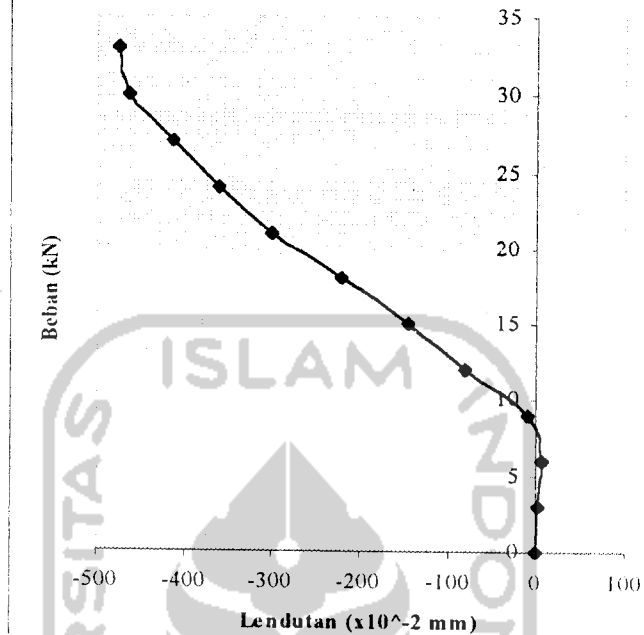


LAMPIRAN VIII

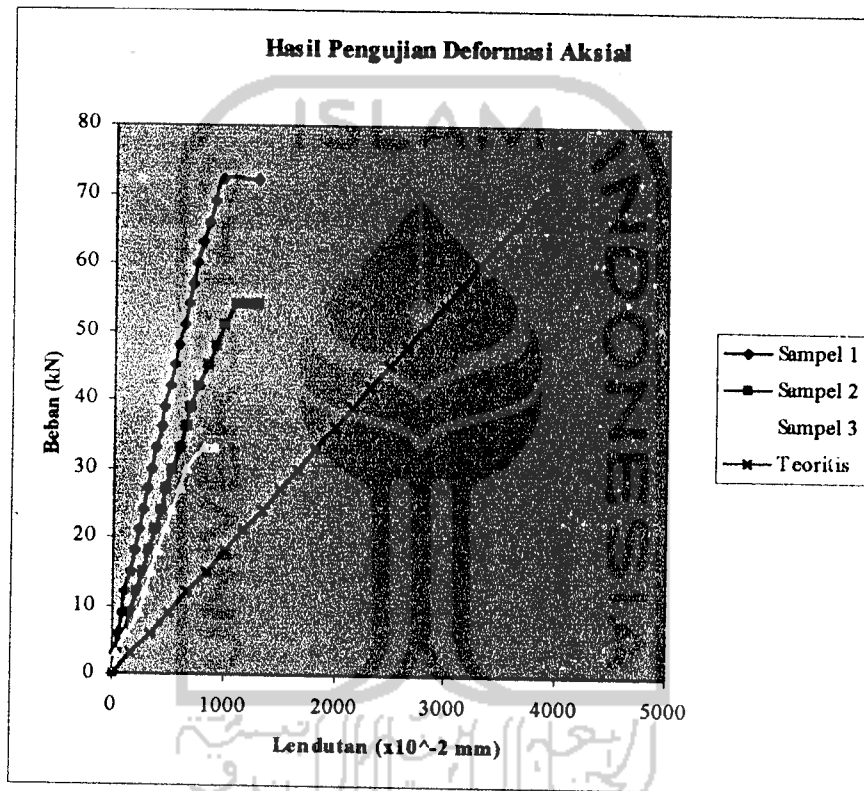
Hasil pengujian deformasi lateral sampel 3

Dial 1 ($\times 10^{-2}$ mm)	Dial 5 ($\times 10^{-2}$ mm)	Beban (kN)	Momen (kNmm)
0	0	0	0
2	2	3	2400
10	5	6	4800
13	-10	9	7200
15	-80	12	9600
15	-146	15	12000
20	-221	18	14400
24	-300	21	16800
-5	-361	24	19200
-15	-414	27	21600
-50	-464	30	24000
-110	-474	33	26400

Hasil Pengujian Deformasi Lateral Sampel 3



LAMPIRAN IX



Hasil Pengujian Deformasi Aksial

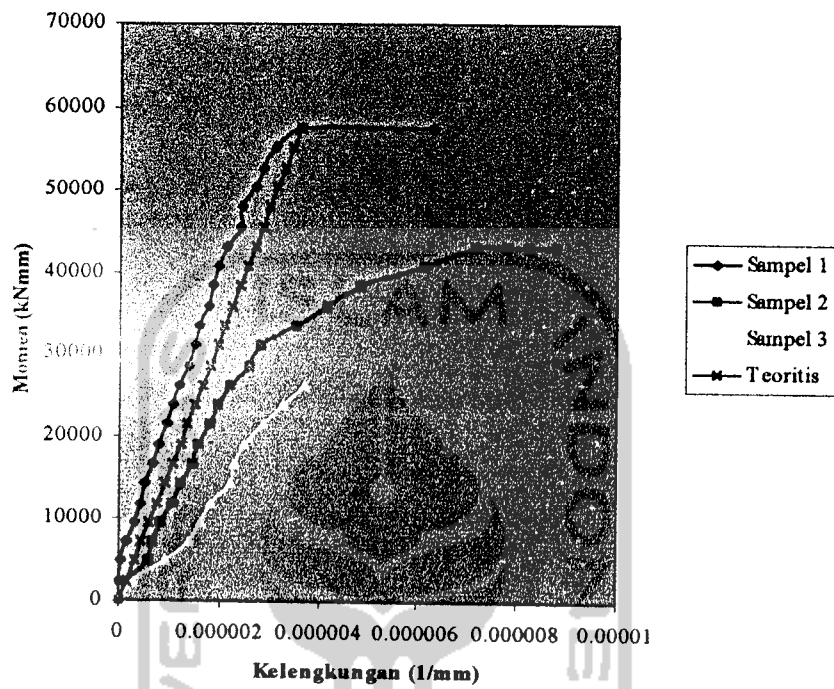




Foto : Pengujian Gelagar Plat Dengan Pengaku Vertikal dan Horisontal



Foto : Pengujian Gelagar Plat Yang Diberi Pengaku Vertikal



Foto : Pengujian Gelagar Plat Tanpa Pengaku Vertikal dan Horisontal

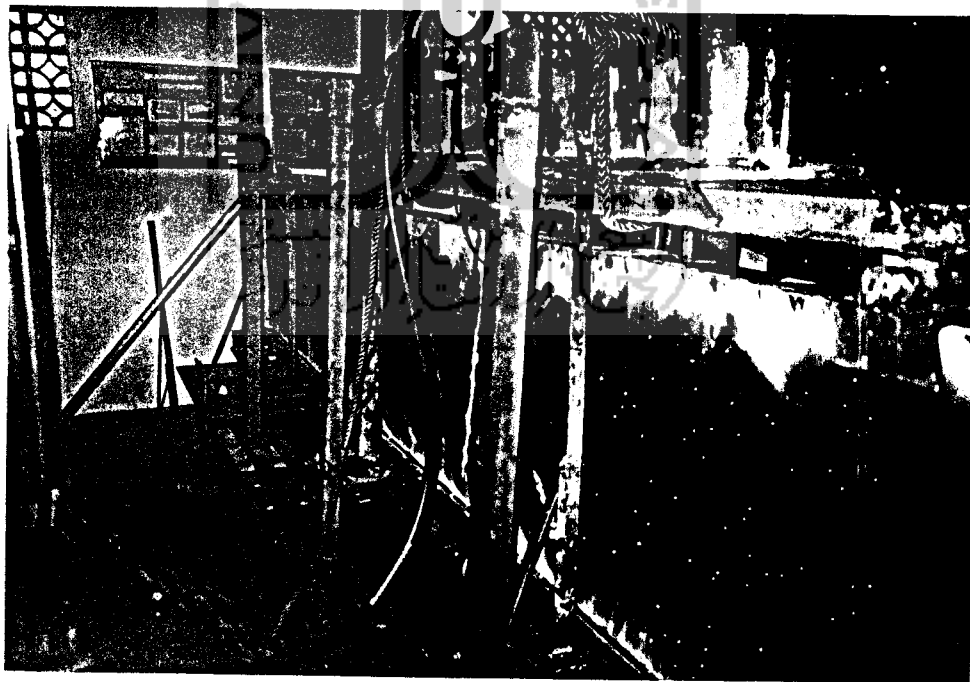


Foto : Kerusakan Yang Terjadi Pada Gelagar Tanpa Pengaku Vertikal & Horizontal

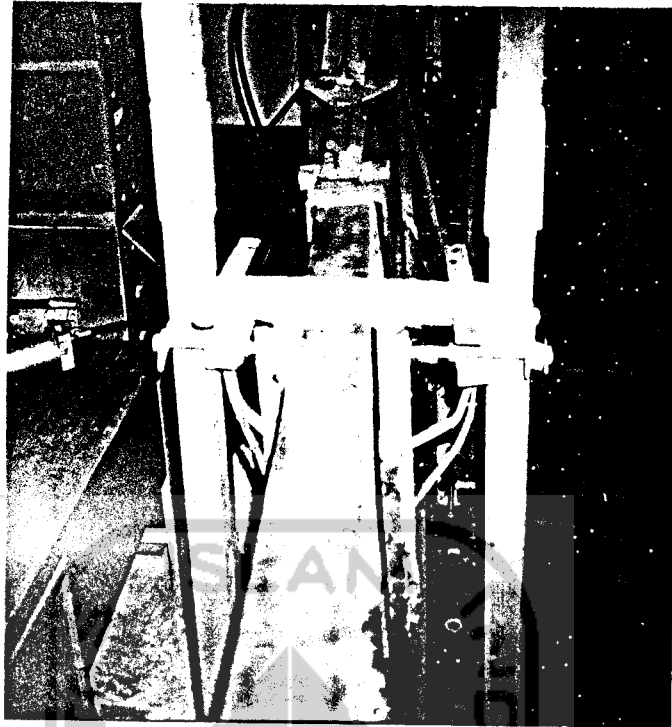


Foto : Kerusakan Yang Terjadi Pada Gelagar Yang Diberi Pengaku Vertikal



Foto : Kerusakan Yang Terjadi Pada Gelagar Yang Diberi Pengaku Vertikal &
Horisontal